Corrigé complet — Bac 2021 Polynésie

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**L'acide lactique à la base de composés «verts»** Nomenclature et schéma de Lewis · Couple acide-base et constante d'acidité · Diagramme de prédominance · Spectroscopie infrarouge · Estérification et rendement · Quotient de réaction et déplacement d'équilibre	10 pts	1 h 45	19 questions	p. 2
Ex 2	**Nuisances sonores d'un aéroport** Intensité sonore · Niveau d'intensité sonore · Atténuation géométrique · Atténuation par absorption · Lecture graphique	5 pts	55 min	8 questions	p. 10
Ex 3	**L'installation de l'Homme sur la Lune** Interaction gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution · Chute libre	5 pts	55 min	12 questions	p. 14
Ex 4	**La «Grande Lunette» de Meudon** Lunette astronomique · Lentilles convergentes · Système afocal · Tracé de rayons · Grossissement · Diamètre apparent	5 pts	55 min	9 questions	p. 19

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

L'acide lactique à la base de composés «verts»

Bac 2021 Polynésie · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

A.1 Exploiter les règles de nomenclature fournies pour justifier le nom « acide 2-hydroxypropanoïque ».

- La chaîne principale compte trois atomes de carbone : l'alcane correspondant est le propane, d'où « propan ».
- La molécule porte un groupe carboxyle $-COOH$ et un groupe hydroxyle $-OH$. Dans le tableau 1, l'acide carboxylique est prioritaire : c'est le groupe principal, d'où « acide …oïque ».
- Le carbone du groupe carboxyle reçoit le numéro 1. Le groupe hydroxyle, groupe secondaire, est alors porté par le carbone 2 : préfixe « 2-hydroxy ».

Groupe principal acide carboxylique sur une chaîne à 3 carbones, hydroxyle sur le carbone 2 : acide 2-hydroxypropanoïque.

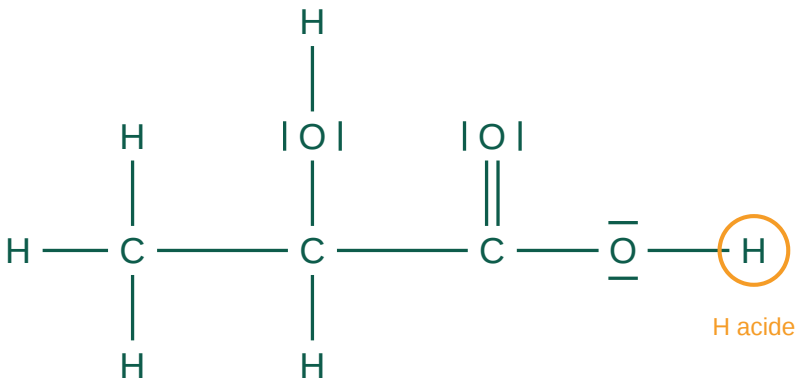
MÉTHODE
Trois étapes dans l'ordre : compter les carbones de la chaîne, choisir le groupe principal (le plus haut dans le tableau 1) qui donne le suffixe, puis numéroter depuis ce groupe pour placer le préfixe du groupe secondaire.

A.2 Donner le schéma de Lewis de l'acide lactique et entourer l'atome d'hydrogène responsable de l'acidité de la molécule.

Toutes les liaisons sont représentées, ainsi que les deux doublets non liants de chacun des trois atomes d'oxygène (schéma ci-dessous).

L'hydrogène acide est celui du groupe carboxyle : la liaison $O-H$ de ce groupe est très polarisée et se rompt en libérant un ion H^+.

L'atome d'hydrogène entouré est celui du groupe $-COOH$.



A.2 · Schéma de Lewis de l'acide lactique ; en orange, l'hydrogène acide

PIÈGE
Oublier les doublets non liants des atomes d'oxygène, ou laisser CH_3 en écriture condensée : un schéma de Lewis montre toutes les liaisons et tous les doublets.

COMPRENDRE
Vérification rapide : chaque carbone est entouré de quatre doublets liants, chaque oxygène de deux doublets liants et deux non liants, chaque hydrogène d'un seul doublet liant.

A.3 Écrire la formule semi-développée de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

La base conjuguée s'obtient en retirant un ion H^+ au groupe carboxyle de l'acide ; ce groupe devient un groupe carboxylate $-COO^-$.

Ion lactate : $CH_3-CH(OH)-COO^-$

PIÈGE
Retirer l'hydrogène du groupe hydroxyle porté par le carbone 2 au lieu de celui du groupe carboxyle, ou oublier la charge négative portée par l'oxygène.

A.4 Pour ce lait, calculer la valeur de la concentration en ion oxonium $[H_3O^+]_{éq}$.

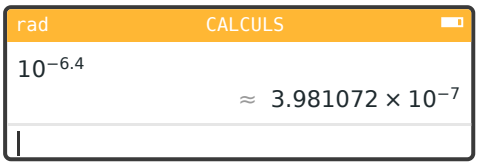
Données utiles $pH = 6{,}4$; $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$

Par définition, $pH = -\log\left(\dfrac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ}\right)$, donc $[H_3O^+]_{éq} = c^\circ \times 10^{-pH}$.

$$[H_3O^+]_{éq} = 1 \times 10^{-6{,}4}$$

$$\boxed{[H_3O^+]_{éq} = 4{,}0 \times 10^{-7}\ mol \cdot L^{-1}}$$

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Oublier le signe « − » de l'exposant ou l'unité. Contrôle : un pH proche de 7 correspond à une concentration proche de $10^{-7}\ mol \cdot L^{-1}$.

COMPRENDRE
Le résultat est donné avec deux chiffres significatifs, comme le pH fourni. Un pH connu à 0,1 près ne justifie pas d'écrire davantage de chiffres.

A.5 Établir l'équation de la réaction de l'acide lactique HA avec l'eau. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple HA/A^-.

Données utiles Couples HA/A^- et H_3O^+/H_2O

L'acide HA cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base :

$$HA\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

La constante d'acidité est la constante d'équilibre de cette réaction ; l'eau, solvant, n'y figure pas :

$$\boxed{K_A = \frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[HA]_{éq} \times c^\circ}}$$

PIÈGE
Écrire une flèche simple : l'acide lactique est un acide faible, la transformation est limitée, d'où la double flèche. Ne pas faire apparaître $[H_2O]$ dans K_A.

COMPRENDRE
Avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$, on écrit souvent $K_A = \dfrac{[A^-]_{éq}[H_3O^+]_{éq}}{[HA]_{éq}}$; les concentrations sont alors des nombres exprimés en $mol \cdot L^{-1}$ et K_A reste sans unité.

A.6 À partir de l'expression de K_A, retrouver la relation $pH = pK_A + \log\left(\dfrac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right)$.

On prend l'opposé du logarithme décimal de K_A, en utilisant $\log(a \times b) = \log a + \log b$:

$$-\log K_A = -\log\left(\frac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ}\right) - \log\left(\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right)$$

Or $pK_A = -\log K_A$ et $pH = -\log\left(\dfrac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ}\right)$, donc $pK_A = pH - \log\left(\dfrac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right)$.

$$\boxed{pH = pK_A + \log\left(\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right)}$$

MÉTHODE
Pour passer de K_A à une relation en pH : appliquer $-\log$ aux deux membres, séparer le produit en somme, puis reconnaître les définitions de pH et de pK_A.

A.7 Calculer le rapport $\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}$ dans ce lait de pH égal à 6,4. En déduire l'espèce prédominante.

Données utiles $pH = 6,4$; $pK_A = 3,9$; relation de A.6

D'après A.6 : $\log\left(\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right) = pH - pK_A$, donc

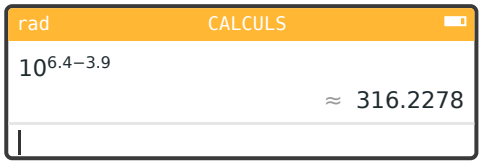
$$\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} = 10^{pH-pK_A} = 10^{6,4-3,9} = 10^{2,5}$$

Le rapport est très supérieur à 1 : $[A^-]_{éq} > [HA]_{éq}$.

$\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} = 3,2 \times 10^2$: l'ion lactate A^- prédomine dans le lait.

COMPRENDRE
Il y a environ 320 ions lactate pour une molécule d'acide lactique : dans le lait, l'espèce présente est presque uniquement la base conjuguée.

À LA CALCULATRICE



A.8 Tracer le diagramme de prédominance du couple HA/A^-.

Données utiles $pK_A = 3,9$

Sur un axe gradué en pH, la frontière se situe à $pH = pK_A = 3,9$, valeur pour laquelle $[HA]_{éq} = [A^-]_{éq}$.

L'acide HA prédomine pour $pH < 3,9$; la base A^- prédomine pour $pH > 3,9$.

PIÈGE
Inverser les deux domaines. L'acide se place toujours du côté des pH faibles, la base du côté des pH élevés.



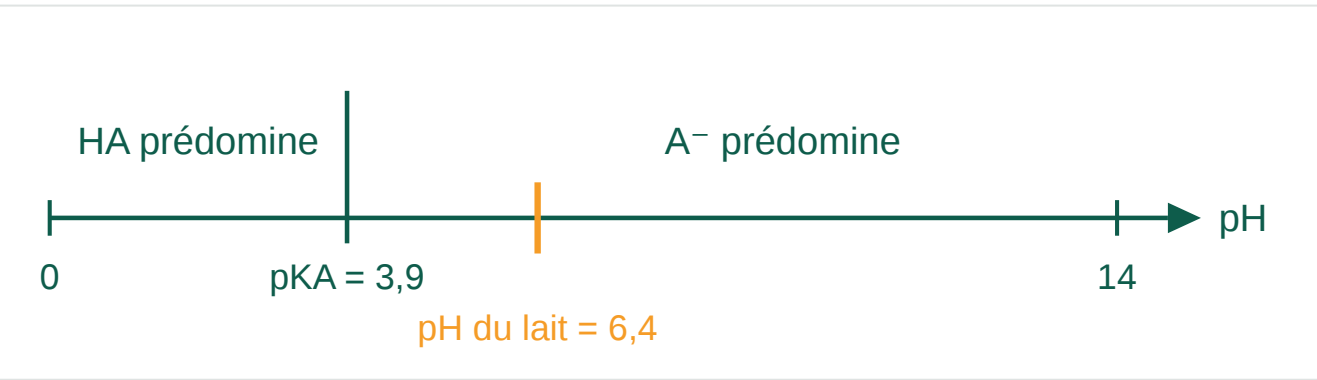
A.8 · Diagramme de prédominance du couple HA / A^-

A.9 À l'aide du diagramme de prédominance, vérifier que l'espèce prédominante pour ce lait est en accord avec la réponse à la question A.7.

Données utiles $pH = 6,4$; $pK_A = 3,9$

Le pH du lait vérifie $6,4 > 3,9$, soit $pH > pK_A$: le lait se situe dans le domaine de prédominance de la base.

A^- prédomine, en accord avec le rapport $3,2 \times 10^2 > 1$ trouvé en A.7.



A.9 · Le pH du lait placé sur le diagramme

A.10 Utiliser le spectre infrarouge de la figure 2 et la table simplifiée pour justifier la présence de deux liaisons caractéristiques de la molécule d'acide lactique.

- Le spectre présente une bande forte et très large autour de $3\,400\ \text{cm}^{-1}$, dans l'intervalle $3\,200 - 3\,400\ \text{cm}^{-1}$ de la table : elle correspond à la liaison $\text{O}-\text{H}$ d'un alcool lié.
- Il présente une bande forte et fine vers $1\,700\ \text{cm}^{-1}$: elle correspond à la liaison $\text{C}=\text{O}$ de l'acide carboxylique.

Les liaisons $\text{O}-\text{H}$ (vers $3\,400\ \text{cm}^{-1}$) et $\text{C}=\text{O}$ (vers $1\,700\ \text{cm}^{-1}$) sont bien présentes.

PIÈGE
Citer une bande sans donner son nombre d'onde ni son allure. Il faut les trois éléments : position lue sur le spectre, forme (large ou fine), liaison attribuée grâce à la table.

COMPRENDRE
La bande large déborde vers $2\,500\ \text{cm}^{-1}$: elle recouvre aussi la liaison $\text{O}-\text{H}$ du groupe carboxyle ($2\,500 - 3\,200\ \text{cm}^{-1}$), autre signature d'un acide carboxylique.

B.1 Identifier, en justifiant, la molécule notée B produite lors de la synthèse du lactide.

Données utiles Acide lactique $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$; équation : 2 acide lactique $\rightleftharpoons$ lactide + 2 B

On compte les atomes sur la formule du lactide : 6 C, 8 H et 4 O, soit $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$.

L'équation s'écrit donc $2\,\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4 + 2\,\text{B}$.

Conservation des éléments : les réactifs apportent 6 C, 12 H et 6 O. Les deux molécules B contiennent ensemble $12 - 8 = 4$ atomes H, $6 - 4 = 2$ atomes O et aucun atome C.

Chaque molécule B contient 2 H et 1 O : B est l'eau, H_2O.

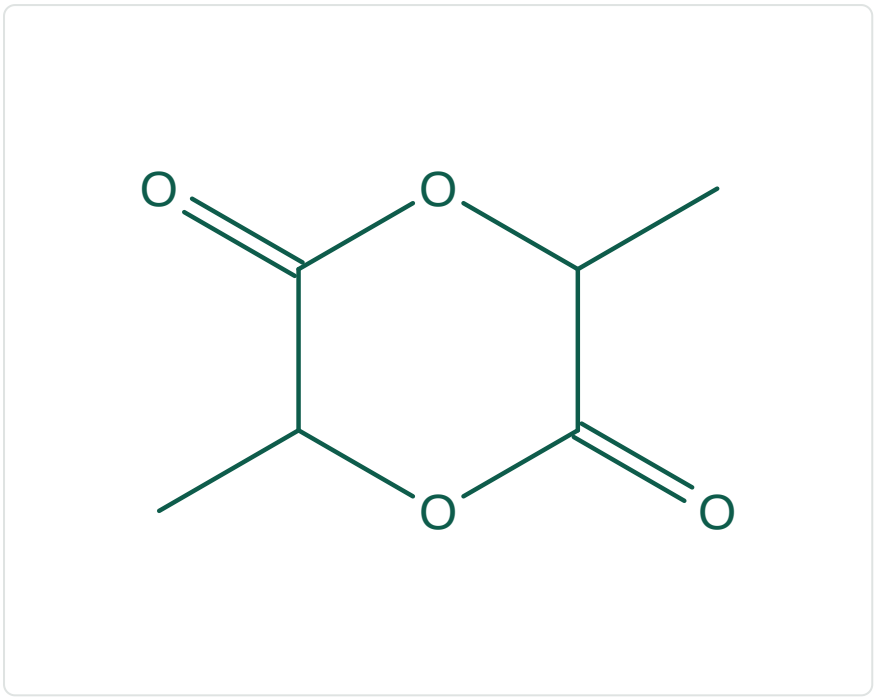
COMPRENDRE
Chaque groupe carboxyle réagit avec le groupe hydroxyle de l'autre molécule : ce sont deux estérifications, et chacune libère une molécule d'eau.

B.2 Écrire la formule topologique de la molécule de lactide.

Dans une formule topologique, la chaîne carbonée est une ligne brisée : les atomes de carbone et les hydrogènes qu'ils portent ne sont pas écrits, seuls les atomes d'oxygène apparaissent.

Cycle à six sommets (quatre carbones et deux oxygènes), portant deux doubles liaisons $\text{C}=\text{O}$ et deux groupes méthyle représentés par un trait.

PIÈGE
Écrire CH_3, CH ou C sur le dessin : ce n'est plus une formule topologique. Chaque extrémité de trait et chaque sommet sans symbole est un atome de carbone.



B.2 · Formule topologique du lactide

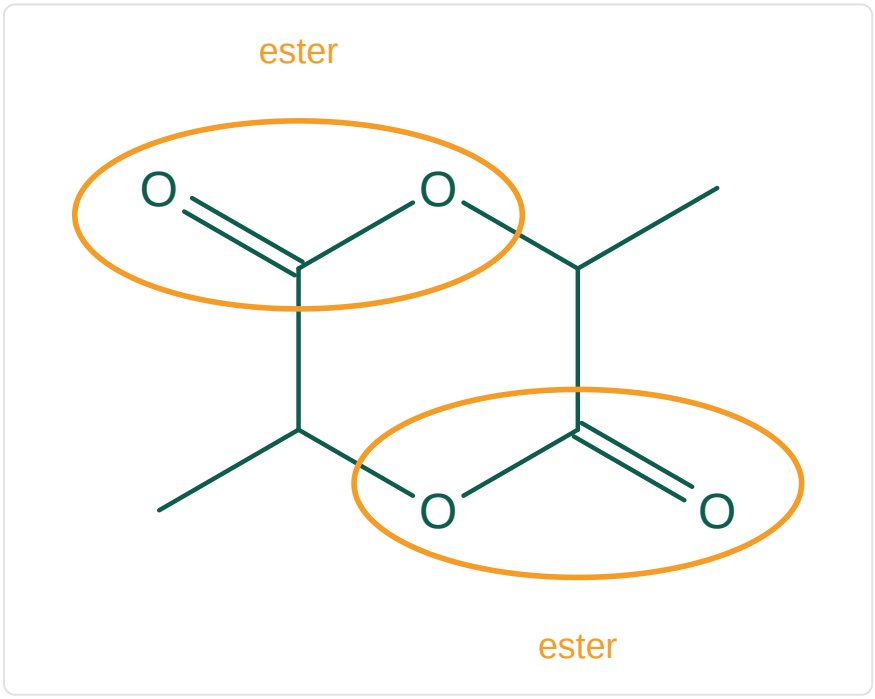
B.3 Sur cette formule topologique, entourer et nommer la fonction chimique présente dans la molécule de lactide.

On repère deux fois l'enchaînement $-CO-O-C$: un carbone doublement lié à un oxygène et simplement lié à un second oxygène, lui-même lié à un carbone.

Le lactide possède deux fonctions ester.

PIÈGE

Entourer seulement $C=O$ et répondre « cétone ». L'oxygène du cycle voisin du carbonyle fait partie du groupe caractéristique : c'est lui qui en fait un ester.



B.3 · Les deux fonctions ester du lactide, entourées en orange

C.1 Vérifier par calcul que l'éthanol est en excès dans les procédés a et b.

Données utiles $m_{\text{éthanol}} = 66{,}7\ \text{g}$; $m_{\text{acide}} = 39{,}1\ \text{g}$; $M_{\text{éthanol}} = 46{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_{\text{acide}} = 90{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Quantités de matière initiales, avec $n = \dfrac{m}{M}$:

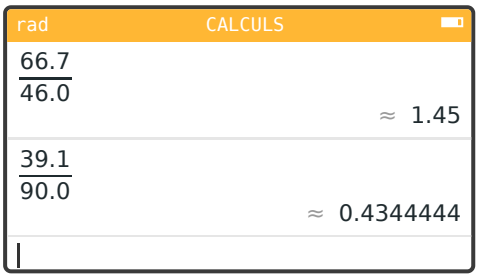
$$n_{\text{éthanol}} = \frac{66{,}7}{46{,}0} = 1{,}45\ \text{mol} \qquad n_{\text{acide}} = \frac{39{,}1}{90{,}0} = 0{,}434\ \text{mol}$$

D'après l'équation, une mole d'acide lactique réagit avec une mole d'éthanol. Les mêmes quantités sont utilisées dans les deux procédés.

$n_{\text{éthanol}} = 1{,}45\ \text{mol} > n_{\text{acide}} = 0{,}434\ \text{mol}$: l'éthanol est en excès, l'acide lactique est le réactif limitant.

PIÈGE
Comparer directement les masses. Seules les quantités de matière, rapportées aux nombres stœchiométriques (ici tous égaux à 1), permettent de désigner le réactif en excès.

À LA CALCULATRICE



C.2 Calculer la masse de lactate d'éthyle m_{lac} que l'on pourrait obtenir si la transformation était totale.

Données utiles $n_{\text{acide}} = 0{,}434\ \text{mol}$ (C.1) ; $M_{lac} = 118\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

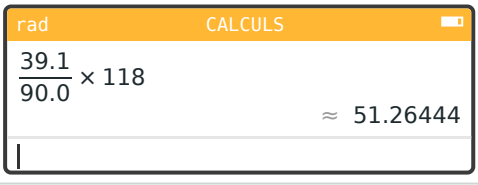
Si la transformation était totale, tout le réactif limitant serait consommé et une mole d'acide donnerait une mole d'ester : $n_{lac} = n_{\text{acide}}$.

$$m_{lac} = n_{\text{acide}} \times M_{lac} = 0{,}434 \times 118$$

$m_{lac} = 51{,}3\ \text{g}$

COMPRENDRE
Cette masse maximale sert de référence au rendement : $\eta = \dfrac{m_{\text{obtenue}}}{m_{lac}}$. Le calcul est mené avec la valeur non arrondie de n_{acide}.

À LA CALCULATRICE



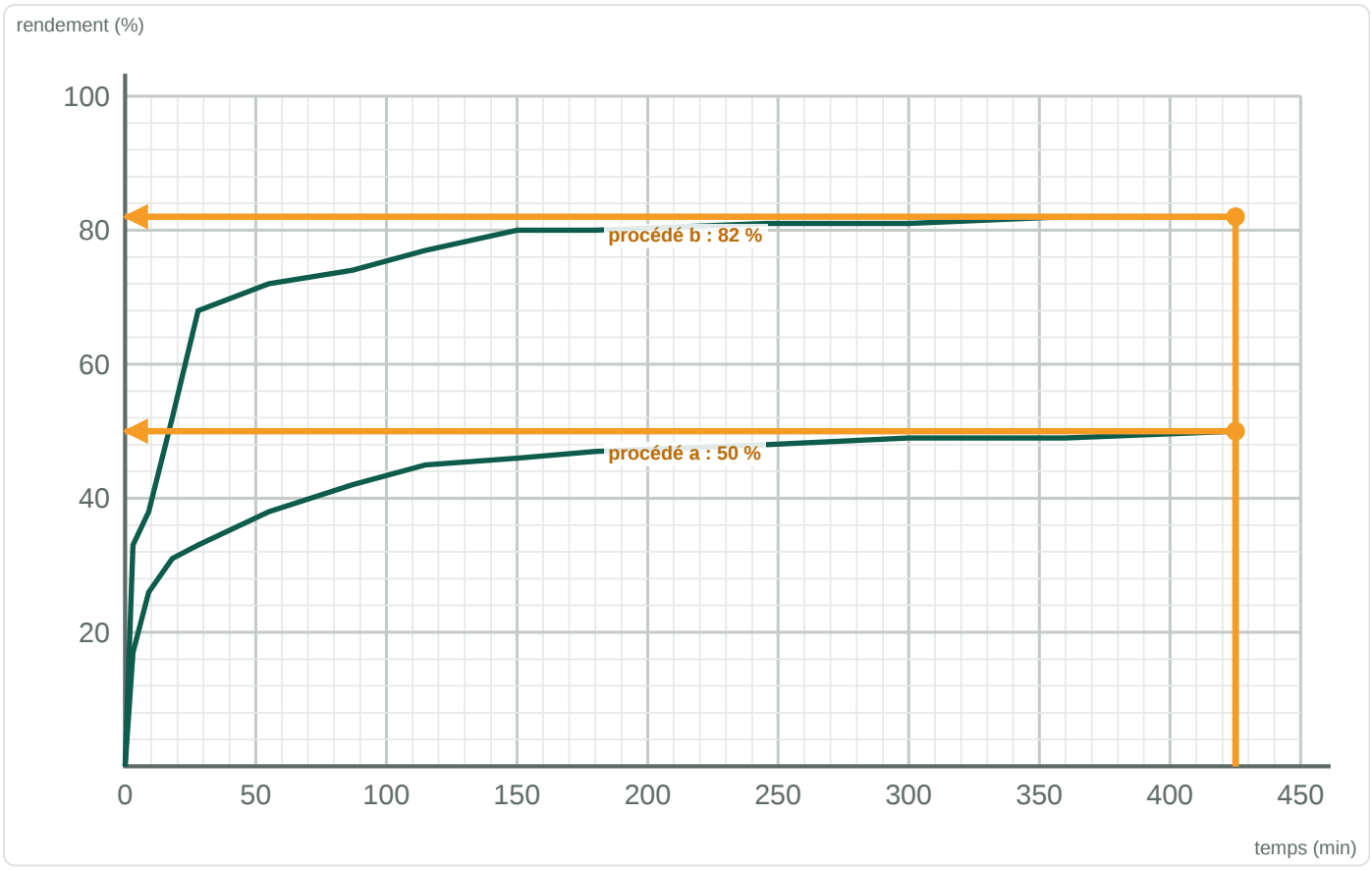
C.3 En utilisant la figure 4, comparer les rendements obtenus par les deux procédés et indiquer le procédé le plus efficace.

En fin de suivi (vers 425 min), les deux courbes n'évoluent presque plus. On lit sur la figure 4 :

- procédé a : rendement d'environ 50 % ;
- procédé b : rendement d'environ 82 %.

À chaque date, la courbe du procédé b est au-dessus de celle du procédé a.

$\eta_b \approx 82\ \% > \eta_a \approx 50\ \%$: le procédé b, avec solvant d'extraction, est le plus efficace.



C.3 · Figure 4 du sujet : lecture des rendements en fin de suivi (procédé a en bas, procédé b en haut)

C.4 Donner l'expression du quotient de réaction Q_r de l'estérification étudiée.

L'équation est : acide lactique + éthanol $\rightleftharpoons$ lactate d'éthyle + eau. Le quotient de réaction place les produits au numérateur et les réactifs au dénominateur ; les c° se simplifient.

$$Q_r = \frac{[\text{lactate d'éthyle}] \times [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{acide lactique}] \times [\text{éthanol}]}$$

PIÈGE
Retirer l'eau de Q_r par habitude. Ici le milieu n'est pas aqueux : l'eau est un produit comme un autre, pas le solvant, et sa concentration doit figurer.

C.5 Justifier que l'ajout d'un solvant d'extraction lors de la synthèse du lactate d'éthyle permet de déplacer l'équilibre de l'estérification.

Données utiles Dans le solvant d'extraction : lactate d'éthyle soluble ; acide lactique, éthanol et eau insolubles

Le lactate d'éthyle est le seul à être soluble dans le solvant ajouté : au fur et à mesure de sa formation, il quitte la phase où se trouvent les réactifs. Sa concentration dans cette phase diminue.

Le numérateur de Q_r diminue donc : Q_r reste inférieur à la constante d'équilibre K. Le système évolue alors dans le sens direct, celui de la formation de l'ester, pour tendre vers l'équilibre.

Extraire l'ester maintient $Q_r < K$: l'équilibre est déplacé dans le sens direct et le rendement augmente.

MÉTHODE
Pour justifier un déplacement d'équilibre : dire quelle concentration change, en déduire le sens de variation de Q_r, comparer Q_r à K, puis conclure sur le sens d'évolution.

C.6 Évaluer le volume d'éthanol nécessaire pour remplacer 80 % en masse des solvants organiques produits chaque année par du lactate d'éthyle obtenu par le procédé b. Comparer à la production mondiale annuelle d'éthanol.

Données utiles 28 millions de tonnes de solvants par an ; $\eta_b = 82\ \%$ (C.3) ; $m_{lac} = 51{,}3$ g pour $66{,}7$ g d'éthanol (C.2) ; $\rho_{\text{éthanol}} = 0{,}789\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; production d'éthanol : 120 milliards de litres

Masse de lactate d'éthyle à produire. $28 \times 10^6\ \text{t} = 28 \times 10^{12}$ g, donc $m = 0{,}80 \times 28 \times 10^{12} = 2{,}24 \times 10^{13}$ g.

Masse d'ester obtenue par le procédé b. Avec $66{,}7$ g d'éthanol introduits, on obtient réellement $\eta_b \times m_{lac} = 0{,}82 \times 51{,}3 = 42{,}1$ g de lactate d'éthyle.

Masse d'éthanol nécessaire, par proportionnalité :

$$m_{\text{éthanol}} = 66{,}7 \times \frac{2{,}24 \times 10^{13}}{42{,}1} = 3{,}55 \times 10^{13}\ \text{g}$$

Volume d'éthanol. $V = \dfrac{m_{\text{éthanol}}}{\rho_{\text{éthanol}}} = \dfrac{3{,}55 \times 10^{13}}{0{,}789} = 4{,}5 \times 10^{13}\ \text{cm}^3 = 4{,}5 \times 10^{10}\ \text{L}$, soit 45 milliards de litres.

Comparaison. $\dfrac{45}{120} \approx 0{,}38$.

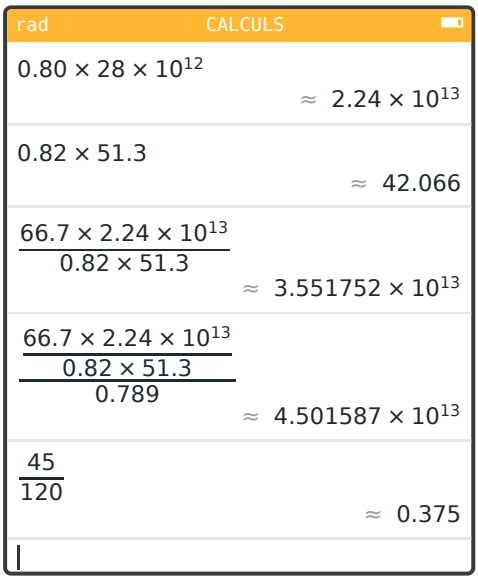
$V \approx 4{,}5 \times 10^{10}$ L : il faudrait 45 milliards de litres d'éthanol, soit environ 38 % de la production mondiale annuelle.

PIÈGE
Compter seulement l'éthanol consommé par la réaction. Le procédé b impose d'introduire $66{,}7$ g d'éthanol, en large excès, pour chaque lot : c'est cette quantité introduite qu'il faut prévoir.

COMPRENDRE
Plus du tiers de la production mondiale : la substitution n'est pas réaliste sans recycler l'éthanol en excès. Deux chiffres significatifs suffisent, comme pour les données 28 et 80 %.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer les étapes (masse visée, rendement réel d'un lot, proportionnalité, conversion en volume, comparaison). Conversions utiles : $1\ \text{t} = 10^6$ g et $1\ \text{L} = 10^3\ \text{cm}^3$.

À LA CALCULATRICE



Nuisances sonores d'un aéroport

Bac 2021 Polynésie · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Calculer le niveau d'intensité sonore L_{A1} correspondant à l'intensité sonore I_{A1}.

Données utiles $I_{A1} = 7{,}9 \times 10^{-6}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$L_{A1} = 10 \log\left(\frac{I_{A1}}{I_0}\right)$$

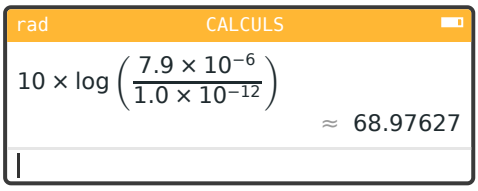
$$L_{A1} = 10 \log\left(\frac{7{,}9 \times 10^{-6}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right)$$

$$\boxed{L_{A1} = 69\ \text{dB}}$$

PIÈGE
Utiliser la touche « ln » au lieu de « log » : la relation fait intervenir le logarithme décimal.

COMPRENDRE
Les deux intensités sont données avec deux chiffres significatifs : on arrondit à 69 dB. Afficher 68,976 dB n'aurait pas de sens pour une mesure de bruit.

À LA CALCULATRICE



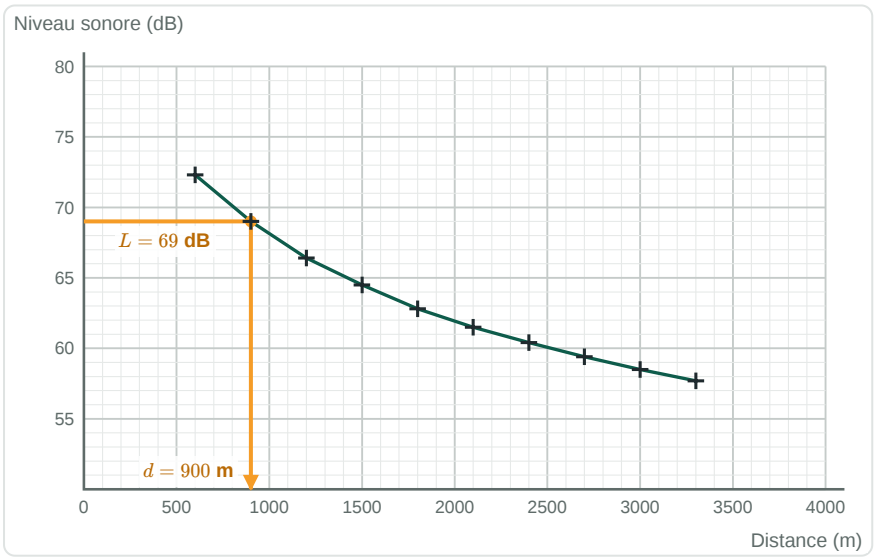
2 Déterminer la distance d à laquelle se trouve l'habitation la plus proche de l'aéroport.

Données utiles $L_{A1} = 69$ dB (Q1) ; figure 1

La mesure a été faite près de cette habitation, pour un avion A1. Sur la figure 1, on cherche sur la courbe A1 (triangles) le point d'ordonnée 69 dB, puis on lit son abscisse.

$$\boxed{d \approx 900\ \text{m}}$$

PIÈGE
Lire sur la courbe A2 ou A3. La légende place A3 au-dessus, A1 au milieu et A2 en dessous : à 69 dB, la courbe A3 donnerait environ 1300 m.



2 · Courbe de l'avion A1 (figure 1 du sujet) et lecture de la distance

3 Parmi les trois types d'avions A1, A2 et A3, citer le plus bruyant.

À toute distance, la courbe de l'avion A3 est située au-dessus des deux autres : à distance égale, son niveau d'intensité sonore est le plus élevé.

L'avion le plus bruyant est **A3**.

MÉTHODE
Pour comparer des sources, il faut se placer à la même distance : on compare les ordonnées des trois courbes pour une même abscisse.

4 À l'aide de la figure 1, estimer la diminution du niveau d'intensité sonore L lorsque la distance à la source est multipliée par deux.

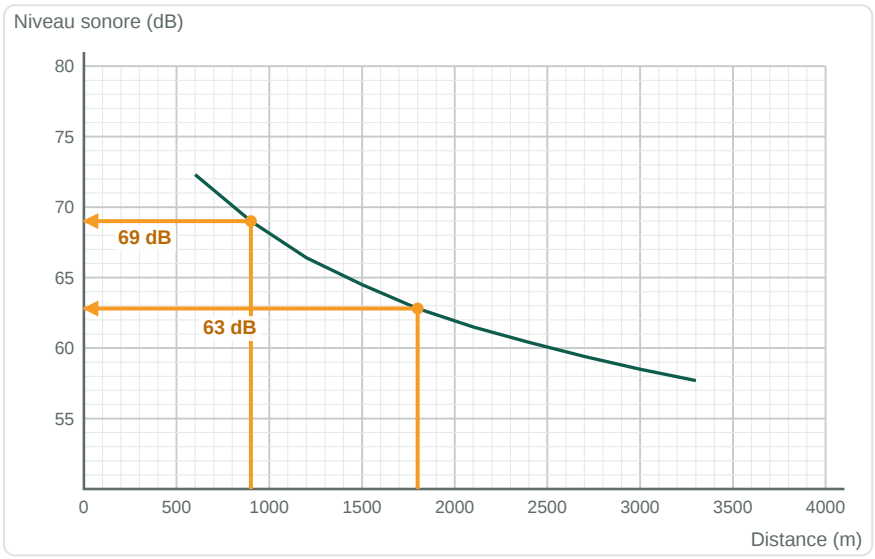
Sur la courbe A1 : à $d = 900$ m, $L \approx 69$ dB ; à $2d = 1800$ m, $L \approx 63$ dB .

$69 - 63 = 6$ dB

Le niveau d'intensité sonore diminue d'environ 6 dB quand la distance double.

COMPRENDRE
Le résultat ne dépend ni de l'avion ni de la distance de départ. Si d double, la surface $4\pi d^2$ est multipliée par 4, I est divisée par 4 et L baisse de $10 \log 4 \approx 6$ dB.

MÉTHODE
Choisir deux abscisses faciles à lire, où des points de mesure sont marqués (900 et 1800 m, ou 1500 et 3000 m), plutôt que des valeurs entre deux graduations.



4 · Courbe A1 : lectures à 900 m et à 1800 m

5 Calculer le niveau d'intensité sonore L_{total} mesuré chez le riverain si deux avions A1 décollaient au même instant.

Données utiles $I_{A1} = 7{,}9 \times 10^{-6}$ W · m^{-2} ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}

Les intensités sonores s'ajoutent : $I_{total} = I_{A1} + I_{A1} = 2\,I_{A1}$.

$$L_{total} = 10 \log\left(\frac{2\,I_{A1}}{I_0}\right)$$

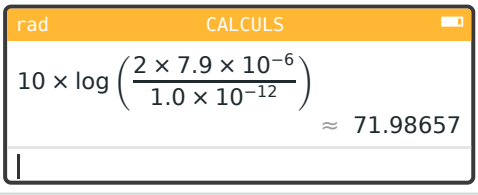
$$L_{total} = 10 \log\left(\frac{2 \times 7{,}9 \times 10^{-6}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right)$$

$L_{total} = 72$ dB

PIÈGE
Additionner les niveaux : $69 + 69 = 138$ dB est faux. Seules les intensités I s'ajoutent, jamais les niveaux L.

COMPRENDRE
Doubler l'intensité ajoute $10 \log 2 \approx 3$ dB, quel que soit le niveau de départ : $69 + 3 = 72$ dB.

À LA CALCULATRICE



6 Calculer le niveau d'intensité sonore L_{A4} de l'avion A4 perçu près de l'habitation d'un riverain situé à la distance d de la piste.

Données utiles $P = 452\ \text{kW}$; $d = 900\ \text{m}$; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

Intensité sonore à la distance d : $I_{A4} = \dfrac{P}{S} = \dfrac{P}{4\pi d^2}$

$$I_{A4} = \frac{452 \times 10^3}{4\pi \times 900^2} = 4{,}44 \times 10^{-2}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Niveau d'intensité sonore : $L_{A4} = 10\ \log\left(\dfrac{I_{A4}}{I_0}\right)$

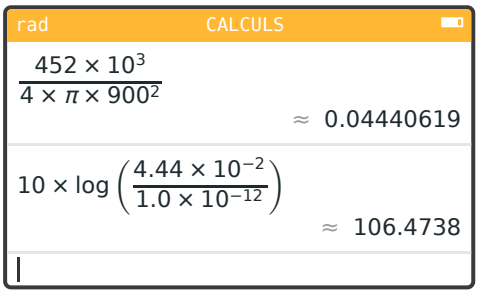
$$L_{A4} = 10\ \log\left(\frac{4{,}44 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right)$$

$L_{A4} = 106\ \text{dB}$

PIÈGE
Laisser la puissance en kilowatts : $452\ \text{kW} = 452 \times 10^3\ \text{W}$. Autre oubli fréquent : le carré sur d, ou les parenthèses au dénominateur lors de la saisie.

MÉTHODE
Deux étapes à enchaîner : la puissance et la distance donnent l'intensité ($I = P/S$), puis l'intensité donne le niveau ($L = 10\ \log(I/I_0)$).

À LA CALCULATRICE



7 À l'aide du tableau, déterminer si le niveau d'intensité sonore L_{A4} est vraiment nuisible pour ce riverain.

Données utiles $L_{A4} = 106\ \text{dB}$ (Q6) ; seuil de danger : 90 dB ; seuil de douleur : 120 dB

$L_{A4} = 106\ \text{dB}$ est supérieur à 90 dB : le seuil de danger est dépassé, sans atteindre le seuil de douleur (120 dB).

$L_{A4} > 90\ \text{dB}$: ce bruit est réellement nuisible, il présente un danger pour l'audition du riverain.

MÉTHODE
Pour une question « déterminer si », situer la valeur calculée entre deux lignes du tableau, puis conclure par une phrase qui répond à la question posée.

8 Conseiller le riverain sur le type de vitrage à installer, puis indiquer si ce choix résoudra le problème des nuisances sonores.

Données utiles sifflement à $f \approx 3500$ Hz ; $L_{A4} = 106$ dB (Q6) ; figure 2

On lit sur la figure 2 l'atténuation de chaque vitrage à 3500 Hz : environ 27 dB pour le vitrage 4 mm actuel, 42 dB pour le vitrage 8 mm et 44 dB pour le vitrage double 8-12-4 mm.

Le vitrage double 8-12-4 mm atténue le plus cette fréquence : c'est celui qu'il faut conseiller.

Niveau perçu à l'intérieur : $L = L_{A4} - A = 106 - 44 = 62$ dB

Vitrage double 8-12-4 mm ; il reste environ 62 dB, au-dessus de 60 dB (bruit gênant) : la nuisance est fortement réduite, mais le problème n'est pas entièrement résolu.

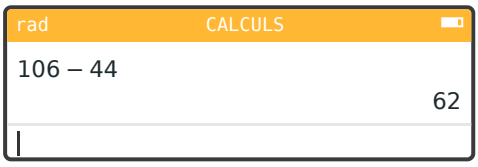
PIÈGE

Diviser le niveau par l'atténuation ou raisonner sur les intensités. Une atténuation en décibels se retranche directement du niveau sonore.

COMPRENDRE

Avec le vitrage 4 mm actuel, il reste environ $106 - 27 = 79$ dB, proche d'un bruit très gênant. Le vitrage 8 mm ferait presque aussi bien que le double à cette fréquence (environ 64 dB).

À LA CALCULATRICE



L'installation de l'Homme sur la Lune

Bac 2021 Polynésie · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Proposer une définition d'un satellite lunostationnaire en comparant sa période de révolution autour de la Lune à la période de rotation de la Lune sur elle-même.

Par analogie avec un satellite géostationnaire, un satellite lunostationnaire reste immobile pour un observateur placé à la surface de la Lune : il survole toujours le même point du sol lunaire.

Il tourne dans le plan de l'équateur lunaire, dans le même sens que la Lune.

Sa période de révolution est égale à la période de rotation de la Lune sur elle-même : $T = 27{,}3$ jours.

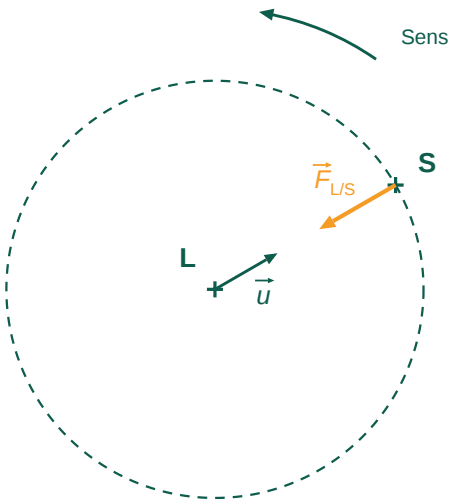
PIÈGE
Égalité des périodes seule ne suffit pas à rendre le satellite fixe : il faut aussi une orbite équatoriale parcourue dans le sens de rotation de la Lune.

2 Représenter, sans souci d'échelle, la force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{L/S}$ exercée par la Lune sur le satellite (document réponse).

La force est attractive : elle s'applique au centre S du satellite, sa direction est la droite (LS) et elle est orientée de S vers L.

$\vec{F}_{L/S}$: vecteur d'origine S, porté par (SL), dirigé vers le centre L de la Lune.

PIÈGE
Dessiner la force à partir de L, ou la diriger vers l'extérieur de l'orbite. Le point d'application est l'objet qui subit la force, ici S.



2 · Document réponse : la force exercée par la Lune sur le satellite, en orange

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

On applique la relation des données avec A = L et B = S : le vecteur unitaire $\vec{u}_{L/S}$, orienté de L vers S, est le vecteur $\vec{u}$.

$$\vec{F}_{L/S} = -G\frac{M_L\,M_S}{d_{LS}^2}\,\vec{u}$$

COMPRENDRE
Le signe « $-$ » traduit l'attraction : la force est de sens opposé à $\vec{u}$, donc dirigée de S vers L, comme sur le schéma de la question 2.

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

Système : {satellite}, de masse M_S constante. Référentiel : lunocentrique, supposé galiléen. Bilan des forces : uniquement $\overrightarrow{F}_{L/S}$ (l'influence de la Terre est négligée).

Deuxième loi de Newton : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = M_S\,\vec{a}_G$, soit $-G\,\dfrac{M_L\,M_S}{d_{LS}^2}\,\vec{u} = M_S\,\vec{a}_G$.

En simplifiant par M_S :

$$\vec{a}_G = -G\,\frac{M_L}{d_{LS}^2}\,\vec{u}$$

COMPRENDRE
La masse du satellite disparaît : l'accélération, donc le mouvement, ne dépend que de la Lune et de la distance d_{LS}.

MÉTHODE
Toujours annoncer le système, le référentiel galiléen et le bilan des forces avant d'écrire la deuxième loi de Newton : ces trois éléments sont attendus dans la rédaction.

5 Représenter le vecteur unitaire tangentiel $\vec{T}$ et le vecteur unitaire normal $\vec{N}$ du repère de Frenet (document réponse).

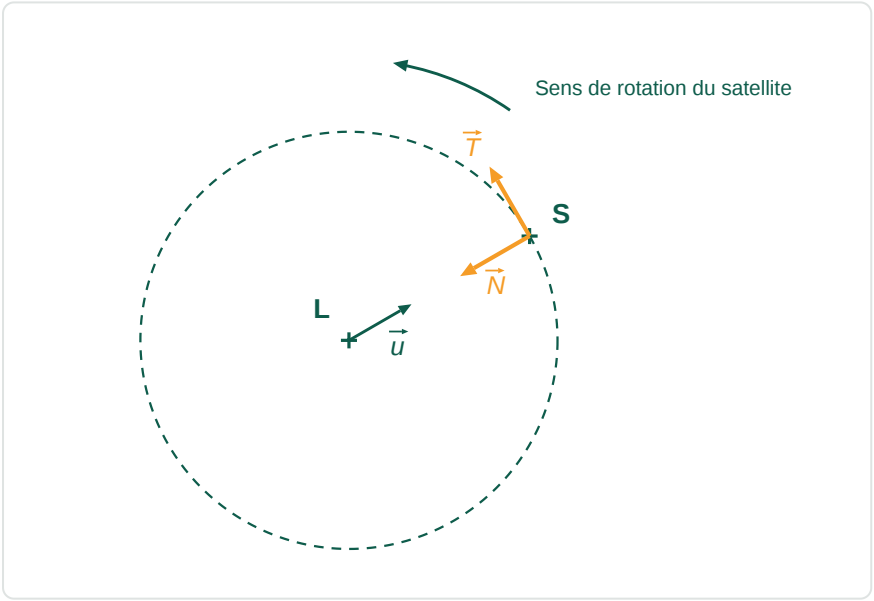
Les deux vecteurs ont pour origine le point S.

$\vec{T}$ est tangent à la trajectoire en S et orienté dans le sens du mouvement.

$\vec{N}$ est perpendiculaire à $\vec{T}$ et orienté vers l'intérieur de la trajectoire, c'est-à-dire vers le centre L.

$\vec{T}$ tangent au cercle dans le sens de rotation ; $\vec{N}$ porté par (SL), dirigé vers L.

PIÈGE
Orienter $\vec{T}$ à l'opposé de la flèche « sens de rotation », ou $\vec{N}$ vers l'extérieur du cercle.



5 · Document réponse : les vecteurs unitaires du repère de Frenet en S, en orange

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

Pour un mouvement circulaire de rayon d_{LS}, parcouru à la vitesse v :

$$\vec{a}_G = \frac{v^2}{d_{LS}}\,\vec{N} + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{T}$$

COMPRENDRE
La coordonnée selon $\vec{N}$ (v^2/d_{LS}) rend compte du changement de direction de la vitesse ; la coordonnée selon $\vec{T}$ ($\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$) rend compte du changement de sa valeur.

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

$\vec{u}$ est orienté de L vers S et $\vec{N}$ de S vers L : $\vec{N} = -\vec{u}$.

On remplace dans l'expression de la question 4 :

$$\vec{a}_G = G\,\frac{M_L}{d_{LS}^2}\,\vec{N}$$

PIÈGE
Garder le signe « $-$ » devant $\vec{N}$: l'accélération serait dirigée vers l'extérieur. Elle est centripète, comme la force.

8 Justifier que la vitesse v du satellite est constante et montrer que $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_L}{d_{LS}}}$.

On identifie les deux expressions de $\vec{a}_G$ (questions 6 et 7) :

$$\frac{v^2}{d_{LS}}\,\vec{N} + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{T} = G\,\frac{M_L}{d_{LS}^2}\,\vec{N} + 0\,\vec{T}$$

Selon $\vec{T}$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc la valeur v de la vitesse est constante : le mouvement est circulaire uniforme.

Selon $\vec{N}$: $\dfrac{v^2}{d_{LS}} = G\,\dfrac{M_L}{d_{LS}^2}$, d'où $v^2 = \dfrac{G\,M_L}{d_{LS}}$.

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M_L}{d_{LS}}}$, expression attendue.

PIÈGE
Affirmer « l'accélération est constante donc la vitesse aussi ». Le vecteur $\vec{a}_G$ change de direction ; c'est sa coordonnée tangentielle nulle qui prouve que v est constante.

9 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.

Données utiles $T = 27{,}3$ jours ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$; $M_L = 7{,}34 \times 10^{22}$ kg ; $R_L = 1{,}74 \times 10^6$ m ; $v = \sqrt{G\,M_L/d_{LS}}$ (Q8)

Le satellite est fixe par rapport à la Lune si sa période de révolution est $T = 27{,}3$ jours (question 1), soit $T = 27{,}3 \times 24 \times 3600 = 2\,358\,720$ s.

Le mouvement est uniforme : le satellite parcourt le périmètre $2\pi\,d_{LS}$ de son orbite pendant la durée T, donc $T = \dfrac{2\pi\,d_{LS}}{v}$.

Avec $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_L}{d_{LS}}}$ et en élevant au carré : $T^2 = \dfrac{4\pi^2\,d_{LS}^2}{G\,M_L/d_{LS}} = \dfrac{4\pi^2\,d_{LS}^3}{G\,M_L}$.

On isole le rayon de l'orbite : $d_{LS} = \sqrt[3]{\dfrac{G\,M_L\,T^2}{4\pi^2}}$.

Or $d_{LS} = R_L + H$, donc $H = \sqrt[3]{\dfrac{G\,M_L\,T^2}{4\pi^2}} - R_L$.

$$H = \sqrt[3]{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 7{,}34 \times 10^{22} \times 2\,358\,720^2}{4\pi^2}} - 1{,}74 \times 10^6$$

Le rayon de l'orbite vaut $d_{LS} = 8{,}84 \times 10^7$ m et le calcul, mené sans arrondi intermédiaire, donne $H = 8{,}66 \times 10^7$ m.

$H = 8{,}66 \times 10^7$ m, en accord avec la valeur annoncée $8{,}67 \times 10^7$ m (écart de 0,1 %, dû aux arrondis).

PIÈGE
Laisser T en jours, ou oublier de retrancher R_L : $8{,}84 \times 10^7$ m est le rayon de l'orbite, pas l'altitude.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les données. On retrouve exactement $8{,}67$ en arrondissant d'abord T à $2{,}36 \times 10^6$ s ; avec la valeur complète de T, on obtient $8{,}66$.

MÉTHODE
Question à rédiger : condition sur la période, relation $T = 2\pi\,d_{LS}/v$, expression littérale de H, puis une seule application numérique en unités SI.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$27.3 \times 24 \times 3600$
≈ 2358720

$\sqrt[3]{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.34 \times 10^{22} \times 2\,358\,720^2}{4 \times \pi^2}}$
$\approx 8.836324 \times 10^7$

$\sqrt[3]{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.34 \times 10^{22} \times 2\,358\,720^2}{4 \times \pi^2}} - 1.74 \times 10^6$
$\approx 8.662324 \times 10^7$

$\sqrt[3]{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.34 \times 10^{22} \times (2.36 \times 10^6)^2}{4 \times \pi^2}} - 1.74 \times 10^6$
$\approx 8.665521 \times 10^7$

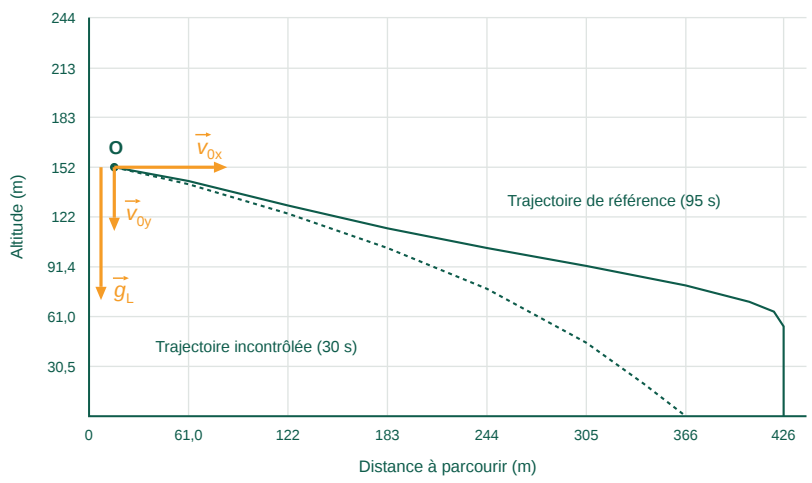
10 Sur le document réponse, représenter au point O, sans souci d'échelle, les vecteurs vitesse horizontale $\vec{v}_{0x}$ et vitesse verticale $\vec{v}_{0y}$, ainsi que le vecteur champ de pesanteur $\vec{g}_L$.

Au point O, la trajectoire part vers la droite et vers le bas : la vitesse initiale $\vec{v}_0$, tangente à la trajectoire, se décompose en $\vec{v}_{0x}$ et $\vec{v}_{0y}$.

- $\vec{v}_{0x}$: horizontal, orienté vers la droite (sens des distances croissantes).
- $\vec{v}_{0y}$: vertical, orienté vers le bas (l'altitude diminue dès le départ).
- $\vec{g}_L$: vertical, orienté vers le bas (vers le sol lunaire).

$\vec{v}_{0x}$ horizontal vers la droite ; $\vec{v}_{0y}$ et $\vec{g}_L$ verticaux vers le bas, tous d'origine O.

COMPRENDRE
Un mobile n'a qu'un vecteur vitesse : $\vec{v}_{0x}$ et $\vec{v}_{0y}$ sont les deux composantes de $\vec{v}_0$, avec $\vec{v}_0 = \vec{v}_{0x} + \vec{v}_{0y}$.



10 · Document réponse : vecteurs tracés au point O, en orange ($\vec{g}_L$ est décalé vers la gauche pour rester lisible)

11 Justifier le signe négatif ou positif de chacun des trois termes de l'expression $y(t) = -\frac{1}{2} g_L t^2 - v_{0y} t + y_0$.

L'axe vertical (altitude) est orienté vers le haut et son origine est au sol.

- Terme $-\frac{1}{2} g_L t^2$: $\vec{g}_L$ est dirigé vers le bas, sa coordonnée verticale est $-g_L$; l'accélération $a_y = -g_L$ donne un terme négatif.
- Terme $-v_{0y} t$: la vitesse verticale initiale est dirigée vers le bas ; comme v_{0y} désigne sa norme (positive), sa coordonnée est $-v_{0y}$ et le terme est négatif.
- Terme $+y_0$: à $t = 0$, le module est au-dessus du sol, à l'altitude $y_0 = 152{,}4$ m, positive.

Deux termes négatifs (pesanteur et vitesse initiale vers le bas), un terme positif (altitude initiale).

PIÈGE
Confondre norme et coordonnée. Ici $v_{0y} = 4{,}9\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ est une norme : le signe « $-$ » est écrit devant. Avec une coordonnée négative, on écrirait $+v_{0y}\, t$.

12 À l'aide de l'équation horaire (1) et de la figure 1, 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 non en chute libre.

Données utiles $x(t) = v_{0x} t + x_0$; $v_{0x} = 18{,}3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $x_0 = 15{,}5$ m ; figure 1 : impact de la trajectoire incontrôlée à $x \approx 366$ m, après 30 s

Sur la figure 1, la trajectoire incontrôlée atteint le sol ($y = 0$) à l'abscisse $x \approx 366$ m.

D'après l'équation (1) : $t = \dfrac{x - x_0}{v_{0x}}$

$$t = \frac{366 - 15{,}5}{18{,}3} = 19{,}2\ \text{s}$$

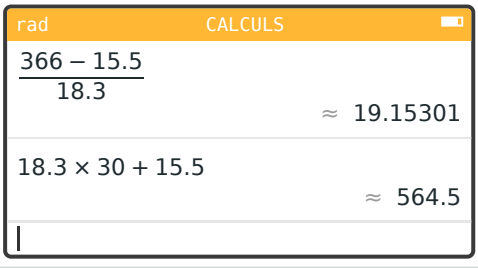
En chute libre, le module atteindrait cette abscisse en 19 s environ. Or la trajectoire incontrôlée dure 30 s : les deux durées sont nettement différentes.

$t \approx 19\ \text{s} \neq 30\ \text{s}$: sur sa trajectoire incontrôlée, l'alunisseur n'est pas en chute libre.

COMPRENDRE
Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune : si le mouvement n'est pas une chute libre, une autre force que le poids agit, celle des moteurs du module.

MÉTHODE
Autre vérification possible : à $t = 30$ s, l'équation (1) donne $x = 18{,}3 \times 30 + 15{,}5 = 564{,}5$ m, bien au-delà des 366 m lus sur la figure.

À LA CALCULATRICE



La «Grande Lunette» de Meudon

Bac 2021 Polynésie · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 À l'aide du document réponse, nommer la lentille L_1 et la lentille L_2 en justifiant.

La lumière venant de l'objet observé traverse d'abord L_1 : cette lentille, placée du côté de l'objet, est l'**objectif**.

La lentille L_2 est placée à la sortie, là où l'observateur met son œil : c'est l'**oculaire**.

L_1 : objectif ; L_2 : oculaire.

COMPRENDRE
Les distances focales confirment ces noms : l'objectif d'une lunette a une grande distance focale ($f'_1 = 16$ m), l'oculaire une petite ($f'_2 = 4$ cm).

2 Donner la définition du terme « afocal ».

Un système optique afocal forme, d'un objet situé à l'infini, une image elle aussi située à l'infini : un faisceau de rayons parallèles à l'entrée ressort en faisceau de rayons parallèles.

Afocal : objet à l'infini et image finale à l'infini.

COMPRENDRE
L'œil regarde alors l'image sans accommoder, donc sans fatigue. Le système n'a pas de foyer, d'où son nom.

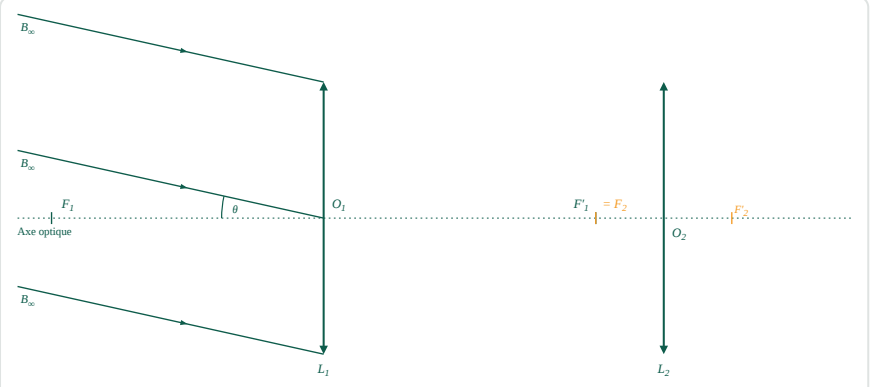
3 Sur le document réponse, placer les foyers objet F_2 et image F'_2 de la lentille L_2, sans souci d'échelle.

La lunette est afocale : le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif.

Le foyer image F'_2 est le symétrique de F_2 par rapport à O_2 : $O_2F'_2 = F_2O_2$.

F_2 est placé sur F'_1 ; F'_2 est à la même distance de O_2, de l'autre côté de L_2.

PIÈGE
Inverser les deux foyers. Pour une lentille convergente, le foyer objet est avant la lentille (côté lumière incidente), le foyer image après.



3 · Document réponse : foyers de la lentille L_2

4 Tracer le rayon issu de B qui passe par le centre optique O_1 jusqu'à sa sortie de L_2. Noter la position de l'image intermédiaire B_1.

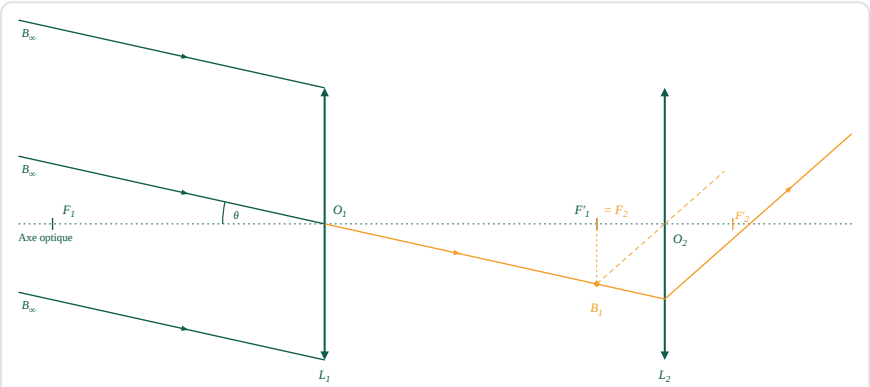
Le rayon passant par O_1 n'est pas dévié : on le prolonge en ligne droite.

B est à l'infini, donc son image B_1 est dans le plan focal image de L_1 : B_1 est le point où ce rayon coupe la perpendiculaire à l'axe passant par F_1'.

B_1 est dans le plan focal objet de L_2 : les rayons qui en partent ressortent de L_2 parallèles entre eux, dans la direction de la droite (B_1O_2), tracée en pointillés.

B_1 est à la verticale de F_1' ; le rayon émerge de L_2 parallèlement à (B_1O_2).

MÉTHODE
Pour un rayon quelconque arrivant sur une lentille : trouver le point du plan focal objet par lequel il passe, puis tracer le rayon fictif joignant ce point au centre optique. Le rayon émergent lui est parallèle.



4 · Document réponse : rayon passant par O_1, image intermédiaire B_1

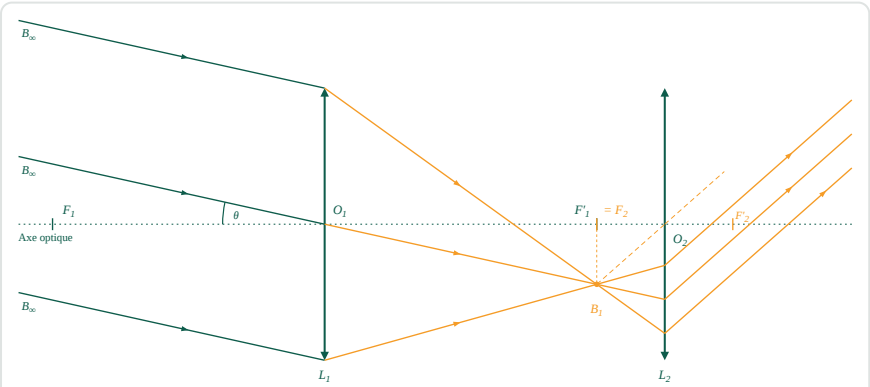
5 Représenter le faisceau émergent en poursuivant les rayons qui s'appuient sur les bords de L_1 jusqu'à leur sortie de L_2.

Les rayons incidents sont parallèles : après L_1, ils passent tous par B_1 . On relie donc chaque bord de L_1 à B_1, puis on prolonge jusqu'à L_2.

Ces rayons viennent de B_1, situé dans le plan focal objet de L_2 : ils ressortent parallèles à (B_1O_2), comme le rayon de la question 4.

Le faisceau émergent est un faisceau de rayons parallèles à (B_1O_2) : l'image définitive est à l'infini.

PIÈGE
Faire passer les rayons émergents par F_2'. Seul un rayon arrivant parallèlement à l'axe optique ressort par le foyer image, ce qui n'est le cas d'aucun rayon ici.



5 · Document réponse : faisceau émergent

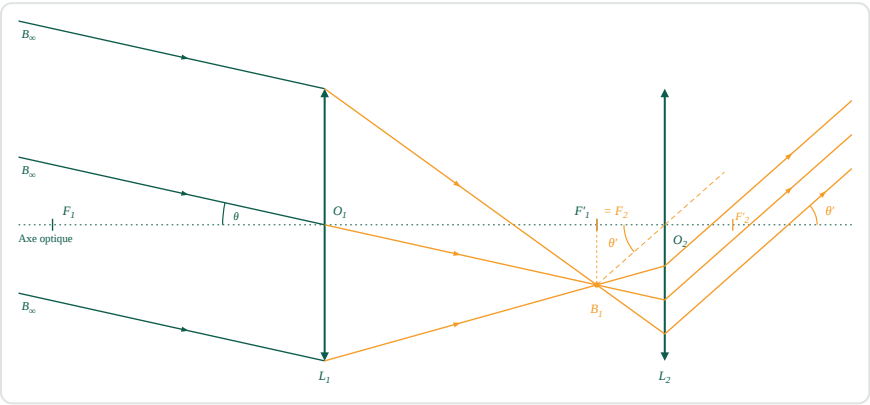
6 Représenter sur le document réponse l'angle θ' sous lequel l'image définitive est vue à travers la lunette.

L'image définitive est à l'infini, dans la direction des rayons émergents. L'angle θ' est l'angle entre l'axe optique et un rayon émergent.

Comme ces rayons sont parallèles à (B_1O_2), on retrouve le même angle en O_2, entre l'axe optique et la droite (B_1O_2).

θ' : angle entre l'axe optique et la direction du faisceau émergent.

COMPRENDRE
Sur le schéma, θ' est nettement plus grand que θ : la lunette agrandit l'angle sous lequel l'objet est vu, c'est son rôle.



6 · Document réponse complété : angle θ'

7 Retrouver, par des considérations géométriques, l'expression du grossissement $G = \dfrac{\theta'}{\theta}$ en fonction de f'_1 et f'_2.

Données utiles $\tan\theta = \theta$ et $\tan\theta' = \theta'$ (petits angles en radian)

Dans le triangle $O_1F'_1B_1$, rectangle en F'_1, l'angle en O_1 vaut θ (opposé par le sommet à l'angle d'entrée) :

$$\tan\theta = \frac{F'_1B_1}{O_1F'_1} = \frac{F'_1B_1}{f'_1} \quad \text{donc} \quad \theta = \frac{F'_1B_1}{f'_1}$$

Dans le triangle $O_2F_2B_1$, rectangle en $F_2 = F'_1$, l'angle en O_2 vaut θ' :

$$\tan\theta' = \frac{F'_1B_1}{O_2F_2} = \frac{F'_1B_1}{f'_2} \quad \text{donc} \quad \theta' = \frac{F'_1B_1}{f'_2}$$

Alors $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{F'_1B_1}{f'_2} \times \dfrac{f'_1}{F'_1B_1}$

$$\boxed{G = \frac{f'_1}{f'_2}}$$

PIÈGE
Écrire $G = f'_2/f'_1$. Un grossissement de lunette est supérieur à 1 : la grande distance focale, celle de l'objectif, est au numérateur.

MÉTHODE
Les deux triangles rectangles ont le même côté F'_1B_1, la taille de l'image intermédiaire. Exprimer chaque angle avec ce côté, puis faire le rapport : il se simplifie.

8 Calculer le grossissement G_{GL} de la « Grande Lunette » de Meudon.

Données utiles $f'_1 = 16$ m ; $f'_2 = 4$ cm ; $G = \dfrac{f'_1}{f'_2}$ (Q7)

Les deux distances focales sont exprimées en mètre : $f'_2 = 4\ \text{cm} = 0{,}04\ \text{m}$.

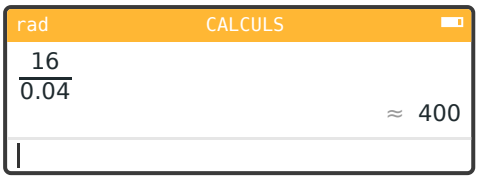
$$G_{GL} = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{16}{0{,}04} = 400$$

$$\boxed{G_{GL} = 400 \text{ (sans unité)}}$$

PIÈGE
Diviser 16 par 4 sans convertir : on trouve 4 au lieu de 400. Un rapport n'a de sens qu'entre deux longueurs de même unité.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : $f'_2 = 4$ cm n'en a qu'un, le résultat s'écrit en toute rigueur 4×10^2. La valeur 400 est conservée pour la suite du calcul.

À LA CALCULATRICE



9 Calculer, en degrés, l'angle θ' sous lequel l'image du cratère Albategnius est observée à travers la « Grande Lunette ».

Données utiles $\theta = 1'$; $1^\circ = 60'$; $G_{GL} = 400$ (Q8)

D'après la définition du grossissement : $\theta' = G_{GL} \times \theta$.

$$\theta' = 400 \times 1' = 400'$$

Conversion en degrés : $\theta' = \dfrac{400}{60} = 6{,}7^\circ$

$\theta' \approx 6{,}7^\circ$, soit environ 7°

PIÈGE

Confondre la notation $1'$ (minute d'arc, soit un soixantième de degré) avec le prime de θ' ou de f', ou multiplier par 60 au lieu de diviser.

COMPRENDRE

Le grossissement est un rapport d'angles : il s'applique quelle que soit l'unité, inutile de passer par le radian. Avec un seul chiffre significatif sur θ et f'_2, la réponse rigoureuse est 7°.

À LA CALCULATRICE

