

DM de PHYSIQUE n° 8

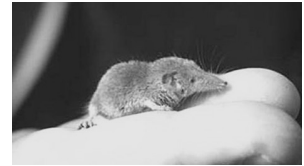
Mardi 4 mars 2025

Partie 1 – Enoncé des 3/2

Problème 1 : Le plus petit mammifère.

Attention, cet exercice est posé comme un problème ouvert ; il nécessite une analyse poussée de l'énoncé et un effort de modélisation. Le jour d'un concours, son évaluation serait effectuée par compétences (s'approprier – analyser – réaliser – valider – communiquer) et pas uniquement sur l'exactitude des résultats proposés. Les analyses, hypothèses, modèles, ordres de grandeurs et calculs proposés doivent être parfaitement explicités dans la rédaction.

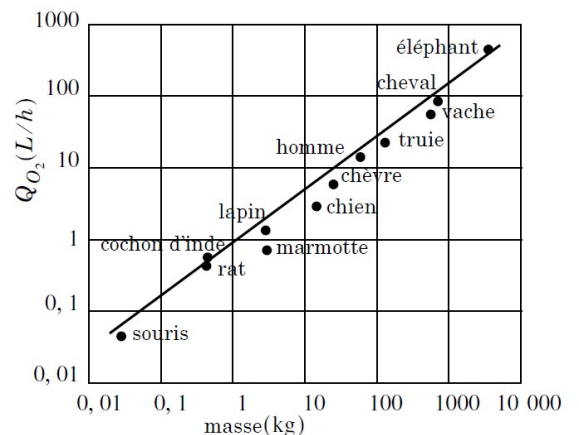
Le plus petit mammifère terrestre vivant en milieu tempéré est la *musaraigne pachyure étrusque* : elle pèse environ 2 grammes (photo ci-contre), son cœur bat au rythme record de 15 à 20 pulsations par seconde, et elle possède une fourrure dont l'épaisseur est considérable, comparable à la taille de son corps !



L'objectif de l'exercice est d'expliquer les caractéristiques étonnantes de cette musaraigne, de comprendre pourquoi il existe une masse minimale pour ce type de mammifères, et de retrouver l'ordre de grandeur de 2 grammes. Pour cela, on utilisera les informations et données numériques ci-dessous, sachant que certains ordres de grandeur, comme celui de la fréquence cardiaque d'un être humain, sont supposés connus et ne sont donc pas fournis.

Données physiologiques :

- En 1932, M Kleiber s'intéresse à la consommation horaire en dioxygène Q_{O_2} des mammifères terrestres ayant une température corporelle proche de 37 °C, lorsqu'ils sont au repos dans un milieu ambiant de température environ égale à 20 °C. Il découvre que Q_{O_2} dépend de leur masse corporelle M et suit une loi d'échelle du type : $Q_{O_2} = 0,68 M^{3/4}$ avec Q_{O_2} en litre par heure et M en kg (graphe ci-contre).
- La capacité à pomper le sang du cœur d'un mammifère est proportionnelle à la masse de ce cœur.
- On estime que, lorsqu'un mammifère au repos consomme un litre de dioxygène, son métabolisme produit un dégagement de chaleur d'environ 20 kJ.
- La musaraigne est un animal extrêmement trapu (photo ci-contre).
- Pour des raisons de mobilité, l'épaisseur e de la fourrure d'un mammifère, variable d'une espèce à l'autre, ne peut excéder la taille R du corps de l'animal. La conductivité thermique λ de cette fourrure est, pour la musaraigne, de l'ordre de $10^{-2} \text{ W.K}^{-1}\text{m}^{-1}$.



On pourra analyser la situation en trois temps :

- On retrouvera d'abord l'ordre de grandeur de 15 à 20 battements par seconde pour la musaraigne.
- En proposant un modèle géométrique simple pour décrire le corps (de taille R) et la fourrure (d'épaisseur e) d'un mammifère du type de la musaraigne, on montrera ensuite que pour différentes espèces de tailles différentes, le rapport e/R est d'autant plus élevé que R est faible.
- On expliquera enfin pourquoi il existe une masse minimale pour ce type de mammifères, et on retrouvera l'ordre de grandeur de 2 grammes.

DM de PHYSIQUE n° 8

Mardi 4 mars 2025

Partie 1 – Enoncé des 5/2

Exercice 1 : Le Soleil et la Terre.

Attention, cet exercice est posé comme un problème ouvert ; il nécessite une analyse poussée de l'énoncé et un effort de modélisation. Le jour d'un concours, son évaluation serait effectuée par compétences (s'approprier – analyser – réaliser – valider – communiquer) et pas uniquement sur l'exactitude des résultats proposés. Les analyses, hypothèses, modèles, ordres de grandeurs et calculs proposés doivent être parfaitement explicités dans la rédaction.

Données :

- La *séquence principale* des réactions nucléaires au cœur du Soleil, qui constitue l'essentiel de la « vie » de l'étoile, consiste en des réactions de fusion de l'hydrogène en hélium. Chacune de ces réactions de fusion convertit 4 noyaux d'hydrogène en 1 noyau d'hélium et s'accompagne d'une diminution de masse, également appelée « perte de masse », de 0,70%.
- D'un point de vue thermique et mécanique, cette séquence principale constitue un régime permanent au cours duquel l'énergie libérée au cœur de l'étoile par la fusion, est transportée par diffusion et convection vers sa surface, où elle est évacuée par rayonnement. Les mesures effectuées depuis la Terre indiquent que la puissance totale rayonnée par le Soleil est $P = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$ et que son rayon est $R_s = 7,0 \cdot 10^8 \text{ m}$.
- La masse du Soleil est évaluée à $M_s = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. On estime que la masse du cœur, où ont lieu les réactions de fusion, ne représente que 14% de M_s , et qu'au total, seule 70% de cette masse est susceptible de fusionner au cours de la vie de l'étoile.
- Enfin, la température de surface T_s du Soleil est reliée à la puissance surfacique φ rayonnée par l'astre, par la loi de Stefan qui s'écrit : $\varphi = \sigma T^4$ où $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$. On rappelle que tout corps émet un rayonnement thermique qui dépend de sa température de surface et que, dans le cas où ce rayonnement suit la loi de Stefan, on dit que le corps rayonne comme un « corps noir ».
- Données numériques complémentaires :
 - Masse molaire de l'hydrogène : $M_H = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$.
 - Nombre d'Avogadro : $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
 - Distance Terre-Soleil : $1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$.
 - Rayon de la Terre : $6,3 \cdot 10^4 \text{ km}$.

Questions posées :

1. Déterminer la température de surface du Soleil.
2. En exploitant les données précédentes ainsi qu'une célèbre équation publiée en 1905, évaluer, en années, la durée de vie du Soleil. Connaissez-vous l'âge actuel du Soleil ? Savez-vous ce qu'il adviendra du Soleil à la fin de sa vie ?
3. Déterminer la puissance totale reçue par la Terre via le rayonnement solaire, puis le flux surfacique *moyen* reçu sur Terre.
4. Proposer une évaluation de la température moyenne de la surface de la Terre, à partir d'un modèle simple utilisant exclusivement les données de l'énoncé. Quels phénomènes physiques importants faudrait-il prendre en compte pour améliorer ce modèle ?