BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

EXERCICE 1 - AUTOUR DE LA GLACE (9 POINTS)

L'objectif de cet exercice est de dater des couches de glace en Arctique par la méthode au plomb-210 puis de quantifier les ions argent présents dans les précipitations provoquées par ensemencement à l'iodure d'argent dans d'autres régions du monde.

1. Datation au plomb-210 d'une carotte de glace en Arctique.

La fonte progressive des glaciers met en péril l'approvisionnement en eau de nombreuses régions du globe et met à nu des couches de glace de plus en plus anciennes. Leur ancienneté peut être déterminée par radiodatation au plomb-210. C'est une méthode utilisée pour des échantillons dont l'âge estimé est inférieur à 150 ans. Dans l'atmosphère, le plomb-210 est issu de la désintégration du radon-222. Certaines méthodes de datation dites au plomb-210 utilisent le rayonnement α issu du polonium-210, dernier noyau radioactif de la chaîne de désintégrations.

Données :

- la désintégration β^- s'accompagne de l'émission d'un électron $^{0}_{-1}e$;
- la désintégration α s'accompagne de l'émission d'un noyau d'hélium $^{4}_{2}He$.

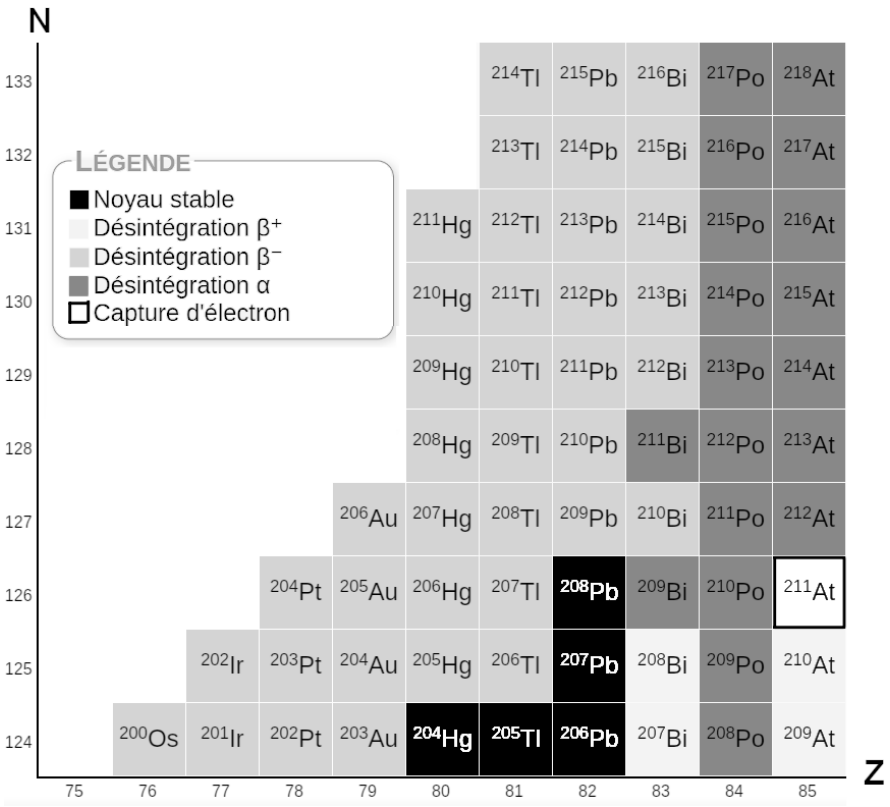


Figure 1. Diagramme (Z,N), adapté du site ostralo.net.

Q1. À l'aide du diagramme (Z,N) de la figure 1, déterminer le type de désintégration que subit le plomb-210.

Q2. À l'aide de la figure 1 et des lois de conservation, établir l'équation modélisant la désintégration radioactive du plomb-210 amenant à la formation du bismuth-210.

Le bismuth-210 subit ensuite une désintégration β^- pour former le polonium-210. Ce dernier, également instable, se désintègre à son tour.

Q3. À l'aide du diagramme (Z,N) de la figure 1, indiquer le noyau formé à l'issue de la désintégration du polonium-210. Justifier que le polonium-210 est le « dernier noyau radioactif » de la chaîne de désintégration du plomb-210.

L'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs est le nombre de désintégrations radioactives par unité de temps dans cet échantillon.

Q4. Donner la relation entre l'activité $A(t)$ d'un échantillon et la dérivée temporelle du nombre de noyaux radioactifs $N(t)$ dans l'échantillon.

L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs présents $N(t)$. On écrit $A(t) = \lambda \times N(t)$ où la constante de proportionnalité λ est nommée constante radioactive et ne dépend que du type de noyaux radioactifs de l'échantillon.

Q5. Établir l'équation différentielle régissant la population de noyaux radioactifs $N(t)$ sous la forme $\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \cdot N(t) = 0$.

Q6. Vérifier que $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ est solution de l'équation différentielle précédente, avec N_0 le nombre de noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon.

Données :

➢ demi-vies $t_{1/2}$ de différents noyaux radioactifs :

Noyau radioactif	Plomb-210 ^{210}Pb	Bismuth-210 ^{210}Bi	Polonium-210 ^{210}Po
Demi-vie $t_{1/2}$	22,2 ans	5,0 jours	138 jours

Q7. Démontrer que le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est relié à la constante radioactive λ par $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$. Calculer la constante radioactive λ_{Pb} du plomb-210.

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

En 1993, des chercheurs de l'université de Yamagata au Japon ont daté les différentes couches d'une carotte de glace dans l'archipel norvégien de Svalbard à l'aide de cette méthode. À une profondeur de 30 m, une masse de 1 kg de glace avait une activité $A_{30} = 4{,}72$ mBq liée au plomb 210. On supposera que l'activité d'un kilogramme de glace liée au plomb-210 valait $A_0 = 110$ mBq à sa formation.

Q8. Déterminer l'année à laquelle la glace présente à 30 m de profondeur s'est formée. En déduire l'épaisseur moyenne de glace accumulée chaque année sur l'archipel durant cette période.

2. Contrôle de la grêle par ensemencement à l'iodure d'argent.

Les tempêtes de grêle peuvent causer des dommages d'autant plus importants que les grêlons sont gros. En pulvérisant de l'iodure d'argent dans les nuages, on cherche à favoriser la formation d'un nombre plus important de grêlons mais de taille moindre.

L'ensemencement des nuages est une méthode de contrôle météorologique appliquée pour la première fois en 1946. Elle est utilisée partout dans le monde, avec comme objectif la dispersion du brouillard ou encore la lutte contre la désertification.

Cette technologie apporte des ions argent Ag^+ dans l'environnement, qu'il importe de quantifier. Le département de chimie de l'université de Al-Qadisiyah en Irak a développé une méthode spectrophotométrique permettant de déterminer la quantité d'ions argent présents dans un échantillon. Elle repose sur la réaction des ions $Ag^+(aq)$ avec la molécule 6-(4BrPAA) appelée « ligand », selon la réaction chimique modélisée par l'équation suivante :

$$Ag^+ (aq) + ligand\ (aq) \leftrightarrows Ag(ligand)^+ (aq) \qquad (1)$$

La structure de la molécule constituant le ligand est représentée figure 2 :

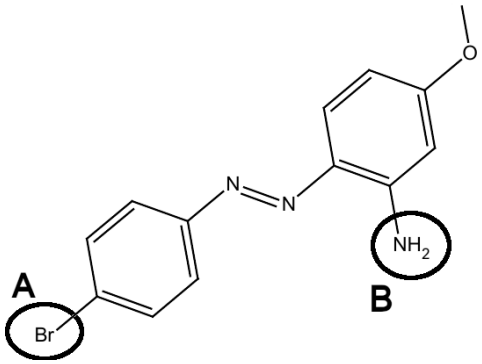


Figure 2. Structure du ligand.

Q9. Nommer le type de représentation utilisé pour la molécule de ligand représentée sur la figure 2.

Q10. Nommer les deux familles fonctionnelles correspondant aux groupes caractéristiques A et B entourés sur la figure 2.

Donnée :

➢ on définit la concentration standard $c° = 1\ mol{\cdot}L^{-1}$.

Q11. Écrire la constante d'équilibre de la réaction de formation de $Ag(ligand)^+$ (aq) en fonction des concentrations à l'équilibre des différentes espèces et de la concentration standard c^o.

Q12. Justifier que la réaction de formation de $Ag(ligand)^+$ (aq) est quasi-totale si le ligand est en très fort excès.

Les solutions aqueuses contenant l'espèce chimique $Ag(ligand)^+$ (aq) sont colorées, ce qui permet d'utiliser une méthode de dosage spectrophotométrique en étudiant l'absorbance de la solution. L'espèce chimique $Ag(ligand)^+$ (aq) possède un pic d'absorbance pour une longueur d'onde $\lambda_{max} = 516$ nm. On donne le cercle chromatique sur la figure 3.

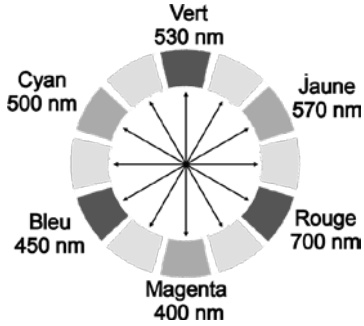


Figure 3. Cercle chromatique.

Q13. En vous aidant de la figure 3, déterminer la couleur des solutions aqueuses contenant l'espèce chimique Ag(ligand)$^+$ (aq).

On mélange un volume V_{Ag+} = 1,0 mL d'une solution de concentration d'ion argent $[Ag^+]$ = 7,4×10^{-6} mol·L^{-1} avec un volume V_L de solution de ligand à la concentration c_L = 1,0×10^{-3} mol·L^{-1}.

Q14. Calculer la quantité de matière en ions argent $n_{Ag,i}$ initialement introduite dans la solution.

On mesure l'absorbance des différentes solutions obtenues, à la longueur d'onde λ_{max} = 516 nm. Les résultats obtenus sont reportés dans la figure 4.

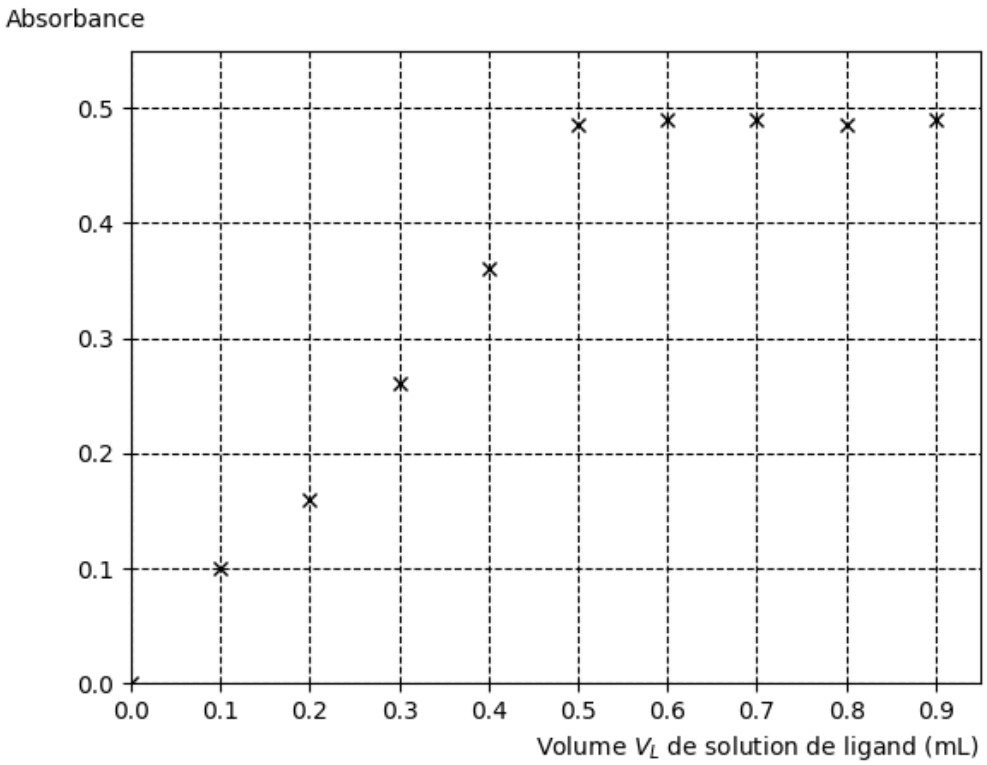


Figure 4. Évolution de l'absorbance de la solution en fonction du volume de solution de ligand introduit.

On constate qu'à partir d'un certain volume introduit, la quantité de $Ag(ligand)^+$ (aq) n'évolue plus, ce qui signifie que pratiquement tous les ions argent Ag^+ (aq) ont réagi avec le ligand.

Q15. À l'aide de la figure 4, déterminer le volume $V_{tot,L}$ de solution de ligand versé pour que l'ensemble des ions argent Ag^+ (aq) présents aient réagi en quasi-totalité. Calculer la quantité de matière de ligand n_L à introduire.

Q16. Vérifier que le ligand est bien en large excès par rapport aux ions Ag^+ (aq) initialement introduits. Commenter ce résultat.

Q17. En supposant la réaction totale et en utilisant la loi de Beer-Lambert, montrer que l'absorbance de la solution de l'espèce chimique $Ag(ligand)^+$ (aq) est proportionnelle à la concentration en quantité de matière en ions argent initialement en solution $c_{Ag,i}$. On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement.

Les chercheurs de l'université de Al-Qadisiyah ont indiqué que pour des concentrations en masse d'ions argent comprises entre $c_{m,min} = 9\times10^{-3}$ µg·mL^{-1} et $c_{m,max}$ = 1,5 µg·mL^{-1}, l'absorbance A de la solution de l'espèce chimique $Ag(ligand)^+$ (aq) est reliée à la concentration en quantité de matière c (en mol·L^{-1}) en ions argent par : $A = 6{,}5\times10^4\times c$.

Données :

- masse molaire atomique de l'argent : $M(Ag)$ = 108 g·mol^{-1};
- valeur limite de mesure du spectrophotomètre à λ = 516 nm : A_{max}=0,9.

Q18. Vérifier que la valeur maximale de la concentration en masse en ions argent, $c_{m,max}$, indiquée par les chercheurs est cohérente avec une limite expérimentale de la loi de Beer-Lambert.

EXERCICE 2 - LE MÖLKKY (6 POINTS)



Le Mölkky, créé en 1996, est un jeu de plein air originaire de Finlande.
Dans ce jeu, le joueur de Mölkky doit faire tomber des quilles en bois, à l'aide d'un bâton, afin d'atteindre un score de 50 points.
Une quille tombée lui donnera le nombre de points porté sur cette dernière compris entre 1 et 12. Plusieurs quilles tombées donneront au joueur le nombre de points correspondant au nombre de quilles au sol.

D'après « *cdsmr85.org* »

L'objectif de cet exercice est d'établir l'équation horaire de la trajectoire du bâton lancé et de déterminer le lieu d'impact au sol afin de prévoir une éventuelle victoire d'un joueur.

On s'intéresse au mouvement du centre de masse G du bâton lorsqu'un joueur le lance afin de faire tomber une quille. L'étude est réalisée dans le référentiel terrestre supposé galiléen et on considère qu'une fois lancé, le bâton n'est soumis qu'à son poids. Pour simplifier, on suppose que le bâton ne tourne pas sur lui-même. La masse du bâton est notée m.
Quand le bâton quitte la main du joueur, son centre de masse G est situé à une hauteur h par rapport au sol avec un vecteur vitesse initial $\overrightarrow{v_0}$ qui forme un angle α avec l'horizontale.
On étudie le mouvement du centre de masse du système {bâton} dans le repère cartésien indiqué sur la figure 1.

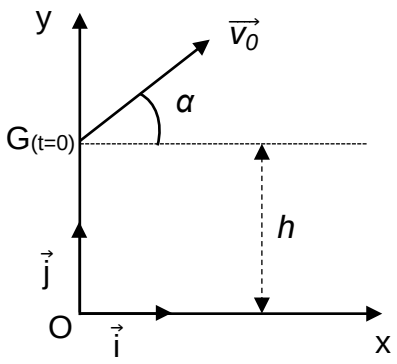


Figure 1. Schéma de la situation du lancer du bâton de Mölkky.

Q1. Énoncer la deuxième loi de Newton et l'utiliser pour établir les expressions des coordonnées notées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}(t)$ du point G selon les axes (Ox) et (Oy).

Q2. Établir les expressions des coordonnées horizontales notée $v_x(t)$ et verticale $v_y(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ du point G.

Q3. À partir des expressions des coordonnées de la vitesse $v_x(t)$ et $v_y(t)$ et de la figure 1, établir que les équations horaires du mouvement $x(t)$ et $y(t)$ du point G sont :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t + h \end{cases}$$

Données :

- vitesse initiale de lancer du bâton de Mölkky : $v_0 = 4{,}9$ m·s^{-1} ;
- hauteur depuis laquelle le bâton est lancé : $h = 0{,}70$ m ;
- angle avec lequel le bâton est lancé par rapport à l'horizontale : $\alpha = 30°$;
- intensité du champ de pesanteur terrestre $g = 9{,}8$ m·s^{-2}.

Q4. À l'aide des données et des équations horaires du mouvement, montrer que l'expression de l'équation de la trajectoire $y(x)$, x et y étant exprimés en mètres, s'écrit sous la forme :

$$y(x) = -0{,}27\,x^2 + 0{,}58\,x + 0{,}70$$

Un joueur ayant déjà marqué 41 points s'apprête à lancer le bâton de Mölkky. Pour gagner, il doit atteindre exactement le score de 50 points. La configuration du jeu est représentée sur la photographie de la figure 2.

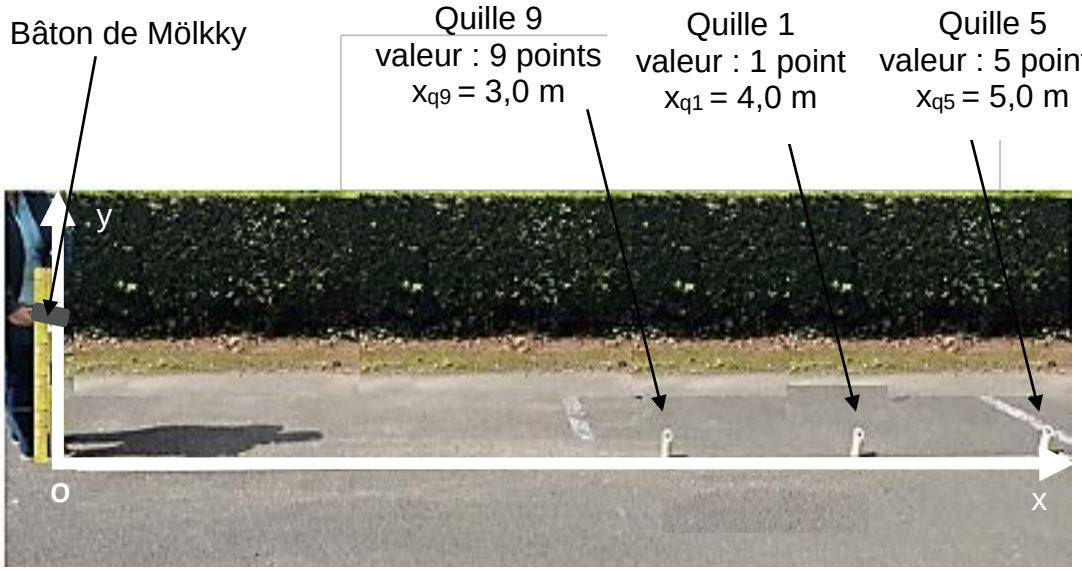


Figure 2. Photographie de la configuration du jeu avant le lancer.

Dans notre étude, la taille des quilles est considérée comme négligeable au regard des distances mises en jeu. On assimilera alors la quille à un point posé au sol.
On suppose qu'il n'y a pas de rebond du bâton à la suite du lancer.

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

Q5. Vérifier que la partie est remportée par le joueur si le lancer est réalisé dans les conditions précisées dans les données précédentes.

Sur la figure 3, on a reproduit un extrait d'un programme Python qui permet de calculer puis de tracer les courbes représentant l'énergie cinétique E_C, l'énergie potentielle de pesanteur E_P et l'énergie mécanique E_m du bâton de Mölkky lors de son lancer. Les données numériques utilisées sont identiques aux questions précédentes.

```
[…]
14          Ecl=[ ]
15          Epl=[ ]
16          Eml=[ ]
17          for i in range(len(tl)) :
18            Ec=0.5*0.4*(vxl[i]**2+vyl[i]**2)
19            Ecl.append(Ec)
20            Ep=0.4*9.81*y[i]
21            Epl.append(Ep)
22            Em=____________
23            Eml.append(Em)
[…]
```

Figure 3. Extrait du programme Python permettant de tracer les différentes énergies du bâton de Mölkky en fonction du temps (*Ecl*, *Epl*, *Eml* sont exprimées en J ; *vx*, *vy* sont exprimées en $m \cdot s^{-1}$; *y* est exprimé en m).

Q6. À partir de la figure 3, déterminer la masse *m* du bâton de Mölkky. Justifier la réponse.

Q7. Écrire et compléter, sur votre copie, la ligne 22 du programme de la figure 3 qui permet de calculer l'énergie mécanique E_m du bâton de Mölkky.

La figure 4 représente les courbes affichées après avoir exécuté le programme Python complet.

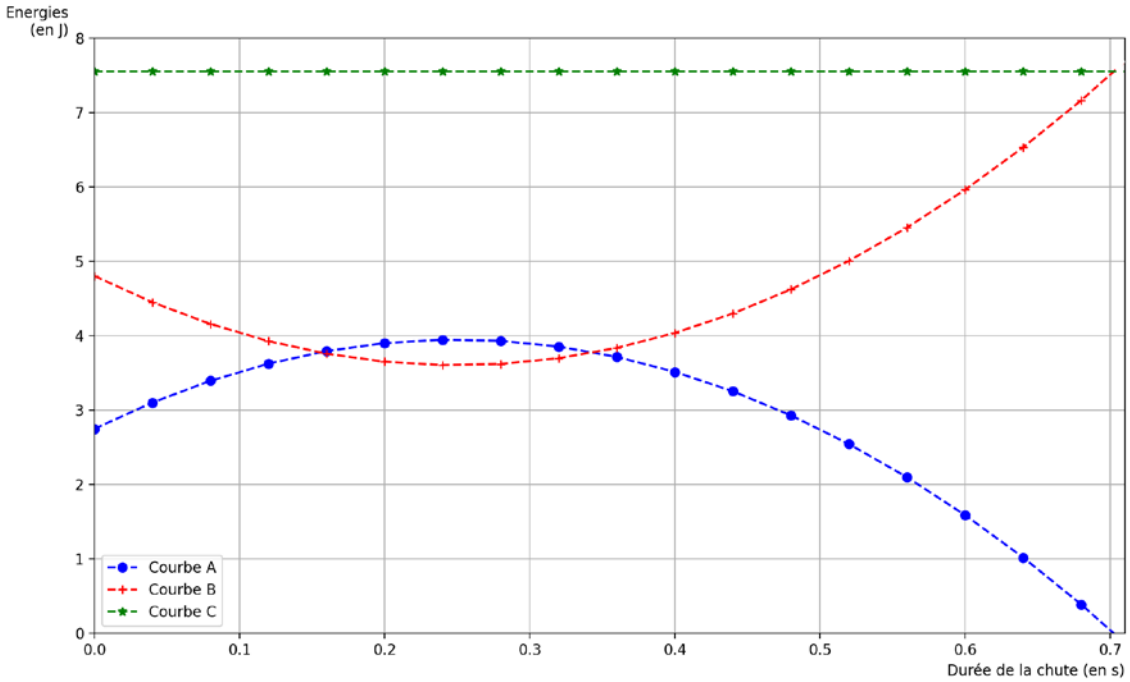


Figure 4. Évolution temporelle des énergies.

Q8. Attribuer chaque courbe de la figure 4 à l'énergie représentée. Justifier la réponse.

Q9. Déterminer la « durée de vol » du bâton de Mölkky (durée de chute) et en déduire que la partie décrite précédemment est remportée par le joueur, en considérant les équations horaires du mouvement établies dans la question **Q3**.

EXERCICE 3 - PERFORMANCES DES BOLOMÈTRES DE PLANCK (5 POINTS)

« Le satellite Planck est un satellite de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) qui a fourni des cartes de tout le ciel dans le domaine sub-millimétrique et radio (30 à 850 GHz). L'objectif du satellite Planck a été d'analyser, avec la plus haute précision jamais atteinte, les restes du rayonnement qui remplissait l'Univers juste après le Big Bang, ce que nous observons aujourd'hui comme le Fond Diffus Cosmologique. »

D'après https://www.ias.u-psud.fr/fr/content/planck-hfi

Dans la suite du sujet, le Fond Diffus Cosmologique sera noté CMB (de l'anglais, Cosmic Microwave Background). Les mesures du CMB sont réalisées par des bolomètres qui permettent de mesurer la puissance transportée par un rayonnement électromagnétique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier les performances d'un des bolomètres du satellite Planck.

Données :

- célérité de la lumière : $c = 3{,}00\times10^{8}$ m·s^{-1} ;
- différents domaines du spectre électromagnétique :

Nom du domaine	Rayon X	Ultraviolet	Visible	Infrarouge	Micro-onde	Radio
Domaine de longueur d'onde λ	de 0,01 à 100 nm	de 10 à 400 nm	de 400 à 800 nm	de 0,8 à 1 mm	de 1 à 300 mm	de 0,1 à 1 km

Le CMB se caractérise par un rayonnement thermique de température caractéristique $T_{CMB} = 2{,}725$ K. Afin d'étudier les variations de température autour de cette valeur, le satellite Planck est équipé d'un bolomètre sensible au rayonnement de fréquence $f_0 = 217$ GHz.

Q1. Calculer la longueur d'onde λ_0 correspondant à la fréquence f_0 et nommer le domaine du spectre auquel appartient l'onde électromagnétique associée au CMB.

Données :

- la puissance P_{CN} reçue par une surface S soumise au rayonnement d'un corps à la température T_{CN} est donnée par : $P_{CN} = \sigma \cdot T_{CN}^{4} \cdot S$ où σ est la constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5{,}67\times10^{-8}$ W·m^{-2}·K^{-4} ;
- la surface de la partie sensible au CMB vaut $S_{CMB} = 9{,}93\times10^{-8}$ m^2. Pour étudier le CMB autour de la fréquence f_0, un filtre est placé devant cette surface, il sélectionne 25,2 % de la puissance reçue.

Q2. Montrer que la puissance P_{CMB} reçue par le bolomètre de la part du CMB au travers du filtre vaut $P_{CMB} = 7{,}82\times10^{-14}$ W.

Les bolomètres, comme indiqué sur le schéma simplifié ci-après, sont composés d'une partie sensible au rayonnement et d'un thermostat. L'énergie cédée par le rayonnement à la partie sensible provoque une élévation de sa température. Cette

partie sensible est en contact avec un thermostat plus froid qui permet d'évacuer l'énergie reçue, le matériau permettant le contact possède une résistance thermique $R_{contact}$.

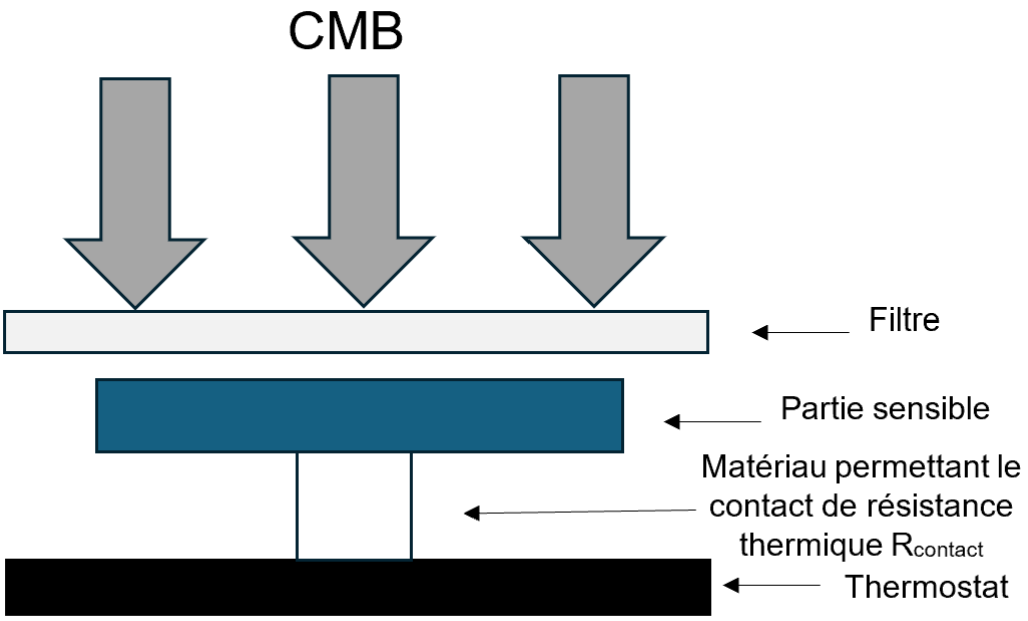


Schéma simplifié d'un bolomètre.

On cherche à modéliser l'évolution de la température de la partie sensible en fonction du temps par un bilan d'énergie. On note T_T la température du thermostat et T la température de la partie sensible du bolomètre.

Donnée :

- la puissance P_{syst} reçue par un système à la température T_{syst} en contact avec un thermostat à la température T_0 par l'intermédiaire d'une résistance thermique R_{th} s'exprime :

$$P_{syst} = -\frac{(T_{syst} - T_0)}{R_{th}}$$

Q3. Exprimer la puissance P_T reçue par la partie sensible du bolomètre de la part du thermostat en fonction des grandeurs associées au bolomètre qui sont T, T_T et $R_{contact}$. Justifier le signe de la valeur de cette grandeur.

Q4. Exprimer le transfert thermique Q_{tot} échangé par la partie sensible du bolomètre avec l'ensemble des sources extérieures pendant une durée Δt en fonction de P_{CMB}, T, T_T, Δt et $R_{contact}$. On admettra que, pendant la durée Δt, la puissance reçue de la part du thermostat reste constante.

Q5. Énoncer le premier principe de la thermodynamique en précisant le nom de chaque grandeur ainsi que leur unité.

On démontre que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température en fonction du temps est donnée par :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{R_{contact} \cdot C_{bolo}} = \frac{P_{CMB}}{C_{bolo}} + \frac{T_T}{R_{contact} \cdot C_{bolo}}$$

Données :

- température du thermostat relié à la partie sensible : $T_T = 0{,}1$ K ;
- résistance thermique du matériau qui permet le contact entre la partie sensible du bolomètre et le thermostat : $R_{contact} = 3{,}75 \times 10^{9}$ K·W^{-1} ;
- capacité thermique de la partie sensible du bolomètre : $C_{bolo} = 0{,}40 \times 10^{-12}$ J·K^{-1} ;
- dans le système international d'unités le Watt est équivalent à des Joules par secondes J·s^{-1}.

Q6. Par une analyse dimensionnelle, montrer que la quantité $\tau = R_{contact} \cdot C_{bolo}$ est homogène à un temps, appelé temps caractéristique. Calculer sa valeur.

Q7. Sachant que la fonction $T(t) = T_T + T_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ est la solution de l'équation différentielle satisfaisant à la condition initiale $T(0) = T_T$, donner l'expression de T_1 ainsi que sa valeur.

On admet que le bolomètre réalise une mesure de puissance fiable, dès que sa température se stabilise, au bout d'une durée égale à 5 τ.

Afin d'étudier le CMB, le ciel est divisé en petites zones. Le satellite Planck balaie chaque zone pendant une durée $\Delta t_{scan} = 14$ ms.

Q8. Montrer que le bolomètre du satellite Planck peut obtenir une mesure fiable du CMB.