

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

SUJET

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 6

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 14 pages numérotées de 1 à 13.

EXERCICE I – Un exemple de chimie verte : synthèse de l'ibuprofène (11 points)

EXERCICE II – De Hubble à James Webb (5 points)

EXERCICE III – Randonnée en montagne (4 points)

L'ibuprofène est la substance active de nombreux médicaments de la classe des anti-inflammatoires non stéroïdiens. Cet anti-inflammatoire est aussi un analgésique (antidouleur) et un antipyrétique (lutte contre la fièvre). On l'utilise par exemple pour soulager l'arthrite, les maux de tête ou encore les courbatures.

Dans les années 1960, les laboratoires Boots développent l'ibuprofène de formule brute $C_{13}H_{18}O_2$ et proposent une voie de synthèse en six étapes (voir document 1 et 2).

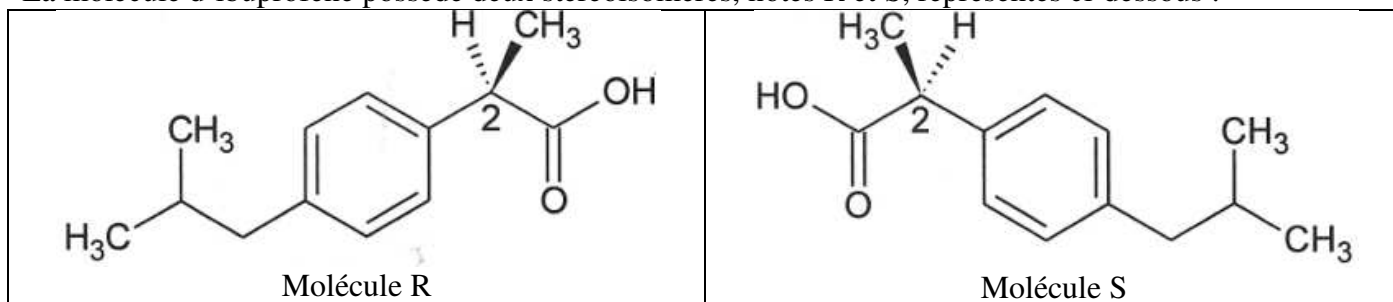
Dans les années 1990, la société BHC met au point un procédé reposant sur les principes de la chimie verte, une chimie qui réduit la pollution à la source et qui est plus respectueuse de l'environnement. La nouvelle voie de synthèse, beaucoup plus efficace que la voie traditionnelle, ne met en jeu que trois étapes (étapes 1, 2 et 3 du document 1). Ainsi la quantité de sous-produit est considérablement réduite, de plus l'unique sous-produit formé est valorisé.

D'après <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ibuprofène> et <http://culturesciences.chimie.ens.fr/node/787>

Les trois parties sont indépendantes

1. Première partie : description de l'ibuprofène

La molécule d'ibuprofène possède deux stéréoisomères, notés R et S, représentés ci-dessous :



1.1. Quel est le nom du groupe caractéristique oxygéné que comporte l'ibuprofène ? Quelle est la fonction chimique correspondante ?

1.2. Quel qualificatif utilise-t-on pour désigner l'atome de carbone noté 2 sur les représentations ci-dessus ?

1.3. Les molécules R et S sont-elles identiques, énantiomères ou diastéréoisomères ? Justifier.

2. Deuxième partie : analyse des voies de synthèse

Utilisation atomique : définition

L'efficacité d'un procédé est traditionnellement mesurée par le rendement chimique (qui ne tient pas compte de la quantité de sous-produits formés). Dans une optique de réduction de la pollution à la source, la chimie verte propose une évolution du concept d'efficacité qui prend en compte la minimisation de la quantité de déchets. L'indicateur de l'efficacité d'un procédé est l'« utilisation atomique (UA) ».

L'utilisation atomique est définie comme le rapport de la masse molaire du produit recherché sur la somme des masses molaires de tous les produits qui apparaissent dans l'équation stœchiométrique. Si les sous-produits de la réaction ne sont pas tous identifiés, alors la conservation de la matière permet de remplacer le dénominateur par la somme des masses molaires de tous les réactifs :

$$\text{Utilisation atomique : UA} = \frac{M(\text{produit désiré})}{\sum_i M(\text{produit } i)} = \frac{M(\text{produit désiré})}{\sum_j M(\text{réactif } j)}$$

D'après <http://culturesciences.chimie.ens.fr/node/787>

2.1. L'utilisation atomique du procédé des laboratoires Boots est $UA_1 = 0,40 = 40 \%$. On montre que l'utilisation atomique UA_2 du procédé de la société BHC vaut environ 77%. Conclure.

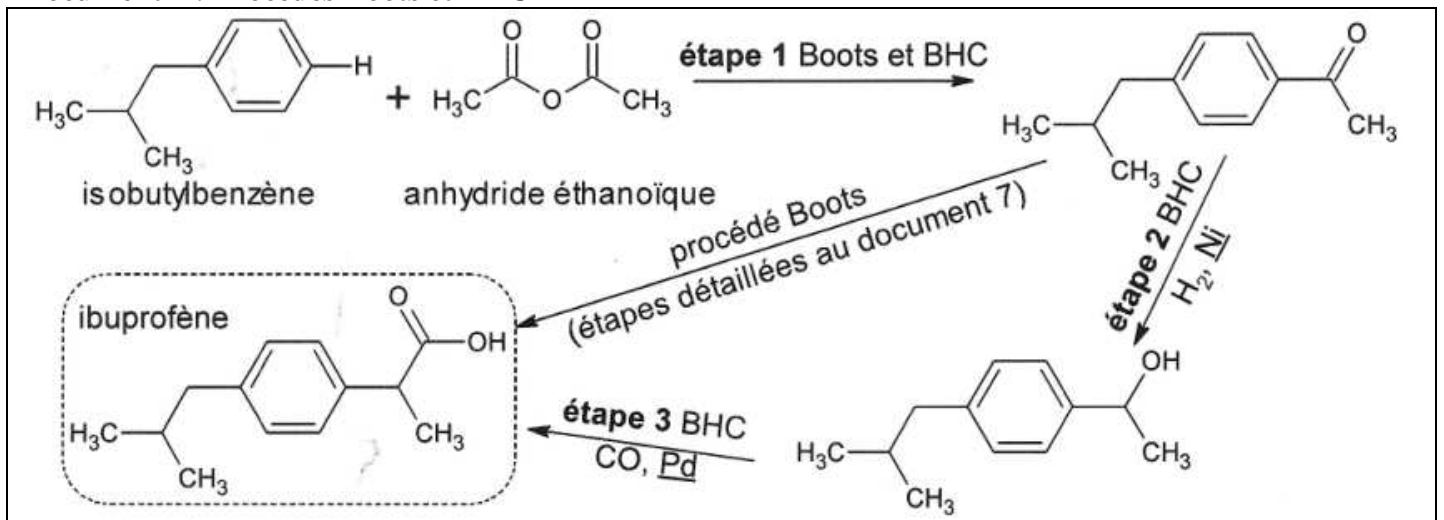
2.2. Dans le procédé BHC (document 1), les espèces soulignées Ni et Pd (étapes 2 et 3) ne sont pas des réactifs. De quel type d'espèces s'agit-il ? Quel est leur rôle ?

2.3. L'étape 1 des procédés Boots et BHC est identique. Il y a formation du composé représenté sur le document 1, et d'acide éthanoïque, non représenté.

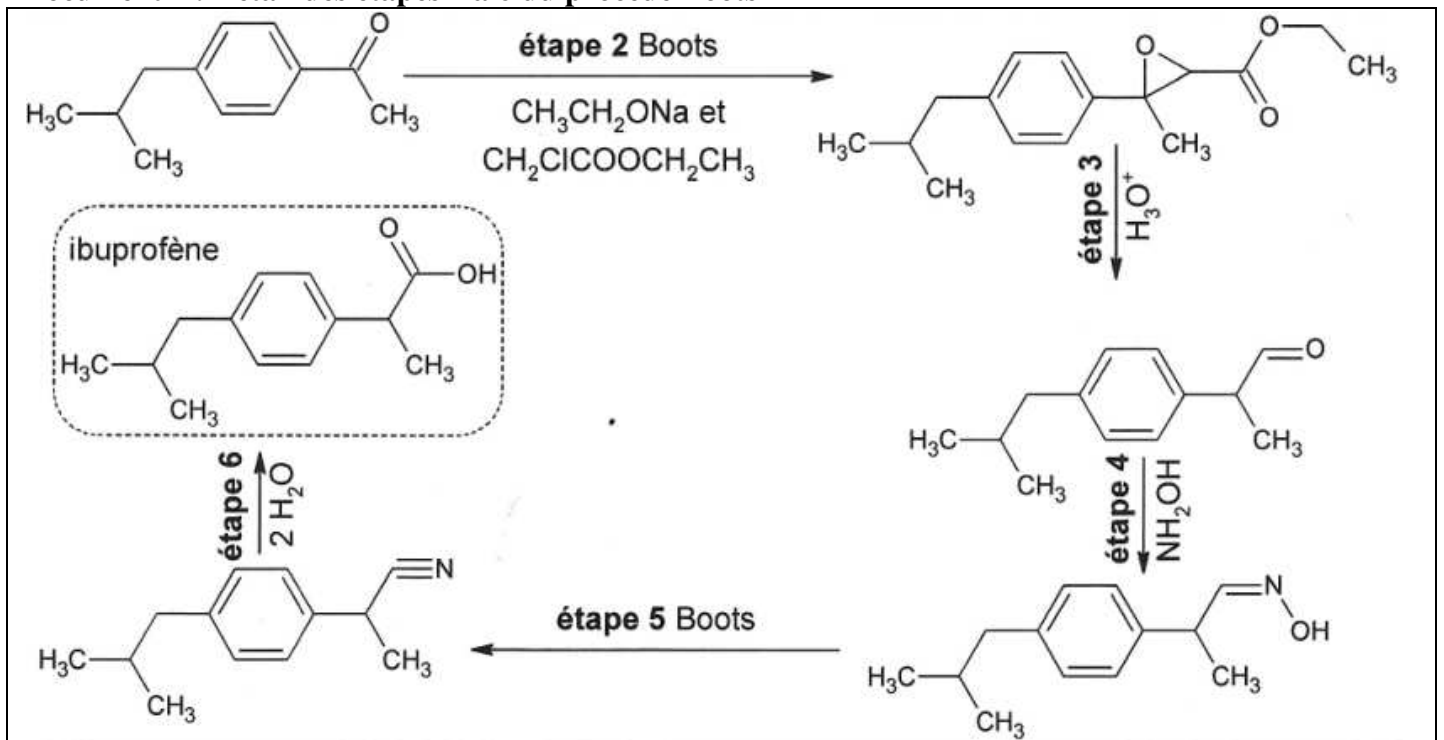
S'agit-il d'une addition, d'une élimination ou d'une substitution ?

2.4. À quelle grande catégorie de réactions l'étape 5 (document 2) du procédé Boots appartient-elle ?

Document 1 : Procédés Boots et BHC



Document 2 : Détail des étapes 2 à 6 du procédé Boots



3. Troisième partie : titrage d'un comprimé d'ibuprofène

Afin de réaliser le titrage de l'ibuprofène contenu dans un comprimé d'« ibuprofène 400 mg » :

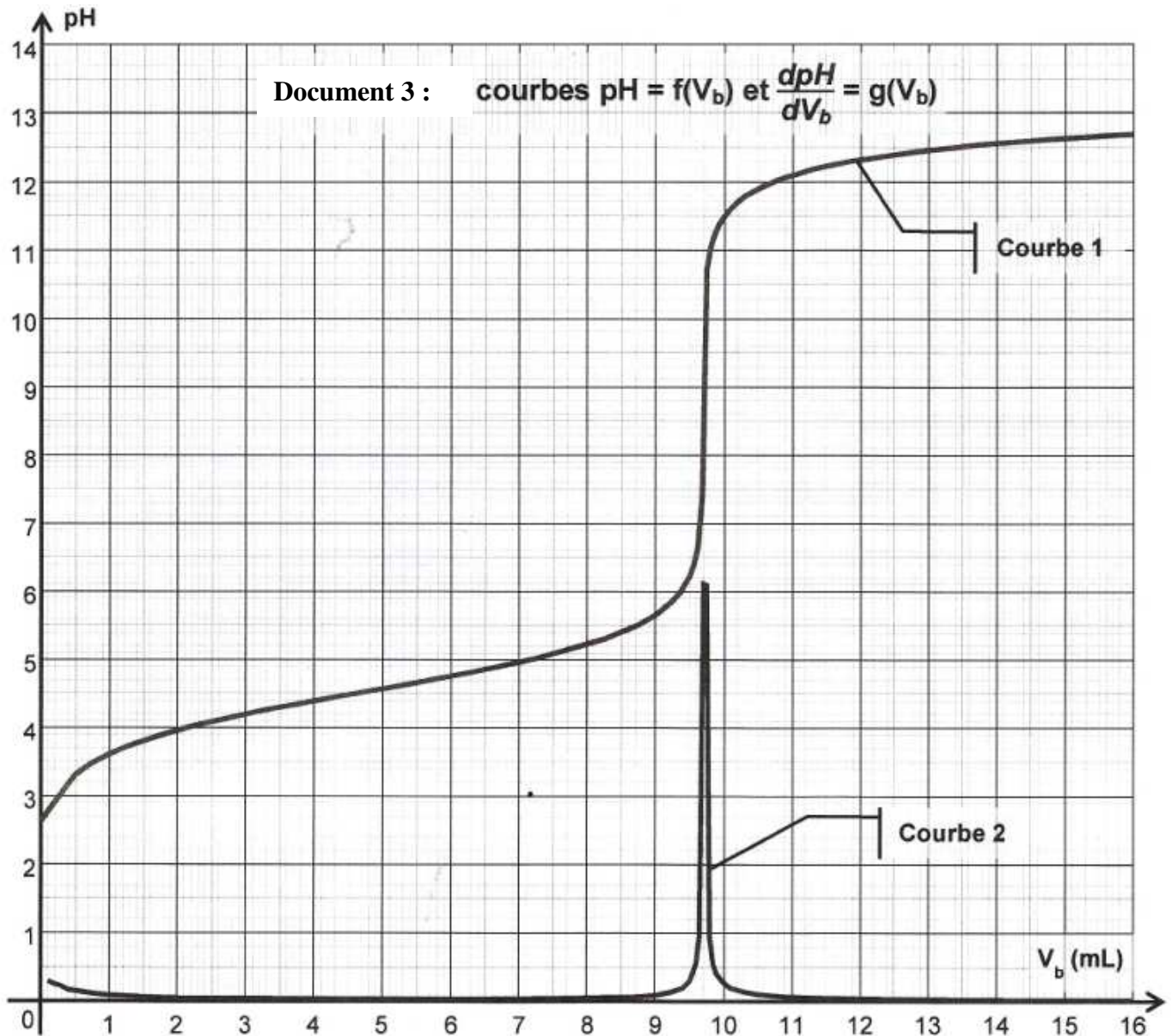
- on réduit en poudre le comprimé dans un mortier à l'aide d'un pilon ;
- on sépare la molécule active des excipients par dissolution dans l'éthanol que l'on évapore ensuite (les excipients sont insolubles dans l'éthanol) ;
- on introduit la poudre obtenue dans un becher et on ajoute environ 40 mL d'eau distillée ;
- le titrage est effectué à l'aide d'une burette graduée contenant une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) de concentration molaire apportée $c_b = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$. Le titrage est suivi par pH-métrie (les courbes obtenues sont tracées dans le document 3 ci-après).

3.1. Réaliser un schéma du montage permettant d'effectuer le titrage.

3.2. Définir l'équivalence d'un titrage.

3.3. On rentre dans un tableur-grapheur les différentes valeurs du pH mesurées en fonction du volume V_b de solution d'hydroxyde de sodium ajoutée. On utilise les fonctionnalités du tableur-grapheur pour dériver le pH par rapport à V_b , la grandeur obtenue est notée $\frac{dpH}{dV_b}$. Les courbes tracées suite au titrage pH-métrique

sont $\text{pH} = f(V_b)$ et $\frac{dpH}{dV_b} = g(V_b)$ (document 3).



3.1. Parmi les courbes 1 et 2, quelle est celle qui représente $\text{pH} = f(V_b)$ et celle qui représente

$$\frac{d\text{pH}}{dV_b} = g(V_b) ? \text{ Justifier.}$$

3.3.2. Déterminer la valeur du volume équivalent V_E par une méthode de votre choix.

On note, à présent, l'ibuprofène $\text{R}-\text{COOH}$.

3.4. À quel couple acide/base appartient l'ion hydroxyde HO^- ?

3.5. Écrire l'équation de la réaction support de titrage.

3.6. Quelles caractéristiques doit posséder une réaction chimique pour être utilisée lors d'un titrage ?

3.7. Le pK_A du couple auquel appartient l'ibuprofène est, à 25°C , $\text{pK}_A = 4,5$.

Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple $\text{R}-\text{COOH}/\text{R}-\text{COO}^-$.

En utilisant le document 3, déterminer quelle espèce prédomine en début de titrage.

3.8. La solution d'hydroxyde de sodium (de concentration c_b) est initialement placée dans la burette. Calculer le pH de cette solution aqueuse dans l'hypothèse d'une solution diluée.

Quelles précautions d'utilisation convient-il de prendre ? Justifier.

3.9. À l'aide des questions 3.3.2. et 3.5, déterminer la quantité de matière d'ions hydroxyde $n_E(\text{HO}^-)$ versée à l'équivalence et en déduire la quantité de matière $n_i(\text{ibu})$ d'ibuprofène titré.

3.10. Déduire des résultats précédents la masse m d'ibuprofène titré et comparer cette dernière à la valeur attendue.

3.11. On souhaite évaluer l'incertitude $U(m)$ sur la masse m liée aux différentes sources d'erreurs avec un niveau de confiance de 95%. Dans ces conditions :

- l'incertitude sur la mesure du volume versé par cette burette est $U_{\text{vol}} = 0,16 \text{ mL}$;
- l'incertitude sur la concentration en hydroxyde de sodium est $U_{\text{Cb}} = 0,010 \text{ mol.L}^{-1}$.

L'incertitude $U(m)$ sur la masse est alors telle que :
$$\frac{U(m)}{m} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{vol}}}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{Cb}}}{C_b}\right)^2}.$$

Présenter le résultat de la valeur de la masse m sous la forme $m = m \pm U(m)$.

3.12. Parmi les indicateurs colorés acido-basiques proposés dans le tableau ci-après, quel est celui qui est le mieux adapté au titrage précédent ? Justifier.

Indicateur coloré	Couleur acide	Zone de virage	Couleur basique
Vert de bromocrésol	jaune	3,8 – 5,4	bleu
Phénolphthaléine	incolore	8,2 – 10	rose
Jaune d'alizarine	jaune	10,1 – 12,0	rouge-orangé

Données :

Masse molaire de l'ibuprofène : $M(\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_2) = 206 \text{ g.mol}^{-1}$.

Produit ionique de l'eau : $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$ à 25°C .

BAC S 2013 ANTILLES GUYANE SESSION DE REMPLACEMENT
EXERCICE 3 - DE HUBBLE A JAMES WEBB - 5 POINTS

Dès 1923, Hermann Oberth mentionne l'intérêt d'un télescope spatial. En effet, un télescope terrestre reçoit des radiations filtrées par l'atmosphère terrestre qui absorbe des radiations électromagnétiques dans le domaine de l'infrarouge notamment. Par ailleurs un télescope spatial n'est pas sensible aux turbulences atmosphériques.

Le télescope spatial Hubble, du nom de l'astronome américain Edwin Hubble, a été lancé en 1990. Celui-ci souffrait au départ d'un défaut de courbure du miroir, non détecté avant la mise en orbite, qui provoquait des images floues. Après modification grâce à une mission spatiale, Hubble put enfin fournir ses premières images de l'Univers dans le domaine du spectre ultraviolet, visible et proche infrarouge. Le télescope Hubble, d'une masse $m = 11$ tonnes, est positionné sur une « orbite basse » à une altitude quasi constante $h = 600$ km de la surface de la Terre.

Le télescope spatial James Webb, du nom d'un administrateur de la NASA, doit succéder au télescope Hubble en 2018. Il sera lancé par une fusée Ariane 5. Le télescope spatial James Webb, d'une masse de 6200 kg, sera en orbite à une distance proche de 1,5 millions de kilomètres de la Terre en un point dénommé « point de Lagrange L2 » (voir documents 1 à 3).

D'après www.wikipedia.fr, www.hubblesite.org et <http://www.jwst.nasa.gov>

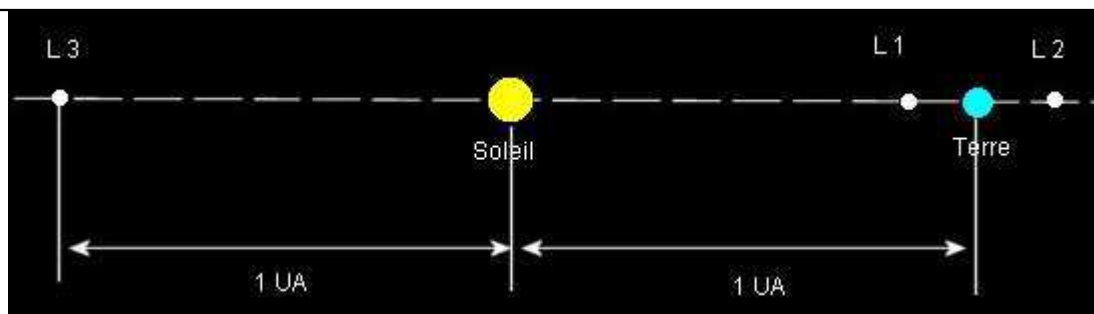
Document 1 : Points de Lagrange

En mécanique céleste, il est un sujet qui a passionné de nombreux mathématiciens : c'est le problème dit « des trois corps ». Joseph-Louis Lagrange étudia le cas d'un petit corps, de masse négligeable, soumis à l'attraction de deux plus gros : le Soleil et, par exemple, une planète. Il découvrit qu'il existait des positions d'équilibre pour le petit corps.

Un point de Lagrange (il en existe 5, notés L1 à L5) est une position de l'espace où les champs de gravité de deux corps très massifs en orbite l'un autour de l'autre fournissent exactement la force centripète requise pour que ce point de l'espace accompagne simultanément la rotation des deux corps.

Dans le cas où les deux corps sont en orbite circulaire, ces points représentent les endroits où un troisième corps de masse négligeable resterait immobile par rapport aux deux autres : il accompagnerait à la même vitesse angulaire leur rotation autour de leur centre de gravité commun sans que sa position par rapport à eux n'évolue. La sonde d'observation SoHO, destinée à observer le Soleil, a par exemple été placée au point L1.

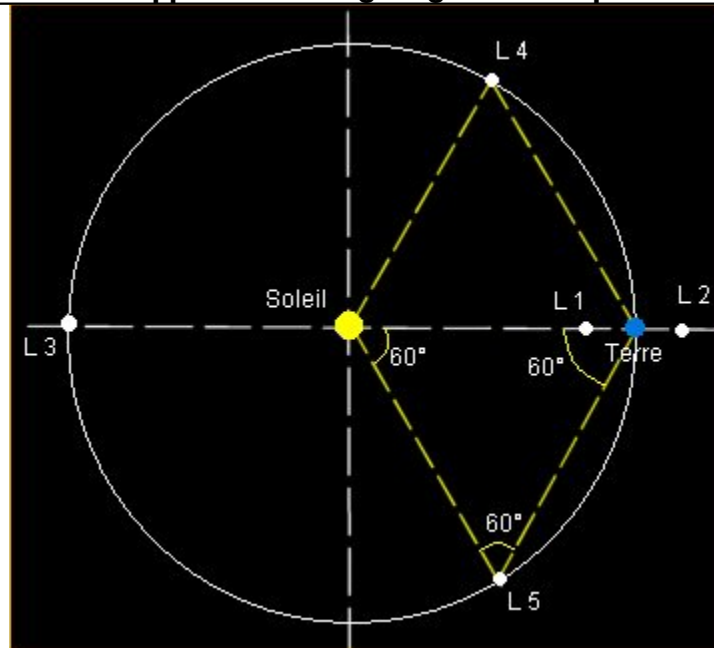
Document 2 : Positions des points de Lagrange sur l'axe Soleil-Terre



Positions des points L1 à L3 sur l'axe Soleil-Terre

<http://fr.wikipedia.org>

Document 3 : Positions des cinq points de Lagrange dans le plan de l'écliptique



Positions des 5 points de Lagrange

<http://fr.wikipedia.org>

Données :

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

Distance moyenne Soleil-Terre : $d = 149,6 \times 10^6 \text{ km}$ équivaut à 1 UA (unité astronomique)

Rayon de la Terre : $R_T = 6370 \text{ km}$

Durée d'une année terrestre : 365,25 jours

Les deux parties sont indépendantes

1. Première partie : étude de l'orbite du télescope spatial Hubble

On étudie le système {télescope spatial Hubble} dans le référentiel géocentrique en négligeant l'interaction gravitationnelle du Soleil avec le télescope.

- 1.1. Quelle est la trajectoire du télescope Hubble dans ce référentiel ?
- 1.2. À partir de la deuxième loi de Newton, montrer que, dans l'approximation d'une trajectoire circulaire, le mouvement du télescope Hubble est uniforme.
- 1.3. Montrer que l'expression de la valeur de la vitesse v du satellite dans le référentiel géocentrique est : $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R_T + h}}$.
- 1.4. Établir l'expression de sa période de révolution T en fonction de R_T , h et v .
- 1.5. Rappeler la troisième loi de Kepler.

Montrer que dans le cas du télescope spatial Hubble on a la relation : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_T}$ où

$r = R_T + h$ représente la distance entre le centre de la Terre et le télescope spatial.

- 1.6. Calculer la période de révolution T du télescope spatial Hubble, exprimée en minutes.

2. Deuxième partie : étude de la mise en orbite du télescope spatial James Webb

Le télescope spatial James Webb sera mis en orbite par le lanceur européen Ariane 5 depuis la base de lancement située à Kourou en Guyane. Dans cette partie on étudie tout d'abord le système {Ariane 5} (incluant tout son équipement y compris le télescope) dans le référentiel terrestre que l'on suppose galiléen pendant la durée de l'étude. Initialement le système {Ariane 5} est situé sur sa base de lancement. Le repère d'espace choisi est un axe vertical Oz orienté vers le haut. L'origine O est initialement confondue avec le centre d'inertie de la fusée de sorte que $z(0) = z_0 = 0$.

2.1. Lors de son décollage, la fusée Ariane 5 et son équipement possèdent une masse totale proche de $M = 780$ tonnes. La valeur F de la force de poussée générée par ses propulseurs est de l'ordre de $14,0 \times 10^6$ N.

2.1.1. Déterminer la valeur P du poids de la fusée Ariane 5 au moment de son décollage. Donnée : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ (intensité de la pesanteur).

2.1.2. Dédurre de la deuxième loi de Newton l'expression de la coordonnée a_z du vecteur accélération \vec{a} du lanceur Ariane 5 au moment de son décollage en fonction de M, F et g.

2.1.3. L'accélération reste constante si l'on peut négliger les forces de frottement fluide et si le champ de gravitation reste constant. On montre que l'altitude $z(t)$ du lanceur Ariane 5 est alors donnée par la relation :

$$z(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{F}{M} - g \right) \cdot t^2$$

Calculer la valeur de l'altitude z du lanceur Ariane 5 au bout de 10 s dans ces conditions.

2.1.4. En réalité, l'altitude d'Ariane 5 est nettement plus faible au bout de 10 s. Proposer une explication énergétique.

On envisage à présent le cas où le télescope James Webb aura atteint le point de Lagrange L2.

2.2. Pourquoi le point L2 a-t-il été choisi pour l'orbite du télescope James Webb plutôt que le point L1, alors qu'il est envisageable de placer plusieurs satellites au même point de Lagrange ?

1. Bivouac à la belle étoile

On peut lire dans une documentation sur les matelas de sol en mousse :

« Une fois allongé, vous écrasez votre sac de couchage ce qui le rend inefficace. En contact avec un sol plus froid que votre corps, vous perdez alors de l'énergie par transfert thermique. L'utilisation d'un matelas de sol, qui conserve son épaisseur et sa capacité d'isolation même soumis à la pression, limite ce phénomène ».



Avant d'acquérir un matelas de sol en mousse, un randonneur a longuement hésité entre deux matelas : le « Sleepy » et le « Randy ». Après consultation des différentes documentations, son choix s'est arrêté sur le matelas en mousse « Sleepy ».

Données :

- Caractéristiques du matelas de sol « Sleepy » :

Nom	Température minimale d'utilisation	Conductivité thermique	Dimensions : longueur × largeur × épaisseur
Sleepy	6°C	0,03 W.m ⁻¹ .K ⁻¹	193 cm × 62 cm × 1,1 cm

- Résistance thermique de conduction :

La résistance thermique de conduction R_{th} , (en K.W⁻¹) d'un matériau d'épaisseur e (en m), de surface d'échange par conduction S (en m²) et de conductivité thermique λ (W.m⁻¹.K⁻¹) est :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

- Flux thermique :

Le flux thermique ϕ (en W) correspond à une énergie thermique transférée à travers une paroi par unité de temps. Si ΔT est l'écart de température de part et d'autre de la paroi, le flux thermique à travers cette paroi est exprimé par :

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

- La température de l'air et du sol est de 15 °C.

- Température de la peau : 33 °C.

Indiquer dans quel sens se fait le transfert thermique à travers le matelas lorsque le randonneur est allongé et décrire le phénomène de transfert thermique par conduction à l'échelle microscopique.

1.1. Le randonneur souhaite comparer les capacités d'isolation thermique des deux matelas de sol, le « Sleepy » et le « Randy », en se plaçant dans les mêmes conditions d'utilisation. Pour simplifier, il fait l'hypothèse que les résistances thermiques des vêtements et du sac de couchage sont négligeables.

1.2.1. On note S , la surface du randonneur au contact du matelas. Quatre valeurs de S sont proposées :

0,005 m² 0,05 m² 0,5 m² 5 m²

Choisir celle qui semble correctement estimée. Justifier.

1.2.2. Calculer le flux thermique ϕ traversant le matelas « Sleepy ».

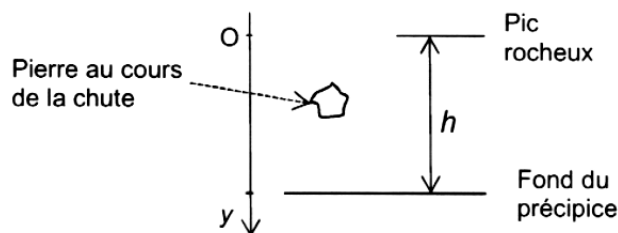
1.2.3. Le flux thermique traversant le matelas « Randy », dans les mêmes conditions d'utilisation, est de 40 W.

Quel matelas possède les meilleures capacités d'isolation thermique ?

Justifier.

2. Au bord du précipice

Le randonneur souhaite estimer la hauteur h d'un précipice en lâchant une pierre à partir du bord d'un pic rocheux en surplomb. La position de la pierre est repérée sur un axe Oy vertical dirigé vers le bas.



Le randonneur déclenche sa montre-chronomètre à la date $t = 0$ s correspondant au début de la chute, soit à la position $y_0 = 0$ m.

Il arrête son chronomètre lorsqu'il entend la pierre percuter les rochers en contrebas du précipice.

La durée mesurée est de 5,2 s.

Données :

- Valeur du champ de pesanteur sur Terre : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.
- Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen.
- Célérité du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

On considère dans l'exercice que les frottements sont négligeables.

2.1. Montrer que la hauteur h du précipice et la durée t_C de la chute sont liées par :

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_C^2$$

2.2. Estimation de la hauteur h du précipice.

2.2.1. En négligeant la durée de propagation du son, estimer la hauteur h du précipice.

2.2.2. L'hypothèse faite dans la question 2.2.1 est-elle justifiée ? Justifier la réponse par une application numérique. Avec cette hypothèse, la hauteur calculée est-elle plus grande ou plus petite que la hauteur réelle ?

Correction

EXERCICE 1 – UN EXEMPLE DE CHIMIE VERTE : LA SYNTHÈSE DE L'IBUPROFÈNE – 11 POINTS

1. Première partie : description de l'ibuprofène

1.1. (0,5) L'ibuprofène contient le groupe caractéristique carboxyle COOH qui correspond à la fonction chimique acide carboxylique.

1.2. (0,5) Le carbone n°2 est lié à 4 groupes d'atomes différents, il s'agit d'un atome de carbone asymétrique.

1.3. (0,5) Les molécules R et S sont images l'une de l'autre dans un miroir plan et sont non superposables : ce sont des molécules énantiomères.

2. Deuxième partie : analyse des voies de synthèse

2.1. (0,5) Pour le procédé des laboratoires Boots $UA_1 = 0,40 = 40\%$ est inférieure à UA_2 du procédé de la société BHC qui vaut environ 77%.

Le procédé BHC est plus efficace, la pollution à la source est réduite. Ce procédé BHC est plus respectueux de l'environnement.

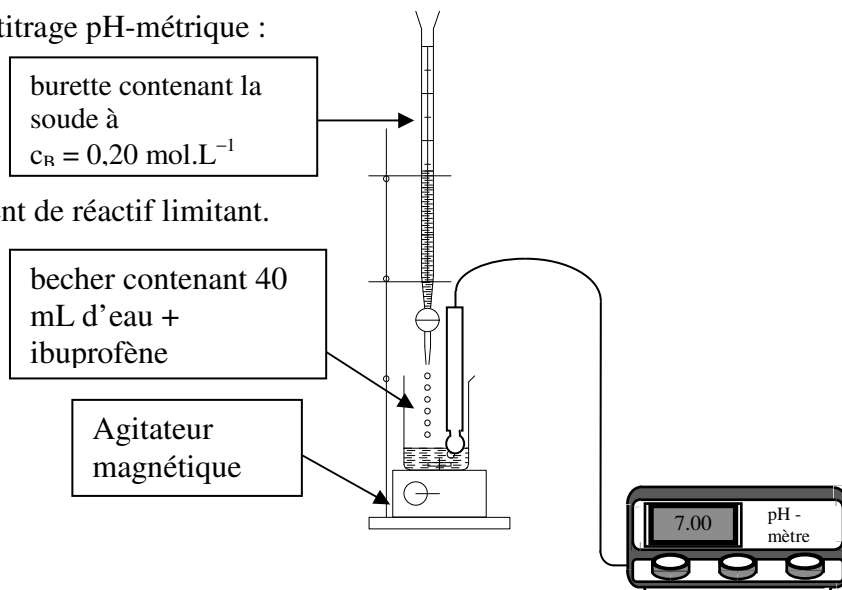
2.2. (0,5) Le nickel et le palladium sont des catalyseurs. Ils permettent de réduire la durée de réaction.

2.3. (0,5) L'étape 1 des procédés Boots et BHC est une substitution (H par COCH₃).

2.4. (0,5) Lors de l'étape 5, il se produit une réaction d'élimination (d'eau).

3. Troisième partie : titrage d'un comprimé d'ibuprofène

3.1. (1 pt) Schéma du montage d'un titrage pH-métrique :



3.2. À l'équivalence, il y a changement de réactif limitant. (0,5 pt)

3.3.1. (0,5 pt) Lors du titrage, on ajoute une base dans une solution acide, dès lors le pH augmente. La courbe 1 représente $\text{pH} = f(V_b)$.

Lorsque le pH augmente fortement alors $\frac{d\text{pH}}{dV_b}$ est maximale, ce qui est visible sur la courbe 2 sous forme d'un pic.

3.3.2. (0,5) La méthode des tangentes (<http://labolycee.org/animations/methode-tangente.swf>) permet de trouver un volume équivalent $V_E = 9,7 \text{ mL}$.

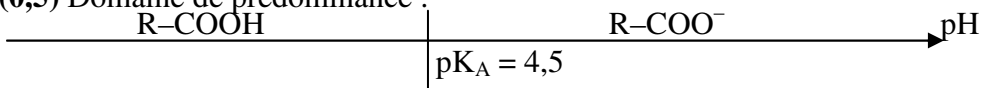
La dérivée passe par un extrémum (ici un maximum) à l'équivalence, la courbe 2 permet de confirmer le résultat.

3.4. (0,5) L'anion hydroxyde appartient au couple acide/base : $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$.

3.5. (0,5) L'équation de la réaction support du titrage est : $\text{R-COOH} + \text{HO}^- \rightarrow \text{R-COO}^- + \text{H}_2\text{O}$.

3.6. (0,5) Pour être utilisée lors d'un titrage, une réaction chimique doit être rapide et totale.

3.7. (0,5) Domaine de prédominance :



La courbe 1 montre qu'en début du titrage, $\text{pH} < 3$ donc inférieur au pK_A donc l'acide RCOOH prédomine sur RCOO^- .

3.8. (1 pt) $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$

Or $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HO}^-]$ et $[\text{HO}^-] = C_b$ donc $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_e}{C_b}$

Ainsi $\text{pH} = -\log \frac{K_e}{C_b} = -\log K_e - \log \frac{1}{C_b} = -\log K_e + \log c_b$.

$\text{pH} = -\log 1,0 \times 10^{-14} + \log 0,20 = 13$

Cette solution est très basique, il convient de la manipuler avec des lunettes de protection et une blouse.

3.9. (0,5) Quantité de matière d'ions hydroxyde $n_E(\text{HO}^-)$ versée à l'équivalence :

$n_E(\text{HO}^-) = C_b \cdot V_E$

$n_E(\text{HO}^-) = 0,20 \times 9,7 \times 10^{-3} = 1,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$

Quantité de matière $n_i(\text{ibu})$ d'ibuprofène titré :

d'après l'équation support du titrage $n_i(\text{ibu}) = n_E(\text{HO}^-)$

$n_i(\text{ibu}) = 1,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$

3.10. (0,5) masse m d'ibuprofène titré $m = n_i(\text{ibu}) \cdot M(\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_2)$

$m = 1,94 \times 10^{-3} \times 206 = 0,40 \text{ g}$

Ce résultat est en accord avec l'indication « ibuprofène 400 mg » (= 0,400 g).

3.11. (0,5) $\frac{U(m)}{m} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{vol}}}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{Cb}}}{C_b}\right)^2}$ donc $U(m) = m \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{\text{vol}}}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{Cb}}}{C_b}\right)^2}$

$U(m) = 0,40 \times \sqrt{\left(\frac{0,16}{9,7}\right)^2 + \left(\frac{0,010}{0,20}\right)^2} = 0,021 \text{ g}$ l'incertitude est généralement arrondie par excès avec un

seul chiffre significatif soit $U(m) = 0,03 \text{ g}$

$m = 0,40 \pm 0,03 \text{ g}$

3.12. (0,5) La zone de virage de l'indicateur coloré doit comprendre le pH à l'équivalence.

La méthode des tangentes montre que celui-ci vaut 8,5, ainsi seule la phénolphtaléine convient.

1. Première partie : étude de l'orbite de Hubble

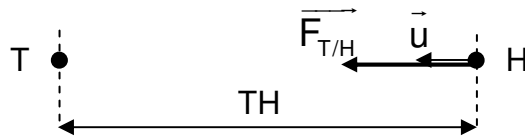
1.1. (0,25) Le télescope Hubble évolue à une altitude constante de la surface de la Terre. Dans le référentiel géocentrique, sa trajectoire est un cercle.

1.2. (1 pt) La 2ème loi de Newton appliquée au système {télescope}, dans le référentiel géocentrique supposé galiléen indique $\Sigma \vec{F}_{\text{Ext.}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$.

En considérant que le télescope n'est soumis qu'à la force $\vec{F}_{T/H}$ d'attraction gravitationnelle de la Terre, on a $\vec{F}_{T/H} = \frac{d\vec{p}}{dt}$.

La masse du satellite étant constante, on a : $\vec{F}_{T/H} = \frac{dm \cdot \vec{v}}{dt} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a}$

L'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\vec{F}_{T/H}$ est $\vec{F}_{T/H} = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(TH)^2} \cdot \vec{u}$



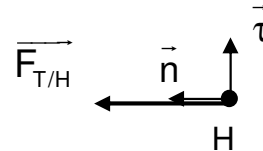
En posant $TH = R_T + h$ il vient : $G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u} = m \cdot \vec{a}$

L'accélération de Hubble est donc $G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u} = \vec{a}$.

Dans le repère de Frenet $(H, \vec{n}, \vec{\tau})$,

le vecteur accélération s'écrit : $\vec{a} = \frac{v^2}{(R_T + h)} \cdot \vec{n} + \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$.

avec $\vec{n} = \vec{u}$ on obtient : $\vec{a} = \frac{v^2}{(R_T + h)} \cdot \vec{u} + \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$.



En égalant les deux expressions de l'accélération, il vient : $\frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u} = \frac{v^2}{(R_T + h)} \cdot \vec{u} + \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$

Par identification on obtient :
$$\begin{cases} \text{sur } \vec{u} : \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} = \frac{v^2}{(R_T + h)} \\ \text{sur } \vec{\tau} : 0 = \frac{dv}{dt} \Rightarrow v = \text{cte} \end{cases}$$

La valeur de la vitesse de la station est constante donc le mouvement est uniforme.

1.3. (0,5) D'après la question précédente, on a $\frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} = \frac{v^2}{(R_T + h)}$

On en déduit que $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R_T + h}}$.

1.4. (0,5) Pendant une période T , le satellite parcourt son orbite de longueur $2\pi(R_T + h)$ à la vitesse v , donc $T = \frac{2\pi \cdot (R_T + h)}{v}$.

1.5. (0,5) Énoncé de la 3ème loi de Kepler : Le rapport du carré de la période de révolution par le cube du demi-grand axe de l'ellipse (ou du cube du rayon du cercle) est une constante qui ne dépend que du centre attracteur.

D'après la question 1.4 : $T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot (R_T + h)^2}{v^2}$

D'après la question 1.3 : $v^2 = \frac{G \cdot M_T}{R_T + h}$

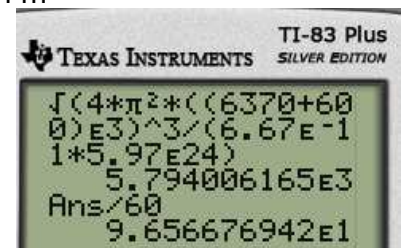
On en déduit que : $T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot (R_T + h)^2}{\frac{G \cdot M_T}{R_T + h}} = \frac{4\pi^2 \cdot (R_T + h)^3}{G \cdot M_T}$

Finalement en posant $r = R_T + h$, le rayon de l'orbite on obtient $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_T}$

1.6. (0,5) Pour calculer la valeur de T : R_T et h sont à exprimer en m

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot (R_T + h)^3}{G \cdot M_T}}$$

3. $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \times ((6370 + 600) \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}} = 5,79 \times 10^3 \text{ s} = 96,6 \text{ min}$



4. **2. Deuxième partie : étude de la mise en orbite du télescope spatial James Webb**

2.1.1. (0,5) Calcul du poids de la fusée : $P = M \cdot g$ avec M la masse en kg

$P = 780 \times 10^3 \times 9,8 = 7,6 \times 10^6 \text{ N}$

2.1.2. (0,5) En appliquant la deuxième loi de Newton, dans le référentiel terrestre, et en supposant la masse M de la fusée constante : $\vec{P} + \vec{F} = M \cdot \vec{a}$

Par projection suivant l'axe vertical Oz orienté vers le haut, on a $P_z + F_z = M \cdot a_z$
 $- M \cdot g + F = M \cdot a_z$
 $a_z = -g + \frac{F}{M}$

2.1.3. (0,25) Calculons l'altitude après une durée de 10 s :

$$z(t=10\text{s}) = \frac{1}{2} \left(\frac{14,0 \cdot 10^6}{780 \cdot 10^3} - 9,8 \right) \times 10^2 = 4,1 \cdot 10^2 \text{ m}$$

2.1.4. (0,25) Les forces de frottements ne sont pas négligeables : le travail résistant de ces dernières engendre une diminution de l'énergie mécanique de la fusée.

2.2. (0,25) Au point L2, le télescope James WEBB sera dans l'ombre de la Terre et ne sera pas perturbé par la lumière issue du Soleil.

EXERCICE III. RANDONNÉE EN MONTAGNE (4 points)

1. Bivouac à la belle étoile

1.1. Le transfert thermique entre le sol (15°C) et le randonneur allongé (33°C), à travers le matelas, s'effectue spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Le transfert thermique a donc lieu du randonneur vers le sol.

Au niveau microscopique, ce transfert thermique par conduction résulte de l'agitation thermique des molécules du matelas qui se transmet de proche en proche du randonneur vers le sol mais sans transport de matière.

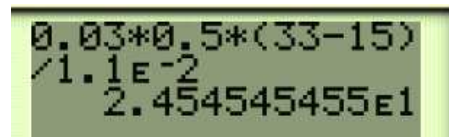
1.2.1. La surface du matelas est : $S_{\text{matelas}} = 1,93 \times 0,62 = 1,20 \text{ m}^2$.

En admettant que le randonneur occupe environ la moitié de cette surface lorsqu'il est allongé, la surface S du randonneur en contact avec le matelas est $0,5 \text{ m}^2$.

1.2.2. Flux thermique à travers le matelas « Sleepy » : $\phi_S = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{e}{\lambda \cdot S}\right)} = \frac{\lambda \cdot S \cdot \Delta T}{e}$

Soit : $\phi_S = \frac{0,03 \times 0,5 \times (33 - 15)}{1,1 \times 10^{-2}} = 24,5 \text{ W} \approx 2 \times 10^1 \text{ W}$

en ne conservant qu'un seul chiffre significatif.



1.2.3. Le flux thermique du matelas Randy est $\phi_R = 40 \text{ W}$.

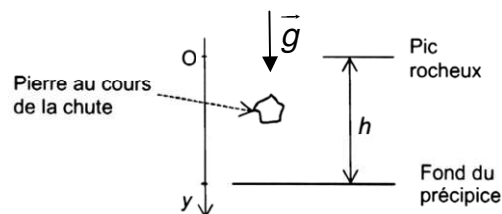
Le matelas qui a les meilleures capacités d'isolation thermique est celui qui est traversé par le flux thermique le plus faible. Or $\phi_R > \phi_S$ donc il s'agit du matelas Sleepy.

2. Au bord du précipice

2.1. On étudie le mouvement du système {pierre} de masse m constante dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le repère d'étude est le repère (O, \vec{j})

d'axe (Oy) orienté vers le bas.

En négligeant, les frottements, la pierre n'est soumise qu'à son poids : $\vec{P} = m\vec{g}$.



La deuxième loi de Newton, appliquée à la pierre de masse m constante, donne :

$$\sum \vec{F}_{Ext} = m\vec{a} \quad \text{soit ici } \vec{P} = m\vec{a} \quad \text{donc} \quad m\vec{g} = m\vec{a} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\vec{a} = \vec{g}}$$

En projection selon l'axe (Oy) orienté vers le bas on a : $a_y = g_y$ soit $\boxed{a_y = g}$

Or $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ donc $a_y = \frac{dv_y}{dt} = g$ en primitivant on obtient : $v_y(t) = g \cdot t + \text{Cte1}$.

La pierre est lâchée sans vitesse initiale : $v_y(t=0) = 0$ soit $0 = 0 + \text{Cte1}$ d'où : $\boxed{v_y(t) = g \cdot t}$

Et $\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt}$ donc $v_y = \frac{dy}{dt} = g \cdot t$ en primitivant on obtient : $y(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2 + \text{Cte2}$.

La pierre est lâchée à l'instant initial depuis l'origine du repère : $y(t=0) = y_0 = 0$ soit $0 = 0 + \text{Cte2}$ d'où :

$$\boxed{y(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2}$$

La hauteur de chute est : $h = y(t_C) - y_0 = y(t_C)$ donc finalement : $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_C^2$

2.2. Estimation de la hauteur h du précipice.

2.2.1. $h = \frac{1}{2} \times 9,8 \times (5,2)^2 = 1,3 \times 10^2 \text{ m.}$

```
0.5*9.8*5.2^2
1.32496E2
Ans/340
3.896941176E-1
```

2.2.2. Calculons la durée Δt_{son} nécessaire pour que le son parcourt la hauteur h à la célérité $v_{\text{son}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$:

$$v_{\text{son}} = \frac{h}{\Delta t_{\text{son}}} \text{ donc } \Delta t_{\text{son}} = \frac{h}{v_{\text{son}}}$$

soit $\Delta t_{\text{son}} = \frac{132,49...}{340} = 0,39 \text{ s}$ en ne conservant que deux chiffres significatifs.

Cette durée de 0,39 s n'est pas négligeable par rapport à la durée chronométrée de 5,2 s.

En tenant compte de la durée de propagation du son, la durée de chute réelle $t_{\text{réelle}}$ est plus petite que la durée de chute mesurée :

$t_{\text{réelle}} = t_C - \Delta t_{\text{son}}$ soit $t_{\text{réelle}} = 5,2 - 0,38969... = 4,8131... \text{ s} = 4,8 \text{ s.}$
on ne conserve que deux chiffres significatifs.

La hauteur de chute réelle est alors : $h_{\text{réelle}} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{réelle}}^2$

$h_{\text{réelle}} = \frac{1}{2} \times 9,8 \times (4,8)^2 = 1,1 \times 10^2 \text{ m.}$

on ne conserve que deux chiffres significatifs.

```
0.5*9.8*4.8^2
1.12896E2
```

La hauteur calculée est donc plus grande que la hauteur réelle.