

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

Spécialité Biotechnologies

SESSION 2020

PHYSIQUE - CHIMIE

ÉPREUVE DU MERCREDI 24 JUIN

Durée de l'épreuve : 3 heures - Coefficient : 4

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

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

Le DOCUMENT RÉPONSE page 10/10 est à rendre impérativement avec la copie, même non complété.

*Il est rappelé aux candidat(e)s que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.
Toute réponse devra être justifiée.*

De la Terre à la Lune

Lorsqu'en 1969 la mission Apollo 11 a atteint la Lune à l'aide d'une fusée Saturn V, le roman de Jules Verne « De la Terre à la Lune » paru 104 années plus tôt est devenu réalité. Mais Jules Verne avait-il tout prévu ?



Figure 1 : Photo de Buzz Aldrin prise par Neil Armstrong le 20 Juillet 1969 lors de la mission Apollo 11

D'après <https://www.flickr.com/photos/projectapolloarchive/21669294011/in/album-72157658601662068/>

L'étude proposée comporte trois parties qui peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

PARTIE A : Le trajet Terre - Lune

Dans cette première partie, l'objectif est d'étudier le trajet Terre - Lune dans le roman de Jules Verne et de le comparer avec celui de la mission Apollo 11.

PARTIE B : Les différents modes de propulsion

Dans cette deuxième partie, l'objectif est d'étudier la propulsion solide décrite dans le roman de Jules Verne et la propulsion liquide utilisée par la fusée Saturn V.

PARTIE C : Jules Verne avait-il tout imaginé ?

Dans cette dernière partie, l'objectif est de s'intéresser à la radioactivité d'un échantillon de roche lunaire ainsi qu'à la présence d'eau sur la Lune.

Les documents nécessaires pour répondre aux questions sont regroupés à la fin de chaque partie mais les **DOCUMENTS RÉPONSES DR1 à DR3 p 10**, à rendre avec la copie, sont fournis à la fin du sujet.

PARTIE A : Le trajet Terre - Lune



Figure 2 : Le projectile qui effectuera le vol vers la Lune dans le roman de Jules Verne
D'après https://fr.wikipedia.org/wiki/De_la_Terre_à_la_Lune

Dans cette partie, les forces de frottements seront négligées et le projectile de Jules Verne, comme la fusée Saturn V, seront modélisés par des points matériels de masse supposée constante.

Les documents A1, A2, A3 et A4 apportent des informations utiles pour la réponse aux questions de la partie A.

A.1. Le trajet Terre-Lune dans le roman de Jules Verne

Pour effectuer son voyage vers la Lune, Jules Verne imagine un projectile piloté par un équipage de trois personnes et lancé à l'aide d'un canon de hauteur $h = 100$ m. Il considère également un trajet Terre - Lune direct, soit effectué en ligne droite.

Données :

- 1 lieue = 4,0 km
- 1 yard = 0,914 m
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Célérité de la lumière : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Célérité du son dans l'air : $c_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

A.1.1. Mesure de la distance Terre – Lune par une méthode moderne

Se trouvent à la surface de la Lune, plusieurs réflecteurs qui sont couramment utilisés afin de réaliser des mesures de la distance Terre - Lune d_{TL} au moyen d'un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = 532$ nm.

L'expérience consiste à mesurer la durée Δt d'un aller-retour effectué par une impulsion laser émise du sol terrestre vers ces réflecteurs lunaires. Il a été mesuré une durée $\Delta t = 2,33$ s entre l'émission d'une impulsion et la réception du signal lumineux de retour.

A.1.1.1. Déterminer la valeur de la distance d_{TL} Terre - Lune.

A.1.1.2. Citer le domaine des ondes électromagnétiques auquel appartient le rayonnement du laser utilisé pour effectuer la mesure de la distance Terre - Lune.

A.1.1.3. Donner l'intervalle de longueur d'onde du domaine précédent.

A.1.2. La distance Terre - Lune dans le roman de Jules Verne

A.1.2.1. Indiquer sur le document réponse DR1, les positions apogée et périgée sur la trajectoire de la Lune autour de la Terre.

A.1.2.2. Déterminer la valeur (en km) de la plus petite distance d_{TLmin} entre la Terre et la Lune selon Jules Verne.

A.1.2.3. Dans le roman de Jules Verne, la durée du trajet Terre - Lune dans le référentiel géocentrique est de 97 heures et 20 minutes. Comparer la vitesse moyenne v du projectile imaginé par l'auteur pour atteindre la Lune à celle des ondes sonores dans l'air. Commenter.

A.1.3. L'accélération du projectile dans le roman de Jules Verne

La vitesse de libération v_1 du projectile de masse m est la vitesse minimale que doit avoir le projectile pour s'échapper de l'attraction gravitationnelle de la Terre. Jules Verne donne une valeur de vitesse de libération v_1 de $1,20 \times 10^4$ yards par seconde.

La vitesse du projectile à la sortie du canon est égale à la vitesse v_1 de libération et sa valeur initiale v_0 est nulle.

A.1.3.1. En supposant que le projectile assimilé à un point matériel subit un mouvement uniformément accéléré à l'intérieur du canon, la relation suivante liant les grandeurs physiques entre elles peut être utilisée :

$$v_1^2 - v_0^2 = 2 \cdot a \cdot h$$

Calculer la valeur de l'accélération a du projectile dans le canon.

A.1.3.2. Calculer le nombre de « g » N_g que subissent le projectile et ses occupants, c'est-à-dire le quotient de l'accélération par l'intensité de la pesanteur. Conclure.

A.2. Le trajet Terre - Lune lors de la mission Apollo 11

Pendant des mois, les ingénieurs américains se sont interrogés sur le trajet le plus sûr à emprunter. Un trajet direct Terre - Lune a été envisagé un temps avant d'être abandonné au profit d'un trajet en 2 étapes. La première étape consiste en une mise en orbite terrestre et la seconde étape consiste en un trajet vers la Lune avant une mise en orbite lunaire.

Lors du décollage, l'éjection des gaz des réacteurs développe une force de poussée propulsant la fusée à travers l'atmosphère.

A.2.1. Le décollage de Saturn V

A.2.1.1. Citer les forces qui s'exercent sur Saturn V au moment du décollage.

A.2.1.2. Donner la valeur des forces citées précédemment.

A.2.1.3. Représenter, sur le document réponse DR2, à l'échelle (1 cm pour 10 MN), les forces citées précédemment.

A.2.1.4. Justifier le décollage de la fusée.

A.2.2. L'accélération de Saturn V

Comparer l'accélération du projectile du roman de Jules Verne à l'accélération maximale de la fusée Saturn V au cours de son ascension. Commenter.

DOCUMENTS DE LA PARTIE A

DOCUMENT A1 : Extrait de Jules Verne « De la Terre à la Lune », chapitre IV. J. Hetzel et Compagnie, 1868 (p 21)

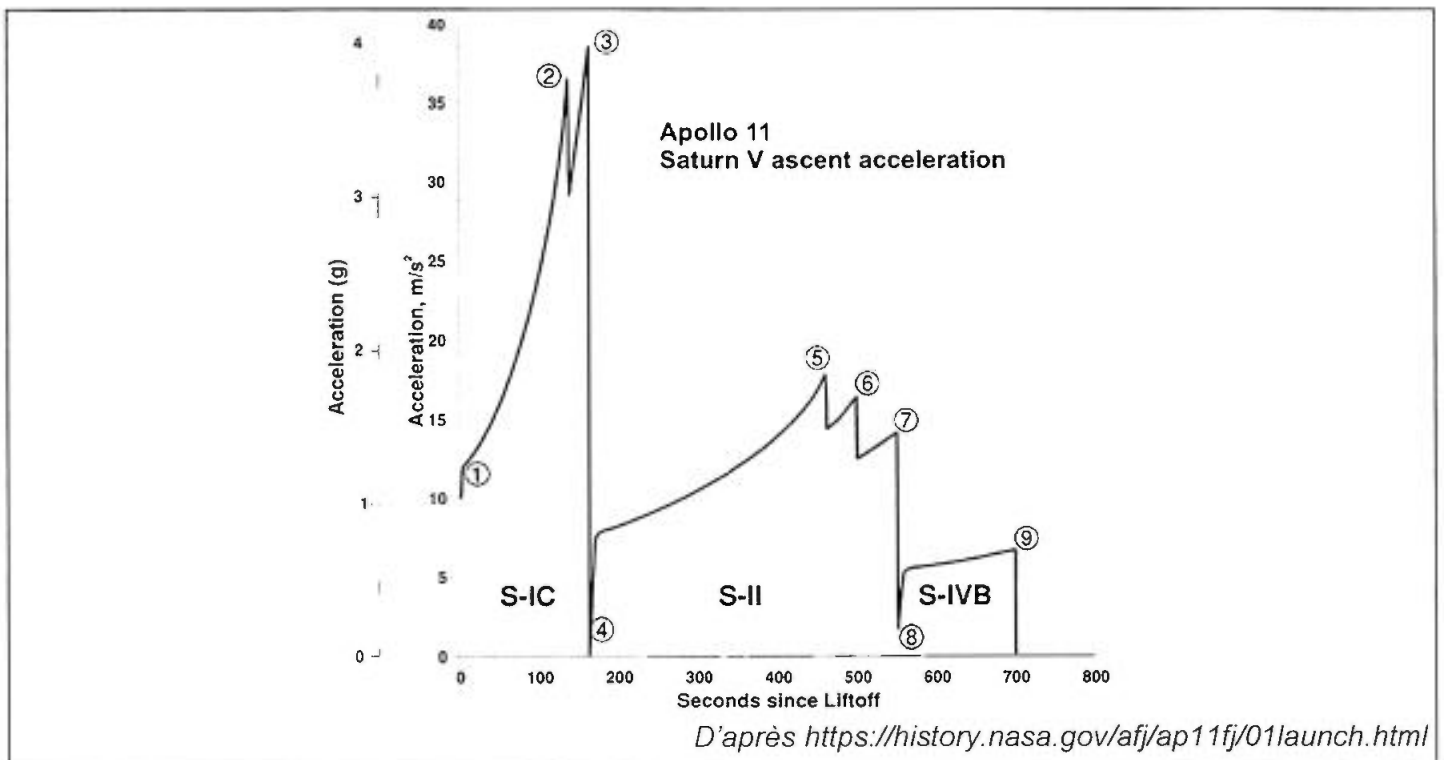
Quelle est la distance exacte qui sépare la Terre de son satellite ?

La Lune ne décrit pas autour de la Terre une circonférence, mais bien une ellipse dont notre globe occupe l'un des foyers ; de là cette conséquence que la Lune se trouve tantôt plus rapprochée de la Terre, et tantôt plus éloignée, ou, en termes astronomiques, tantôt dans son apogée, tantôt dans son périgée. Or, la différence entre sa plus grande et sa plus petite distance est assez considérable, dans l'espèce, pour qu'on ne doive pas la négliger. En effet, dans son apogée, la Lune est à deux cent quarante-sept mille cinq cent cinquante-deux milles (99 640 lieues), et dans son périgée à deux cent dix-huit mille six cent cinquante-sept milles seulement (88 010 lieues), ce qui fait une différence de vingt-huit mille huit cent quatre-vingt-quinze milles (11 630 lieues), ou plus du neuvième du parcours. C'est donc la distance périgéenne de la Lune qui doit servir de base aux calculs.

DOCUMENT A2 : Caractéristiques de Saturn V et du projectile au moment du décollage

	Masse	Hauteur	Diamètre	Nombre d'étages	Force de poussée	Consommation moyenne carburant
Saturn V	2767 t	110,6 m	10,1 m	3	33,4 MN	12,91 t · s ⁻¹
Projectile	8,7 t	3,7 m	2,7 m	1	-	sans objet

DOCUMENT A3 : Evolution de l'accélération de Saturn V lors de son ascension en fonction du temps



DOCUMENT A4 : Les effets de l'accélération sur le corps humain

Accélération en nombre de g, N_g	Situation de la « vie courante »	Effets sur le corps humain
0,1 à 1,2	Train ou métro au démarrage ou au freinage. Départ d'un avion de ligne Airbus A320.	Sensation habituelle de la pesanteur terrestre.
1,5 à 2,5	Une voiture de type « coupé sport » passant de 0 à 100 km · h ⁻¹ en 2,4 s.	Sensation de compression modérée sur le siège, de lourdeur de la tête et des membres. Difficultés à se mouvoir.
	Un patineur de vitesse courte piste (virage de 9 m de rayon à 54 km · h ⁻¹)	
3 à 4,5	Record mondial de dragster (4,2 g)	Douleur intense du corps. Sensation de grande lourdeur des membres, impossibilité de marcher. Apparition du voile gris traduisant une diminution de la luminosité et du champ visuel.
4,5 à 6	Formule 1 : décélération maximale avec un freinage brusque.	Apparition du voile noir : le pilote ne voit plus rien, mais il entend encore. Risque de perte de conscience.
	Virage en luge, maximum relevé au <i>Whistler Sliding Centre</i> .	
6 à 8	Entraînements des pilotes militaires en centrifugeuse de 7 g à 9 g.	Perte de connaissance, difficulté de mouvement, compression des vertèbres. Fonctions mentales altérées, impossibilité de mobiliser la tête en raison de son poids.
	Apollo 11 au moment de son retour dans l'atmosphère.	
8 à 20	Virage le plus serré dans un avion de voltige ou dans un avion de chasse.	Impossibilité de mobiliser les membres ; seules les extrémités peuvent être bougées.
	Jusqu'à 20 g lors de l'éjection d'un avion de chasse.	
46,2	Record de résistance humaine de John Stapp dans un chariot propulsé à l'aide de fusées.	Limite de résistance humaine.
≥ 50	100 g : Missile antibalistique Sprint.	Lésions sévères. Mort.
	8 600 g : accélération maximale d'un piston dans le moteur d'une Formule 1 standard.	
	190 000 000 g : accélération moyenne d'un proton dans le Large Hadron Collider (LHC) au CERN.	

PARTIE B : Les différents modes de propulsion

La propulsion nécessite l'utilisation de propergols à l'état liquide ou à l'état solide. Ces propergols sont constitués d'un mélange de comburant et de combustible ou carburant. Les dénominations de « propulsion solide » ou de « propulsion liquide » sont dès lors utilisées selon l'état physique des propergols.

Jules Verne propose, pour lancer son projectile, l'utilisation d'un canon à poudre noire. Actuellement on utilise dans les fusées une propulsion avec des propergols liquides.

On se propose d'évaluer la quantité de poudre noire qui aurait été nécessaire à Jules Verne afin d'assurer la propulsion du projectile jusqu'à la Lune.

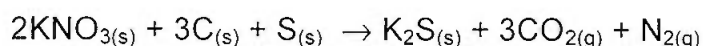
B.1. La propulsion solide dans le roman de Jules Verne

La réaction de combustion de la poudre noire est une réaction qui libère de l'énergie.

Composition et combustion de la poudre noire

Aux 14^{ème} et 15^{ème} siècles, la composition de la poudre noire était (en masse) : salpêtre (75 %), soufre (12,5 %) et carbone sous forme de charbon de bois (12,5 %). Mais on trouve des compositions variables selon les usages. Cette poudre est un mélange de deux espèces chimiques combustibles (le soufre et le charbon) avec un oxydant, le salpêtre. Le salpêtre est constitué de nitrate de potassium de formule KNO_3 .

L'équation de la réaction de combustion de la poudre noire est la suivante :



D'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Poudre_noire

Données :

- Masses molaires atomiques : $M_K = 39,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_N = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_O = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse molaire du nitrate de potassium : $M(\text{KNO}_3) = 101 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Enthalpie standard de formation à 298 K

	$\text{KNO}_{3(s)}$	$\text{C}_{(s)}$	$\text{S}_{(s)}$	$\text{K}_2\text{S}_{(s)}$	$\text{CO}_{2(g)}$	$\text{N}_{2(g)}$
$\Delta_f H^\circ$ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	- 493	0	0	- 381	- 394	0

- Enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$ à 298 K : une enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$ peut se déterminer à l'aide des enthalpies standard de formation $\Delta_f H^\circ$ des réactifs et des produits en utilisant la loi suivante appelée loi de Hess :

$$\Delta_r H^\circ = \sum_i \nu_i \Delta_f H_i^\circ(\text{produits}) - \sum_j \nu_j \Delta_f H_j^\circ(\text{réactifs})$$

avec ν_i et ν_j , coefficients stœchiométriques respectifs des produits et des réactifs de l'équation de la réaction.

B.1.1. Citer deux dangers liés aux combustions.

B.1.2. Montrer que la valeur de l'enthalpie molaire standard $\Delta_c H^\circ$ de la réaction de combustion de la poudre noire à la température de 298 K est égale à $- 577 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Conclure.

B.1.3. En déduire la valeur de l'énergie libérée E par une mole de nitrate de potassium au cours de la réaction de combustion de la poudre noire.

B.1.4. Sachant qu'il y a 750 g de nitrate de potassium KNO_3 dans 1 kg de poudre noire, en déduire la valeur de l'énergie libérée E' par kilogramme de poudre noire lors de la combustion de cette poudre.

B.2. La propulsion chimique liquide de Saturn V

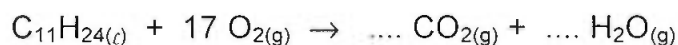
La propulsion de Saturn V est assurée, dans un premier temps, par les moteurs du premier étage. Le premier étage du lanceur Saturn V utilise le dioxygène liquide (LOX) comme oxydant et du kérosène comme réducteur. Dans cette partie on considérera que le kérosène est constitué principalement d'un alcane de formule brute $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$ nommé undécane.

Données :

- Volume de kérosène liquide stocké dans les réservoirs du 1^{er} étage : $V_{\text{kérosène}} = 7,45 \times 10^5 \text{ L}$
- Volume de dioxygène liquide stocké dans les réservoirs du 1^{er} étage : $V_{\text{dioxygène}} = 1,21 \times 10^6 \text{ L}$
- Masse volumique du kérosène liquide : $\rho_{\text{kérosène}} = 8,00 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
- Masse volumique du dioxygène liquide : $\rho_{\text{dioxygène}} = 1,15 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
- Masses molaires atomiques : $M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

B.2.1. Citer le mode de production du kérosène.

B.2.2. Recopier et ajuster l'équation de la réaction de combustion complète du kérosène.



B.2.3. Calculer la quantité de matière de kérosène $n_{\text{kérosène}}$ contenu dans les réservoirs du moteur du premier étage.

B.2.4. Montrer que la masse de dioxygène m_{O_2} nécessaire à la combustion de la totalité du kérosène est de l'ordre de $2 \times 10^9 \text{ g}$.

B.2.5. Comparer cette masse à celle contenue dans les réservoirs afin de déterminer le réactif qui n'a pas été intégralement consommé lors de cette combustion si elle est complète.

B.2.6. L'énergie libérée lors de la combustion d'un kilogramme de kérosène est de 44 MJ. Calculer l'énergie totale $E_{\text{décollage}}$ libérée lors du décollage par la combustion du kérosène sachant que l'on utilise environ les $2/3$ de la masse embarquée de kérosène.

B.2.7. En déduire la masse de poudre noire, $m_{\text{poudre noire}}$, qui aurait été nécessaire au décollage de Saturn V.

B.2.8. De la poudre noire aurait-elle pu être utilisée pour le décollage de Saturn V ?

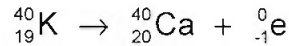
PARTIE C : Jules Verne avait-il tout imaginé ?

C.1. Des éléments chimiques sur la Lune

L'analyse isotopique des échantillons des roches lunaires, en particulier des isotopes de l'oxygène ($^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$) montre que la Lune et la Terre sont étrangement similaires. Il a ainsi pu être mis en évidence l'existence d'un isotope radioactif du potassium, le potassium 40 ($^{40}_{19}\text{K}$).

C.1.1. Définir la notion d'isotopes.

C.1.2. Le potassium 40 peut se désintégrer en calcium 40 selon l'équation de désintégration suivante :



C.1.2.1. Donner la nature de la particule émise.

C.1.2.2. Déterminer le type de radioactivité correspondant à cette désintégration.

C.1.3. Le radon 222 est un gaz radioactif. Il se désintègre en polonium 218 en émettant une particule α . Donner le nom et le symbole de cette particule α .

C.1.4. La mission Apollo 11 a permis de prélever des échantillons de roches lunaires. Ces échantillons ont été analysés pour déterminer leurs compositions. Un échantillon de roche lunaire analysé contenait 1,67 μg de potassium 40. L'activité de 1 g de potassium 40 est de $A_1 = 265,2 \text{ kBq}$.

C.1.4.1. Donner la définition de l'activité d'une source radioactive.

C.1.4.2. Calculer l'activité A de l'échantillon de roche lunaire analysé si l'on considère que l'activité de la roche lunaire est uniquement due au potassium 40.

C.1.4.3. Sachant que la masse de l'échantillon de roche lunaire s'élève à 1 g, conclure quant à la dangerosité de l'échantillon ramené vis-à-vis de sa radioactivité vu qu'un échantillon d'1 kg de granit terrestre a une activité de l'ordre de 1000 Bq.

C.2. De l'eau sur la Lune

En analysant les données d'une sonde lancée en 2008, les scientifiques ont montré que de l'eau se trouve aux pôles nord et sud de notre satellite naturel, dans des cratères où les rayons du soleil ne pénètrent pas et où la température peut atteindre environ - 238 $^{\circ}\text{C}$.

Données :

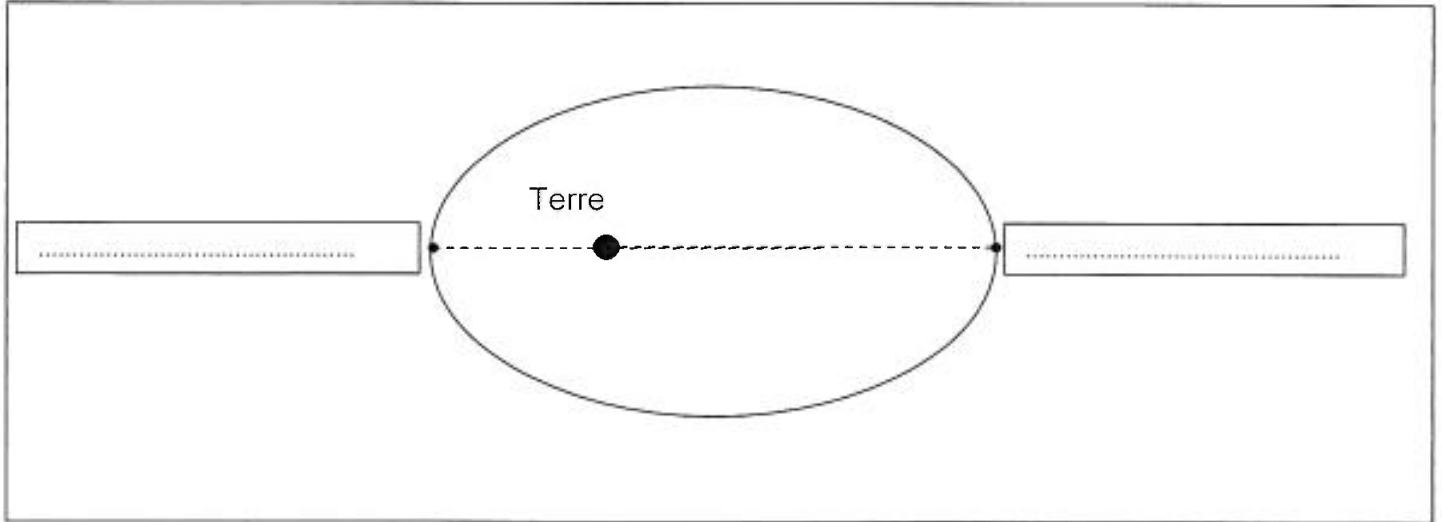
- Pression atmosphérique lunaire : $P_{atm \text{ lunaire}} = 3 \times 10^{-10} \text{ Pa}$
- Pression atmosphérique terrestre : $P_{atm \text{ terrestre}} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Relation liant la température absolue T en Kelvin (K) et la température θ en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) :
 $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$

C.2.1. Donner l'état de l'eau dans les cratères du pôle nord à l'aide du document réponse DR3 qui sera complété.

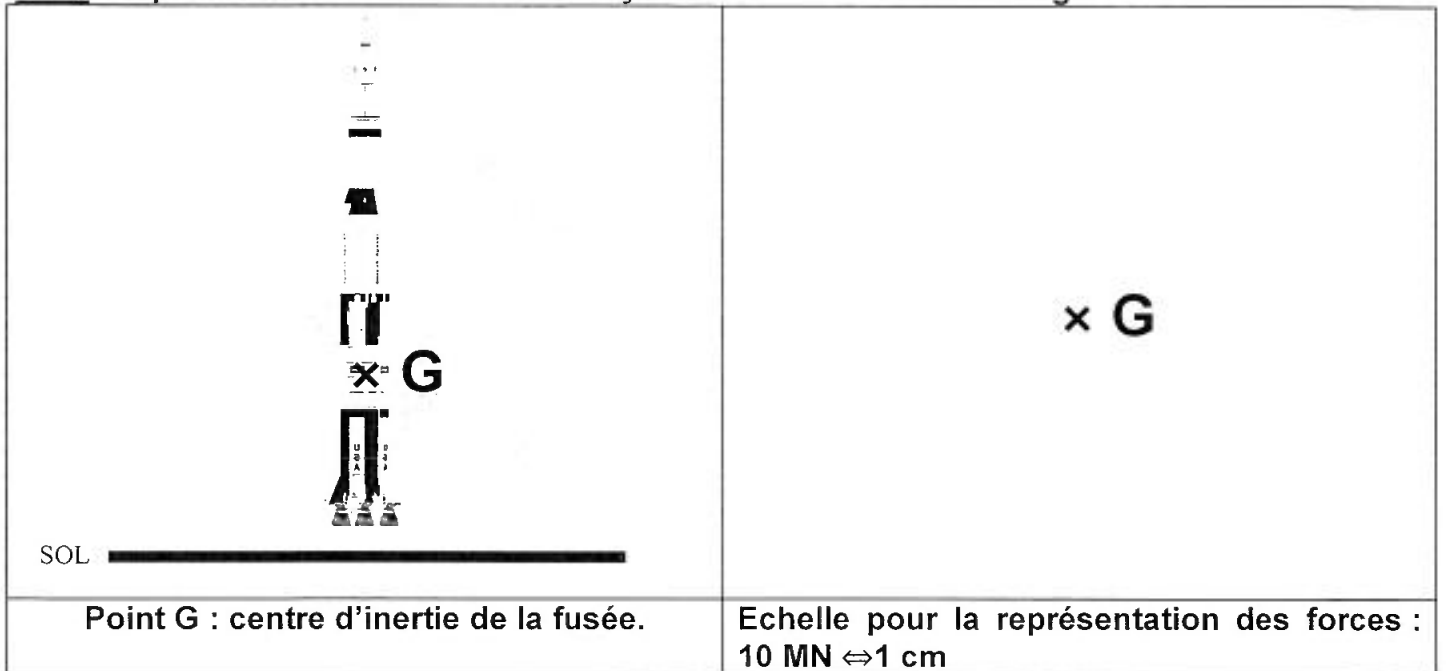
C.2.2. Expliquer pourquoi l'eau ne peut pas être à l'état liquide sur la Lune contrairement à ce qu'avait imaginé Jules Verne.

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE, MÊME NON COMPLÉTÉ

DR1 : Trajectoire de la Lune autour de la Terre dans le référentiel géocentrique



DR2 : Représentation des forces s'exerçant sur Saturn V au décollage



DR3 : Diagramme d'état (P, T) de l'eau

