

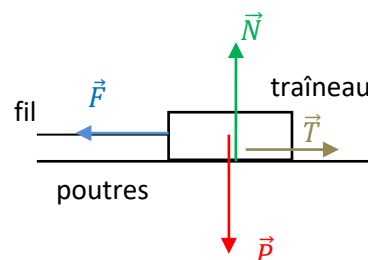
**CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES**  
**SESSION 2017**  
**COMPOSITION DE PHYSIQUE-CHIMIE**  
**CORRECTION**

**Partie I – Coulomb et les lois du frottement solide**

**I.A. Coulomb et le frottement statique**

**1** Sur le schéma suivant on représente le traîneau soumis aux différentes forces :

- le poids  $\vec{P}$
- la tension du fil  $\vec{F}$
- la réaction normale  $\vec{N}$
- la réaction tangentielle  $\vec{T}$



**2** La réaction normale  $\vec{N}$  est normale aux poutres. Les poutres étant supposées horizontales, la réaction normale est portée par la verticale du lieu.

De plus les poutres empêchent le traîneau de tomber, elles exercent donc une réaction dirigée vers le haut.

Le traîneau ne se déplace qu'horizontalement sur les poutres, ainsi il n'y a pas d'accélération selon l'axe vertical, et donc, par le principe fondamental de la dynamique (dans le référentiel terrestre supposé galiléen d'étude appliqué au système {traîneau}), les forces verticales se compensent :  $\vec{P} + \vec{N} = \vec{0}$ .

Cela donne :  $N = m_{\text{tr}} \cdot g$ .

**3** La réaction tangentielle  $\vec{T}$  est définie comme étant tangentielle au support. Elle est donc dirigée par l'horizontal.

De plus cette réaction s'oppose au mouvement, elle est donc de sens contraire à celui de la tension du fil, i.e. de gauche à droite sur le schéma du document 1.

**4** On définit le système {fil}. Lorsque le traîneau est immobile le fil est soumis à trois forces : l'action du traîneau, le poids du plateau et l'action de la poulie. Comme on considère que la poulie est idéale, elle ne fait que modifier la direction de la force de tension.

La tension qu'exerce le fil sur le traîneau est opposée à la tension qu'exerce le traîneau sur le fil (principe des actions réciproques ou troisième loi de Newton), ainsi leur norme sont identiques.

Le poids du plateau s'exprime simplement par :  $\vec{P}_p = m_p \cdot \vec{g}$ .

Comme le fil est immobile on peut aisément en déduire que les forces se compensent par le principe d'inertie ou première loi de Newton, et ainsi que les normes de la tension du fil et du poids du plateau sont égales.

On a donc :  $\|\vec{F}\| = m_p \cdot g$ .

**5** Tant qu'il n'y a pas glissement le traîneau est immobile et par le principe d'inertie on en déduit que les forces horizontales se compensent :  $\vec{F} + \vec{T} = \vec{0}$ . D'où :  $\|\vec{F}\| = \|\vec{T}\|$ .

Et enfin :  $T = m_p \cdot g$ .

**6** On peut calculer le rapport demandé par la formule :  $\frac{T}{N} = \frac{m_p}{m_{\text{tr}}}$ .

**AN.**  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp1}} = \frac{30}{74} = 0,41$  ;  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp2}} = \frac{406}{874} = 0,465$  ;  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp3}} = \frac{1116}{2474} = 0,4511$

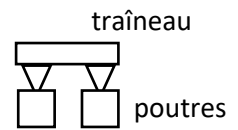
**7** On peut remarquer que dans les trois expériences précédentes les rapports  $\frac{T}{N}$  restent très proches lorsque le traîneau se met en mouvement. Ainsi Coulomb a pu en déduire que tant que le rapport  $\frac{T}{N}$  était faible il n'y avait pas glissement, et que dès qu'il atteignait une valeur critique l'objet considéré se mettait à glisser.

Ce qu'il a résumé par la formule :  $T \leq \mu_s N$  où  $\mu_s$  est la valeur critique du rapport  $\frac{T}{N}$ .

**8** Pour déterminer le coefficient de frottement statique  $\mu_s$  à partir des données du document 2, il suffit de réaliser la moyenne des valeurs calculées à la question **6** :  $\mu_s = \frac{0,41+0,465+0,4511}{3} = 0,44$ .

Le résultat est bien sans dimension.

**9** Dans le document 3, il est expliqué quelle modification Coulomb a réalisée avant de refaire ses expériences. Il a ajouté deux prismes afin de modifier la zone de contact entre le traîneau et les poutres le supportant (cf. schéma ci-contre). Cette modification diminue la zone de contact mais pas le poids du traîneau, ainsi la pression exercée par le traîneau sur les poutres est plus importante mais sur une surface plus faible.



On réalise de nouveau le calcul des coefficients de frottements statique pour les nouvelles expériences.

**AN.**  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp4}} = \frac{106}{250} = 0,424$  ;  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp5}} = \frac{186}{450} = 0,413$  ;  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp6}} = \frac{356}{856} = 0,416$

La moyenne nous donne la valeur recherchée :  $\mu_s = \frac{0,424+0,413+0,416}{3} = 0,418$ .

On a bien une modification de la valeur du coefficient de frottements statique, cependant la dispersion des résultats est inférieure à elle de la question **6**. On ne peut donc pas conclure quant à l'influence de la surface de contact.

### I.B. Coulomb et le frottement dynamique

**10** On peut remarquer que Coulomb réalise des mesures de temps autour de la seconde avec un pendule battant la demi-seconde, i.e. avec une précision maximale de l'ordre du quart de seconde. Ainsi les incertitudes liées à cette expérience sont très importantes et les résultats associés resteront approximatifs.

**11** On part de l'hypothèse d'une accélération constante :  $a = \text{cte}$ .

Par définition :  $a = \frac{dv}{dt}$  d'où :  $v = at + 0$  (pas de vitesse initiale).

De même :  $v = \frac{dx}{dt}$  où  $x$  est la position du traîneau.

On a donc :  $x(t) = \frac{at^2}{2} + 0$  (on place l'origine du mouvement à l'instant initial).

À l'instant  $\Delta t_1$  le traîneau a parcouru la distance  $d$ , on a donc :  $d = \frac{a\Delta t_1^2}{2}$  ou encore  $\Delta t_1 = \sqrt{\frac{2d}{a}}$ .

**12** Sachant qu'à l'instant  $\Delta t_1 + \Delta t_2$  le traîneau a parcouru la distance  $2d$ , on peut écrire :  $2d = \frac{a}{2} \times (\Delta t_1 + \Delta t_2)^2$ .

D'où l'on tire :  $\Delta t_2 = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{2d}{a}} - \Delta t_1 = \Delta t_1 \cdot (\sqrt{2} - 1)$ .

On a donc bien  $\Delta t_2 = \alpha \Delta t_1$  avec  $\alpha = \sqrt{2} - 1$ .

**13** Pour déterminer si cette valeur est en accord avec les résultats de Coulomb on va calculer le rapport  $\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$  pour les différentes mesures.

$\Delta t_1$ (s)	1,5	14	5,5	4,5	3	4
$\Delta t_2$ (s)	0,5	6	2,5	2	1,5	2,5
$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$	0,3	0,4	0,45	0,4	0,5	0,6

On trouve une valeur relativement stable dont la moyenne est : 0,4.

La question précédente a permis de déterminer la valeur de  $\alpha$  :  $\alpha = \sqrt{2} - 1 = 0,41$ .

Cette valeur est bien en accord avec les résultats de Coulomb.

L'hypothèse de départ de la question **11** est donc validée et on peut bien considérer que le mouvement est uniformément accéléré.

**14** Pour démontrer le caractère uniformément accéléré avec du matériel moderne on peut utiliser la chronophotographie ou utiliser un accéléromètre.

**15** La démonstration demandée se rapproche de celle déjà effectuée dans la question **4**.

On peut assurer que le fil va rester tendu et, s'il n'est pas élastique, il va garder la même longueur. Chaque extrémité du fil va donc avoir un mouvement, en norme, identique. Les deux extrémités sont reliées respectivement au plateau et au traîneau, qui ont donc le même mouvement que l'extrémité à laquelle ils sont reliés.

Ainsi on peut assurer que l'accélération du plateau et celle du traîneau ont la même norme (il en est de même pour la vitesse).

**16** D'après les démonstrations des questions **11** et **12**, le coefficient  $\alpha$  ne dépend pas des coefficients de frottement.

**17** En reprenant le principe fondamental de la dynamique projeté selon l'horizontal (cf. schéma de la question 1), on peut écrire :  $m_{tr} \cdot a = \|\vec{F} + \vec{T}\| = m_p \cdot g - \mu_d N = m_p \cdot g - \mu_d \times m_{tr} \cdot g = g \cdot (m_p - \mu_d m_{tr})$ .

D'où :  $\mu_d = \frac{m_p}{m_{tr}} - \frac{a}{g}$ .

En utilisant l'expression de l'accélération trouvée à la question **11** :  $a = \frac{2d}{\Delta t_1^2}$ ,

on obtient finalement :  $\mu_d = \frac{m_p}{m_{tr}} - \frac{2d}{g\Delta t_1^2}$ .

**18** On réalise le calcul pour chaque expérience avec  $d = 2 \text{ pieds} = 2 \times 295 \text{ mm} = 0,6 \text{ m}$  ;  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

$\Delta t_1$ (s)	1,5	14	5,5	4,5	3	4
$m_{tr}$ (kg)	23	807,0	807,0	807,0	428	1212
$m_p$ (kg)	4	79,4	81,3	84,3	51,5	132
$\mu_d$	0,1	0,098	0,097	0,098	0,11	0,10

On retrouve bien le même ordre de grandeur pour les différentes mesures.

Pour estimer la valeur du coefficient de frottement dynamique on réalise la moyenne des valeurs précédentes.

On trouve alors  $\mu_d = 0,10$ .

**19** On a mesuré les coefficients de frottement statique  $\mu_s = 0,418$  et dynamique  $\mu_d = 0,10$ .

On remarque que  $\mu_d < \mu_s$ .

Mettre un objet en mouvement nécessite donc une force plus importante que de maintenir le glissement.

**20** Aux vues des incertitudes des mesures, en particulier celle liée à la mesure des durées, on ne peut pas noter de modification du coefficient de frottement dynamique entre les quatre premières valeurs (surface de 36 pouces carré) et les deux suivantes (surface de 3 pieds carré).

La valeur du coefficient de frottement dynamique  $\mu_d$  ne semble donc pas dépendre de l'aire des surfaces de contact.

**21** On considère un traîneau de masse  $m_{tr} = 800 \text{ kg}$ , entraîné par le plateau chargé avec la masse  $m_p = 90 \text{ kg}$ , sur une distance  $d = 3,0 \text{ m}$ .

En reprenant le deuxième loi de Newton appliqué au traîneau, on peut écrire :  $m_{tr} \cdot a = m_p \cdot g - \mu_d \cdot m_{tr} \cdot g$ .

On en déduit la valeur de l'accélération :  $a = \left(\frac{m_p}{m_{tr}} - \mu_d\right) \cdot g = \text{cte}$ .

Par intégration avec vitesse initiale nulle, on obtient :  $v = a \times t + 0$  et  $d = \frac{a}{2} \times t^2$ .

D'où finalement :  $v = \sqrt{2da} = \sqrt{2dg \cdot \left(\frac{m_p}{m_{tr}} - \mu_d\right)}$ .

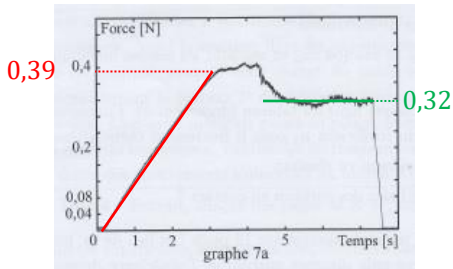
**AN.**  $v = \sqrt{2 \times 3,0 \times 9,81 \times \left(\frac{90}{800} - 0,11\right)} = 0,38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 1,4 \text{ km/h}$ .

La vitesse n'est pas particulièrement importante, mais pour une masse de presque une tonne, cette vitesse devient effectivement dangereuse.

## I.C. Version moderne des expériences de Coulomb

**22** Le capteur de force considéré permet de faire une mesure de la résistance au mouvement selon un mouvement horizontal, il permet donc de mesurer la composante tangentielle de la réaction  $T$ .

**23** On identifie les deux domaines demandés sur le graphe 7a.



La phase de contact est représentée en rouge sur le graphe ci-contre, c'est la phase pendant laquelle la tension appliquée croît linéairement. La phase de glissement est représentée en vert sur le graphe ci-contre, c'est la phase pendant laquelle la tension appliquée reste constante. Entre les deux phases on remarque un régime transitoire qui correspond à la mise en mouvement d'objet. On pourrait l'inclure dans la phase de glissement.

**24** Sur le graphique, on mesure l'ordonnée du point où s'arrête la linéarité :  $T = 0,39$  N.

On sait que la réaction normale s'exprime :  $N = mg$  avec  $m = 0,10$  kg.

On en déduit ainsi :  $\mu_s = \frac{T}{mg} = \frac{0,39}{0,10 \times 9,81} = 0,40$ .

De même on mesure l'ordonnée moyenne du plateau apparaissant autour de 5 s :  $T = 0,32$  N.

On déduit alors :  $\mu_d = \frac{T}{mg} = \frac{0,32}{0,10 \times 9,81} = 0,33$ .

**25** On retrouve bien la même inégalité pour les coefficients de frottement dans le cas du contact papier/papier que dans le cas chêne/chêne, i.e.  $\mu_d < \mu_s$ .

**26** On mesure sur le graphe 7a la durée de la phase statique  $\Delta t_s \sim 3$  s et de la phase dynamique  $\Delta t_d \sim 4$  s.

On nous donne également dans la légende du graphe les vitesses pour la phase statique  $v_s = 60 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et pour la phase dynamique  $v_d = 20 \text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

On peut alors en déduire une estimation de la distance parcourue en considérant les vitesses comme constantes :  $d = \Delta t_s \times v_s + \Delta t_d \times v_d$ . AN.  $d = 3 \times 60 \cdot 10^{-6} + 4 \times 20 \cdot 10^{-3} = 0,080 \text{ m} = 8,0 \text{ cm}$ .

Cette valeur est suffisamment faible pour faire une expérience avec un faible encombrement et de petits échantillons.

**27** Le graphe permet de remarquer que les résultats obtenus ne sont pas reproductibles. Ainsi on peut remarquer que lorsque l'on répète l'expérience le coefficient de frottement statique diminue (la partie linéaire s'arrête pour une force de plus en plus faible) et le coefficient de frottement dynamique diminue également (le force correspondant au plateau est de plus en plus faible).

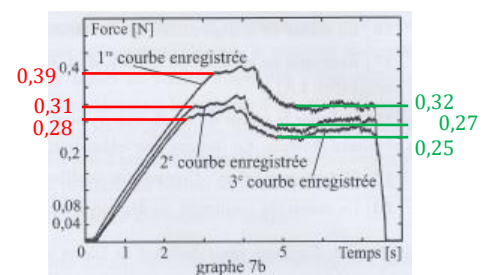
On peut expliquer ce phénomène par un échauffement de la surface ou par une modification de la surface d'appui au niveau microscopique.

**28** Le graphe 7b nous montre bien que la valeur du coefficient de frottement mesuré n'est pas pleinement reproductible. Il faut donc proposer un intervalle de confiance dans lequel le coefficient se trouvera quelle que soit l'expérience réalisée.

On peut mesurer plusieurs valeurs des différents coefficients de frottement sur le graphe 7b (cf. question **24**) :

- Coefficient de frottement statique  $\mu_s$  : 0,40 ; 0,32 ; 0,29.
- Coefficient de frottement dynamique  $\mu_d$  : 0,33 ; 0,28 ; 0,25.

On peut donc proposer par exemple :  $\mu_s \in [0,29 ; 0,40]$  et  $\mu_d \in [0,25 ; 0,33]$ .



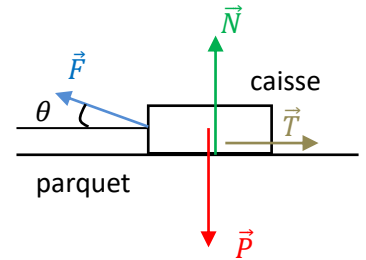
**29** Toute la théorie effectuée est basée sur le fait que le poids et la réaction normale se compensent. Or ceci n'est possible que si la réaction normale est rigoureusement verticale, i.e. si le support est rigoureusement horizontal. Dans le cas où l'horizontalité ne serait pas vérifiée, il faudrait prendre en compte l'angle  $\theta$  avec l'horizontal dans les forces de frottements, ce qui donnerait :  $N = P \cos \theta$  et  $T = \mu P \cos \theta$ .

**I.D. Quelle meilleure stratégie pour faire glisser une caisse ?**

**30** On considère une caisse pleine posée sur un parquet que l'on souhaite tirer. Quatre forces sont en jeu : le poids  $\vec{P}$ , la réaction normale  $\vec{N}$ , la réaction tangentielle  $\vec{T}$  et la traction effectuée par le déménageur  $\vec{F}$  dont on cherche la direction optimale.

On note  $\theta$  l'angle que fait la force de traction  $\vec{F}$  avec l'horizontale.

On a donc le schéma de la situation ci-contre :



On applique le PFD au système {caisse} dans le référentiel d'étude galiléen.

Selon la verticale on obtient l'équation :  $N + F \sin \theta - P = 0$ .

Selon l'horizontale on obtient l'équation :  $m \frac{dv}{dt} = F \cos \theta - T$ .

Lors du glissement on a :  $T = \mu_d N = \mu_d (P - F \sin \theta)$ .

Et finalement, toujours lors du glissement on a :  $\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m} \cos \theta - \frac{\mu_d}{m} (P - F \sin \theta)$ .

Dans le cas qui nous intéresse, on souhaite maximiser la variation de vitesse pour une même intensité de force  $F$ .

Il faut donc obtenir l'annulation de la dérivée :  $\frac{d}{d\theta} \left[ \frac{F}{m} \cos \theta - \frac{\mu_d}{m} (P - F \sin \theta) \right] = 0$ .

Ce qui donne :  $-\frac{F}{m} \sin \theta + \frac{\mu_d F}{m} \cos \theta = 0$ .

D'où encore :  $\tan \theta = \mu_d$ .

Et enfin :  $\theta = \arctan \mu_d$ .

Dans le cas qui nous intéresse, on a un frottement bois/bois.

On peut donc faire le calcul avec le coefficient de frottement dynamique chêne/chêne calculé à la question **18**.

AN.  $\theta = \arctan 0,10 = 0,10 \text{ rad} = 5,7^\circ$ .

Le résultat obtenu montre qu'il est préférable de tirer la caisse légèrement vers le haut de façon à compenser un peu les frottements. L'angle calculé est tout de même assez faible, et l'on est presque à l'horizontal.

**Partie II – Influence de l'état de surface d'un matériau sur le frottement**

**II.A. Expériences avec les métaux**

**31** Pour calculer le coefficient de frottement statique on reprend la méthode de la question **9**.

On utilise donc la formule  $\mu_s = \frac{T}{N} = \frac{m_p}{m_r}$ .

Pour le contact fer/fer :  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp1}} = \frac{15}{53} = 0,28$  ;  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp2}} = \frac{125}{453} = 0,276$  et donc  $\mu_s = \frac{0,28+0,276}{2} = 0,28$ .

Pour le contact fer/cuivre jaune :  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp1}} = \frac{12,5}{52} = 0,24$  ;  $\left(\frac{T}{N}\right)_{\text{exp2}} = \frac{110}{452} = 0,243$  et donc  $\mu_s = \frac{0,24+0,243}{2} = 0,24$ .

On trouve des résultats différents pour les deux contacts, la nature du contact a donc une influence sur le coefficient de frottement statique.

De plus on remarque que ces valeurs sont deux fois plus faibles que les valeurs calculées dans la partie précédente.

On peut alors en déduire que le fait d'avoir fait polir les surfaces a bien diminué l'intensité des forces de frottement.

## II.B. Formation d'oxydes métalliques en surface

**32** On nous donne la demi-équation :  $u \text{O}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) + v \text{e}^- \rightarrow w \text{HO}^-(\text{aq})$

Pour équilibrer la réaction on commence par équilibrer les hydrogènes d'où  $w = 2$ .

On continue avec les oxygène d'où  $u = \frac{1}{2}$ .

On finit par équilibrer les charges d'où  $v = 2$ .

Finalement on obtient :  $\frac{1}{2} \text{O}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{HO}^-(\text{aq})$ .

Dans l'équation précédente le couple oxydoréducteur en jeu est le couple de l'eau  $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$ .

C'est donc le dioxygène qui est l'oxydant.

Une autre façon de le voir est d'écrire l'équation en milieu acide :  $\frac{1}{2} \text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\ell)$ .

Dans cette dernière équation on voit mieux le caractère oxydant du dioxygène.

Remarque : au niveau BAC+1 la détermination de l'espèce oxydante ou réductrice se fait par le biais du calcul des degrés d'oxydation des espèces. Dans le cadre du programme de terminale cette démonstration n'est pas possible.

**33** On peut justifier l'analogie entre la formation de l'oxyde métallique et une pile en identifiant les différents composants.

Au niveau où le métal est en contact avec l'eau non oxygénée (partie profonde de la goutte d'eau), on a affaire à une oxydation. Le fer en contact avec l'eau se comporte donc comme l'anode.

Au niveau où le métal est proche de l'air, l'oxygène est réduit. Le fer en contact avec l'air se comporte comme une cathode.

La plaque de métal elle-même fait le contact avec les deux équivalents d'électrodes.

La goutte d'eau joue le rôle du pont salin.

Le système étudié se comporte donc bien de façon analogue à une pile électrochimique.

**34** L'équation de fonctionnement de la pile se compose de la réduction du dioxygène et de l'oxydation du fer.

On a donc en bilan :  $\frac{1}{2} \text{O}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{Fe}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{HO}^-(\text{aq}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .

## II.C. Le cuivre jaune

**35** L'acétone  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  est un solvant organique peu polaire. De ce fait il est capable de dissoudre les graisses qui sont des composés peu polaires à longue chaîne carbonée. De plus l'acétone est un solvant peu cher et qui s'évapore facilement.

Les interactions qui sont mises en jeu entre l'acétone et les graisses sont des interactions de type interactions de Van der Waals.

**36** Tous les liquides qui sont ajoutés dans ce protocole, le sont avec des volumes n'ayant pas besoin d'être précis. Il suffit donc d'utiliser une éprouvette graduée pour mesurer les volumes de liquide utilisés.

**37** On souhaite obtenir une solution d'acide nitrique à  $3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  à partir d'une solution d'acide nitrique concentrée. Cette dernière est une solution aqueuse contenant 80% en masse d'acide nitrique de formule  $\text{HNO}_3$ .

La masse volumique de l'acide nitrique concentré est :  $\rho_{\text{ac}} = 1,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

La solution contient 80% en masse d'acide nitrique, d'où :  $c_{\text{HNO}_3} = 0,80 \times \rho_{\text{ac}}$  où  $c_{\text{HNO}_3}$  est la concentration massique en acide nitrique.

Pour passer à la concentration molaire il suffit de calculer :  $C_{\text{HNO}_3} = \frac{c_{\text{HNO}_3}}{M_{\text{HNO}_3}} = \frac{0,80 \times \rho_{\text{ac}}}{M_{\text{H}} + M_{\text{N}} + 3M_{\text{O}}}$ .

AN.  $C_{\text{HNO}_3} = \frac{0,80 \times 1,45}{1,0 + 14,0 + 3 \times 16,0} = 0,018 \text{ mol}\cdot\text{cm}^{-3} = 18 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Pour passer d'une concentration de  $18 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  à  $3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  il faut diluer la solution 6 fois.

On propose le protocole suivant :

- En étant protégé d'une blouse, de lunettes et de gants pour manipuler l'acide nitrique concentré, on prélève à l'aide d'une pipette graduée 3,3 mL l'acide nitrique concentré.
- On verse le prélèvement de 3,3 mL dans une fiole jaugée de 20 mL (un volume 6 fois plus grand).
- On complète la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- On homogénéise la solution.

**38** On peut proposer l'équation suivante :  $4 \text{NO}_3^-_{(\text{aq})} + \text{Sn}_{(\text{s})} + 4 \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} \rightarrow 4 \text{NO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{SnO}_{3(\text{s})} + 5 \text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$ .

**39** Le séchage est la transformation physique consistant à modifier l'état de l'eau encore présent sur l'échantillon. L'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux, on a une vaporisation :  $\text{H}_2\text{O}_{(\ell)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ .

La déshydratation voulue est la transformation chimique consistant en la transformation de l'acide métastannique en oxyde d'étain (IV) :  $\text{H}_2\text{SnO}_{3(\text{s})} \rightarrow \text{SnO}_{2(\text{s})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ .

**40** L'échantillon de départ avait une masse de  $m_e = 1024,6$  mg.

Le traitement de l'échantillon conduit à l'obtention de  $m_{\text{ox}} = 14,3$  mg d'oxyde d'étain sec.

Les masses molaires de l'étain et de l'oxygène sont de :  $M_{\text{Sn}} = 118,7 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Dans la molécule d'oxyde on a donc  $\frac{118,7}{118,7+16,0} = 88,1\%$  de la masse qui provient de l'étain et  $\frac{16,0}{118,7+16,0} = 11,9\%$  de la masse qui provient de l'oxygène.

La masse d'étain contenu dans l'oxyde d'étain est donc :  $m_{\text{Sn}} = 0,881 \times m_{\text{ox}} = 12,6$  mg.

Ainsi le pourcentage massique d'étain présent dans le laiton étudié est de :  $\eta = \frac{m_{\text{Sn}}}{m_e} = \frac{12,6}{1024,6} = 1,23\%$ .

L'étain est donc bien présent dans le laiton dans une proportion faible mais non négligeable.

## II.D. Utilisation d'une huile lubrifiante

**41** Le spectre infrarouge de la molécule A nous donne plusieurs informations :

- le pic à large bande autour de  $3000 \text{ cm}^{-1}$  traduit la présence d'un groupement hydroxyde – OH
- le pic à  $1700 \text{ cm}^{-1}$  traduit la présence d'une double liaison carbone oxygène C = O

**42** Le spectre RMN de la molécule A nous donne plusieurs informations :

- le pic simple à 12 ppm avec traduit la présence d'un groupement carboxylique –COOH
- le triplet autour de 2,3 ppm avec traduit la présence d'un groupement C – CH<sub>2</sub> – CO – O – R avec deux H voisins
- le sextuplet autour de 1,8 ppm avec traduit la présence d'un groupement C – CH<sub>2</sub> – C avec cinq H voisins
- le triplet autour de 1 ppm avec traduit la présence d'un groupement méthyle –CH<sub>3</sub> avec deux H voisins

D'après les différents résultats, on peut proposer la molécule : CH<sub>3</sub> – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – CO – OH

**43** La molécule proposée est l'acide butanoïque.

**44** On s'intéresse ici au graphe 13a. On voit que le glissement commence pour des forces plus faibles que dans la partie précédente : dans le cas présent on trouve une force comprise entre 0,22 N et 0,30 N contre une force comprise entre 0,28 N et 0,39 N sur le graphe 7b.

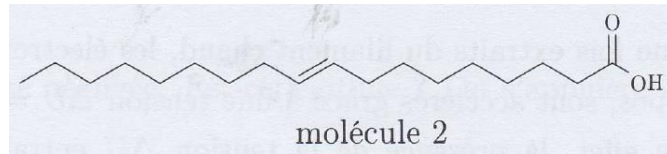
On voit donc que l'utilisation de l'huile a permis de diminuer les forces de frottement résistantes au glissement.

**45** On s'intéresse maintenant au graphe 13b. On voit désormais que la force nécessaire pour obtenir le glissement est devenue encore plus faible : on lit sur le graphe qu'il faut une force entre 0,08 N et 0,16 N.

On a donc encore diminué les forces de frottement en utilisant l'acide élaïdique.

**46** L'acide élaïdique et l'acide oléique sont des diastéréoisomères.  
L'acide élaïdique est la forme E alors que l'acide oléique est la forme Z.

**47** L'acide élaïdique est le diastéréoisomère de forme E, i.e. que les deux branches de la chaîne ne doivent pas être du même côté de la double liaison C = C.  
L'acide élaïdique est donc la molécule 2.



### Partie III – Observer l'état de surface d'un matériau

**48** Le phénomène de diffraction de la lumière ne peut s'interpréter qu'à partir de l'aspect ondulatoire de la lumière. L'effet photoélectrique, quant à lui, ne peut s'interpréter qu'à partir de l'effet particulaire de la lumière.

**49** La force électrostatique subit par une particule chargée  $q$  soumis à un champ  $\vec{E}$  s'écrit :  $\vec{F} = q\vec{E}$ .  
Avec un électron cela s'écrit :  $\vec{F} = -e\vec{E}$ .

On souhaite que l'électron se déplace selon le sens du vecteur  $+\vec{e}_x$ , il faut donc que le champ  $\vec{E}$  soit également dirigé selon la direction de  $\vec{e}_x$  et dans le sens  $-\vec{e}_x$ .

**50** On nous donne la formule :  $\vec{E} = -\frac{dU(x)}{dx} \cdot \vec{e}_x$ .

Or d'après le sens déterminé dans la question **49** on en déduit que :  $\frac{dU(x)}{dx} > 0$ .

Ainsi on doit avoir  $U(0) < U(H)$ .

C'est donc la grille accélératrice proche des déflecteurs électromagnétiques qui est au potentiel le plus élevé.

**51** On nous donne la formule :  $\vec{F} = -\frac{dE_p(x)}{dx} \cdot \vec{e}_x$ .

En utilisant la formule  $\vec{F} = -e\vec{E}$  on en déduit que :  $\frac{dE_p(x)}{dx} \cdot \vec{e}_x = -e\vec{E}$ , i.e.  $\frac{dE_p(x)}{dx} = -e \times (\vec{E} \cdot \vec{e}_x)$ .

D'où encore :  $\frac{dE_p(x)}{dx} = +e \frac{dU(x)}{dx}$ . Ensuite on peut écrire :  $\frac{d}{dx} [E_p(x) - eU(x)] = 0$ .

L'intégration donne :  $E_p(x) - eU(x) = \text{cte}$ .

Et finalement :  $E_p(x) = eU(x) + \text{cte}$ .

**52** On sait par hypothèse que le champ  $\vec{E}$  est uniforme. Ainsi  $\frac{dU(x)}{dx} = +\|\vec{E}\| = \text{cte}$ .

D'où l'on tire par intégration :  $U(x) = \|\vec{E}\|x + \text{cte}$ .

**53** On a alors  $\Delta U = U(H) - U(0) = (\|\vec{E}\| \times H + \text{cte}) - (\|\vec{E}\| \times 0 + \text{cte}) = H\|\vec{E}\|$ .

Finalement on a donc :  $\Delta U = H\|\vec{E}\|$ .

**54** On réalise un bilan d'énergie pour l'électron.

Au départ :  $E_m(0) = E_c(0) + E_p(0)$  avec  $E_c(0) = 0$  par hypothèse et  $E_p(0) = eU(0) + \text{cte}$ .

À l'arrivée :  $E_m(H) = E_c(H) + E_p(H)$  avec  $E_c(H) = \frac{1}{2}mv(H)^2$  et  $E_p(H) = eU(H) + \text{cte}$ .

L'électron ne perd pas d'énergie durant son accélération, on a donc :  $E_m(0) = E_m(H)$ .

D'où :  $eU(0) + \text{cte} = \frac{1}{2}mv(H)^2 + eU(H) + \text{cte}$ .

On peut alors isoler la vitesse :  $v(H) = \sqrt{\frac{2e\Delta U}{m}}$ .

AN.  $v(H) = \sqrt{\frac{2 \times 1,60 \cdot 10^{-19} \times 100 \cdot 10^3}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,87 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



**55** La vitesse obtenue est une vitesse relativiste, i.e. supérieure à un dixième de la vitesse de la lumière. L'expression obtenue est une expression non-relativiste qui n'est donc pas correcte, il faudrait l'adapter pour obtenir un résultat valable.

**56** Expérimentalement, les électrons atteignent la vitesse  $1,6 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

On a donc une erreur relative de  $\frac{1,87-1,6}{1,6} = 17\%$ .

L'erreur relative faite avec l'expression non-relativiste n'est pas négligeable, mais elle donne le bon ordre de grandeur.

**57** La longueur d'onde de de Broglie se calcule à partir de la formule :  $\lambda = \frac{h}{p}$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde de de Broglie en m,  $h$  est la constante de Planck en J·s et  $p = mv$  est la quantité de mouvement de l'électron en  $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

AN.  $\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \times 1,6 \cdot 10^8} = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 4,5 \text{ pm}$ .

**58** On nous dit que la limite de résolution d'un microscope électronique est d'environ cent fois la longueur d'onde de de Broglie des électrons utilisés.

Ici la limite de résolution est donc de 0,5 nm ou de 5 Å.

**59** Les électrons peuvent interagir avec la matière, et ce d'autant plus que leur énergie est importante. Il faut donc que le faisceau électronique ne rencontre pas ou très peu de matière. C'est pour cela qu'un vide poussé est réalisé dans l'enclume où il se propage.

**60** Dans tout l'exercice on a négligé l'action de la pesanteur devant la force électrique en jeu.

On va calculer un ordre de grandeur des deux forces que subit l'électron.

Pour la force de pesanteur :  $P = mg = 9,11 \cdot 10^{-31} \times 9,81 = 8,94 \cdot 10^{-30} \text{ N}$ .

Pour la force électrique :  $F = eE = e \frac{\Delta U}{H} = 1,60 \cdot 10^{-19} \times \frac{100 \cdot 10^3}{0,5} = 3 \cdot 10^{-14} \text{ N}$  (on a choisit  $H \sim 0,5 \text{ m}$ ).

On voit que l'ordre de grandeur de la force de pesanteur est extrêmement petit devant celui de la force électrique. Il était donc tout à fait légitime de négliger l'effet de la pesanteur dans toute cette partie.

## Partie IV – Procédé physique de modification de l'état de surface d'un acier

**61** On a calculé dans la question **58** que la résolution du microscope de la partie III était de l'ordre de 5 Å.

Or la résolution atomique est de l'ordre de 1 Å.

On est donc autour de la limite de résolution atomique.

Il est difficile de conclure quant à la possibilité d'obtenir une telle résolution sans réaliser l'expérience.

**62** Le spectre obtenu est un spectre d'émission continu, plus précisément du type du corps noir.

On peut citer la lampe à incandescence comme exemple du spectre d'émission continu.

Comme spectre différent on peut citer le spectre d'émission à raies, ce qui est le cas des lampes à vapeur métallique par exemple.

**63** On s'intéresse à la grandeur :  $x = \frac{hc}{\lambda k_B T}$ .

Dans un premier temps on peut tout simplement dire que cette grandeur est l'argument d'une exponentielle dans la formule de  $p(\lambda)$  donnée dans l'énoncé. C'est donc une grandeur sans dimension.

On peut également le démontrer en détaillant les unités.

Le terme  $\frac{hc}{\lambda}$  est une forme de la formule de Planck-Einstein :  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ . C'est donc une énergie.

Le terme  $k_B T$  est l'expression de l'énergie de l'agitation thermique. C'est également une énergie.

Le rapport des deux est donc bien une grandeur sans dimension.

**64** On s'intéresse à la densité spectrale de puissance surfacique rayonnée :  $p(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$ .

Le maximum est atteint pour  $\frac{dp(\lambda)}{d\lambda}(\lambda_m) = 0$ , ce qui est équivalent à  $\frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{1}{p(\lambda)} \right] (\lambda_m) = 0$  (car  $\forall \lambda, p(\lambda) \neq 0$ ).

On calcule la dérivée :  $\frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{1}{p(\lambda)} \right] = \frac{5\lambda^4}{2\pi hc^2} \cdot \left( \exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right) + \frac{\lambda^5}{2\pi hc^2} \cdot \left( -\frac{hc}{k_B T} \cdot \frac{1}{\lambda^2} \right) \cdot \exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)$ .

D'où :  $\frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{1}{p(\lambda)} \right] = \frac{\lambda^4}{2\pi hc^2} \cdot \left[ 5 \exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 5 - \frac{hc}{\lambda k_B T} \cdot \exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) \right]$ .

On cherche  $\frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{1}{p(\lambda)} \right] (\lambda_m) = 0$  d'où  $5 \exp\left(\frac{hc}{\lambda_m k_B T}\right) - 5 - \frac{hc}{\lambda_m k_B T} \cdot \exp\left(\frac{hc}{\lambda_m k_B T}\right) = 0$ .

On fait le changement de variable  $x_m = \frac{hc}{\lambda_m k_B T}$  d'où  $5 \exp(x_m) - 5 - x_m \cdot \exp(x_m) = 0$ .

On peut alors diviser par  $5 \exp(x_m)$  pour obtenir l'équation demandée :  $1 - \exp(-x_m) = \frac{x_m}{5}$ .

On a donc bien l'équation demandée avec la constante  $\beta$  qui vaut 5.

**65** Pour déterminer la valeur de  $x_m$  il suffit de rajouter sur la représentation graphique de  $x \mapsto 1 - \exp(-x)$  la représentation graphique de la droite  $x \mapsto \frac{x}{5}$ .

La valeur recherchée est l'abscisse de l'intersection entre ces deux représentations graphiques.

On trouve graphiquement que l'intersection se fait pour l'abscisse  $x_m = 5,0$ .

**Rq.** La solution  $x_m = 0$  est une solution triviale que l'on étudie pas.

**66** On peut écrire  $\lambda_m T = \frac{hc}{x_m k_B}$ .

Toutes les grandeurs dans ce quotient sont des constantes.

**AN.**  $\lambda_m T = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8}{5,0 \times 1,38 \cdot 10^{-23}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

La grandeur  $\lambda_m T$  est donc bien une constante dont la valeur numérique est  $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ .

**67** Sur le document 15 on détermine sur la courbe B la longueur d'onde pour laquelle on mesure un maximum de densité spectrale de puissance surfacique.

On détermine ainsi :  $\lambda_m = 0,65 \mu\text{m}$ .

Dans la question **66** on a montré que la grandeur  $\lambda_m T$  était constante et on a calculé sa valeur.

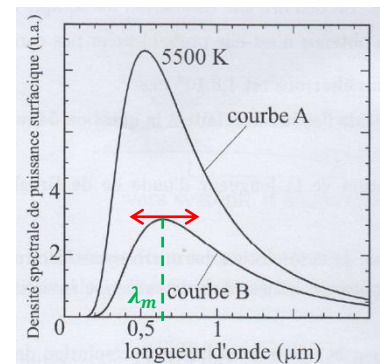
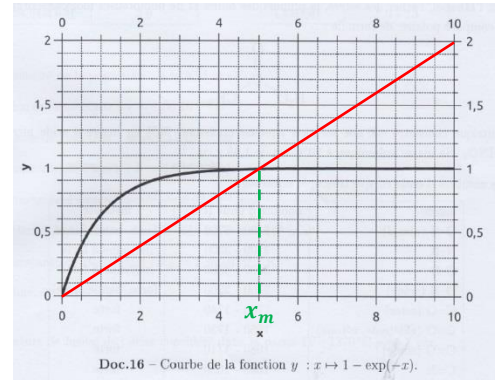
On peut donc écrire que  $T = \frac{\lambda_m T}{\lambda_m} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{0,65 \cdot 10^{-6}} = 4,5 \cdot 10^3 \text{ K}$ .

Le corps ayant donné la courbe B est donc à la température de 4,5 kK.

**67** On peut voir sur le document 15 que les longueurs d'ondes des maxima des courbes A et B sont entre  $0,5 \mu\text{m}$  et  $0,7 \mu\text{m}$ .

En considérant que ces deux courbes balayent les températures étudiées, on optimisera la précision en utilisant un capteur d'ondes électromagnétiques dont la sensibilité maximale est située dans le domaine du visible.

**Rq.** On rappelle que les longueurs d'onde du visible vont environ de  $0,4 \mu\text{m}$  et  $0,8 \mu\text{m}$ .



**FIN DE LA CORRECTION**