



DEVOIR SURVEILLÉ 8 – PHYSIQUE-CHIMIE

D.Malka – MPSI 2019-2020 – Lycée Jeanne d'Albret

02.05.2020

Durée de l'épreuve : 3h00

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 5 pages + 2 annexes

- La numérotation des exercices doit être respectée.
- Les résultats doivent être systématiquement encadrés.
- Les pages doivent être numérotées de la façon suivante : n° page courante / nombre total de pages.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.
- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.

Problème 1 – Oeuf dur en rotation

Lorsqu'on impulse un mouvement rotatif très rapide (plus d'une dizaine de tours par seconde) à un œuf dur posé sur une surface bien plane et pas trop lisse, il se produit un étrange phénomène. Au bout de quelques tours, l'œuf se dresse et se met à tourner sur sa pointe ou sur sa base (fig.1)! Lorsqu'il perd peu à peu de la vitesse par frottements, il finit par se remettre en position couchée, position où son centre de gravité est le plus bas.

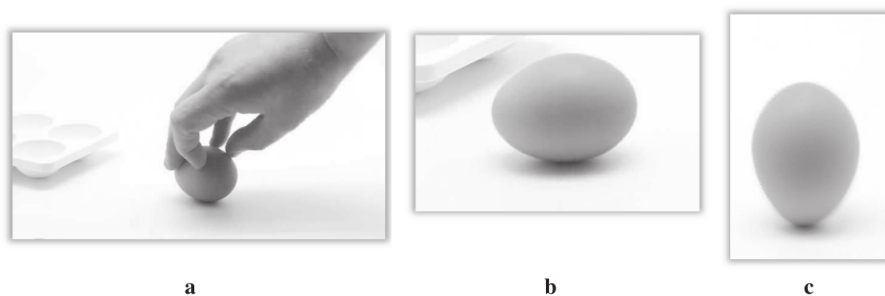


FIGURE 1 – Évolution d'un œuf dur en rotation dans l'ordre chronologique a, b et c. *Source : Le kaléidoscope de la physique, Varlamov, Villain, Rigamonti, 2014*

On souhaite établir pour l'œuf dur la condition de basculement de la position horizontale à la position verticale. On adopte le paramétrage de la figure 2.

On ne considère que les états initial et final, on ne s'intéresse pas au mécanisme transitoire du redressement de l'œuf.

On modélise l'œuf dur par un ellipsoïde de révolution homogène de masse m , de demi petit axe a et de demi grand axe b (avec $a < b$). Le centre de masse G est au centre de l'ellipsoïde (on néglige la légère asymétrie de l'œuf).

Les moments d'inertie d'un ellipsoïde de masse m par rapport à son axe de rotation Oz s'écrivent :

— $J_H = \frac{1}{5}m(a^2 + b^2)$ lorsque l'œuf tourne à l'horizontale ;

— $J_V = \frac{2}{5}ma^2$ lorsque l'œuf tourne à la verticale.

On pose Ω la vitesse de rotation de l'œuf, qu'il soit dans sa position verticale ou horizontale.

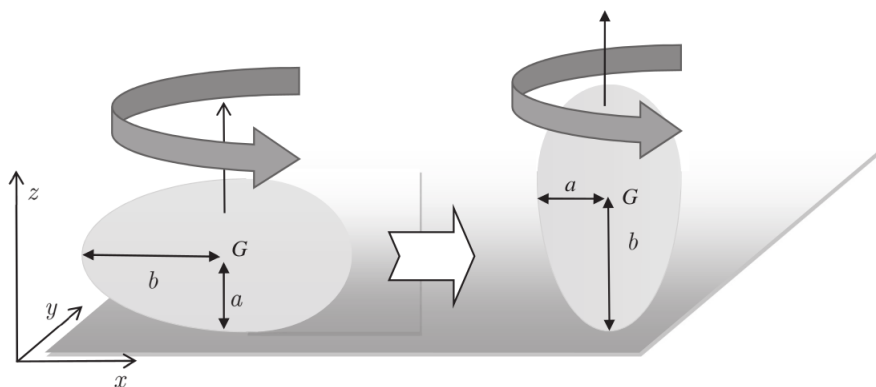


FIGURE 2 – Modélisation du redressement de l’œuf

1. Sans calcul, comparer J_H et J_V .
2. Exprimer l’énergie mécanique totale de l’œuf dans les deux positions E_{mH} et E_{mV} en fonction des données. On choisira comme origine de l’énergie potentielle de pesanteur celle d’altitude nulle.
3. Montrer que pour $\Omega > \Omega_C$ pulsation limite, la position verticale est d’énergie inférieure à la position horizontale et assure le basculement d’une position à l’autre. On donnera l’expression de Ω_C en fonction de g et a et b .
4. Calculer Ω_C pour $a = 2,0$ cm, $b = 3,0$ cm et $g = 10$ m · s⁻². Commenter à partir l’expérience décrite en introduction.

On suppose que le contact entre l’œuf et la table se fait sans frottement. Dans ce cas, lors du redressement de l’œuf, l’énergie doit être conservée. On fait tourner l’œuf en position horizontale, avec une vitesse angulaire initiale légèrement supérieure à la vitesse limite : $\Omega_0 = \Omega_C + \varepsilon$ (avec $\varepsilon \ll \Omega_C$). L’œuf se redresse et tourne alors avec une vitesse angulaire finale Ω_f que l’on peut écrire sous la forme $\Omega_f = \Omega_C + r\varepsilon$ (avec r un nombre sans dimension).

5. Exprimer les énergies mécaniques initiale E_{mH} et finale E_{mV} au premier ordre en ε/Ω_C .
6. En déduire, d’après les hypothèses, la valeur de r en fonction de a et de b . L’œuf a-t-il accéléré ou ralenti lors de son redressement ? Que vaudrait r pour $a \approx b$? Commenter.
7. Calculer les moments cinétiques L_H et L_V de l’œuf par rapport à l’axe Oz avant et après son redressement. Exprimer la variation de moment cinétique $\Delta L = L_V - L_H$ en fonction de Ω_C , m , a et b . L’œuf a-t-il gagné ou perdu du moment cinétique lors de son redressement ?
8. Cette variation de moment cinétique signifie que, pendant le temps Δt du redressement, l’œuf a subi un couple \vec{C} . Montrer que la composante verticale de ce couple par rapport à l’axe Oz peut s’écrire :

$$C_z \approx \frac{2mg(a-b)}{\Omega_C \Delta t}$$

9. Le poids ou la réaction normale du support peuvent-ils être responsables d’un tel couple ? Y a-t-il une contradiction avec les hypothèses de l’énoncé ?

Problème 2 – Consommation d’une voiture thermique

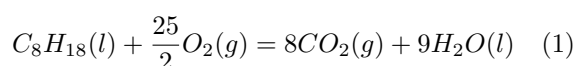
Toutes les données nécessaires aux traitements des questions sont fournies dans l’annexe.

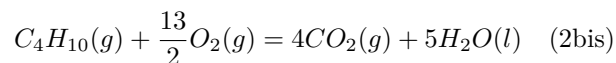
1. Étude comparative des différents carburants

Les principaux combustibles automobiles sont :

- l’essence SP98 dont l’octane C_8H_{18} est le principal constituant ;
- le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) constitué en proportion molaire d’environ 50 % de propane C_3H_8 et 50 % de butane C_4H_{10} . Une mole de GPL se compose ainsi de 0,5 mole de propane et de 0,5 mole de butane ;
- le GNV (Gaz Naturel pour Véhicules) essentiellement constitué de méthane CH_4 .

- 1.1 Écrire l’équation de la réaction (2) de combustion d’une mole de propane. On donne celles relatives à la combustion de l’octane, du butane et du méthane.





1.2 L’enthalpie associée à une réaction, notée $\Delta_r H^\circ$, est l’énergie reçue du milieu extérieur lors d’une réaction chimique. La loi de Hess permet de la calculer à partir de l’équation de la réaction :

$$\Delta_r H^\circ = \sum_i \nu_i \Delta_f H^\circ$$

où ν_i est le coefficient stoechiométrique algébrique associé au réactif i et $\Delta_f H^\circ$ l’enthalpie de formation associée au même réactif (valeurs fournies en annexe).

Pour les combustions respectives d’une mole de GPL et d’une mole d’essence SP98, on a $\Delta_r H_2^\circ = -2351 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $\Delta_r H_3^\circ = -5068 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Évaluer l’enthalpie de réaction $\Delta_r H_1^\circ$ de la combustion du méthane.

2. Étude thermodynamique du moteur PSA EB2

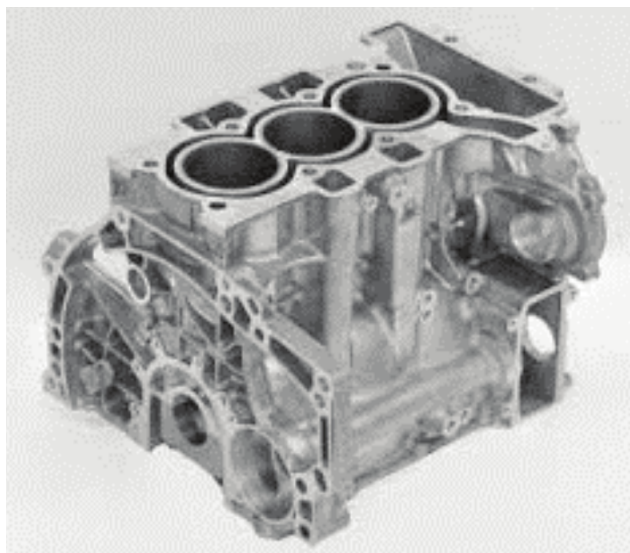


FIGURE 3 – Moteur PSA EB2

Le moteur PSA EB2 (fig.3), connu sous sa dénomination commerciale 1,2 Puretech, équipe en particulier les Peugeot 108, 208 et 2008, les Citroën C1, C3, C4 Cactus ainsi que la DS3. Compte tenu de la faible proportion d’essence dans le mélange air-essence, celui-ci sera assimilé uniquement à l’air qu’il contient, lui-même considéré comme un gaz parfait diatomique.

- 2.1 La cylindrée est le volume balayé par le déplacement des pistons du moteur. Déterminer, à l’aide de l’annexe, les valeurs numériques exprimées en cm^3 des volumes V_1 et V_2 correspondant respectivement au point mort haut et au point mort bas du piston d’un cylindre d’un moteur.
- 2.2 Tracer dans un diagramme de Watt (pression en ordonnées, volume d’un des trois cylindres en abscisses) l’allure du cycle idéalisé, appelé cycle de Beau de Rochas et décrit dans l’annexe. On veillera à faire figurer les points A, B, C, D et E.
- 2.3 Le cycle réel est un peu différent du cycle idéalisé. Expliquer, par une argumentation phrasée de moins de 50 mots, en quoi le cycle réel diffère du cycle idéal.

Dans la suite du problème, le modèle adopté est celui du cycle idéal décrit à pleine puissance par le moteur EB2 et synthétisé dans le tableau fig.4.

- 2.4 Déterminer les valeurs manquantes : P_C , P_D , T_C .
- 2.5 Déterminer la valeur numérique du travail W_{BC} reçu par le gaz au cours de la compression BC .
- 2.6 Déterminer le transfert thermique Q_{CD} reçu par le gaz au cours de l’explosion CD .
- 2.7 Rendement.

Point	A	B	C	D	E
P (bar)	1	1	P_C	P_D	4
V (cm ³)	40	440	40	40	440
T (K)	300	300	T_C	2820	1193

FIGURE 4 – Cycle thermique du moteur EB2

2.7.1 On donne : $W_{DE} = 596 \text{ J}$ et $Q_{EB} = 328 \text{ J}$. Déterminer la valeur numérique du rendement R_{dt} du cycle*.

* On remarquera qu’il s’agit d’un rendement purement thermodynamique pour un cycle idéal. Il ne tient pas compte des considérations mécaniques. En pratique, le rendement global est moins bon et dépend fortement du point de fonctionnement (couple-vitesse) considéré. Ce résultat permet néanmoins de comparer des cycles et de poser des limites.

2.7.2 Reconstruire l’expression du rendement R_C d’un cycle de Carnot dont les températures extrémales sont : pour la source froide et T_{ch} pour la source chaude.

2.7.3 Proposer des valeurs pour T_{fr} et T_{ch} puis comparer le rendement R_{dt} au rendement de Carnot. Commenter.

2.8 Le cycle est-il compatible avec la puissance maximale de 82 ch à 5750 tr/min annoncée par le constructeur ? On remarquera qu’il faut deux tours de vilebrequin pour effectuer un cycle thermodynamique.

2.9 Consommation en carburant et émission du dioxyde de carbone. On suppose que le cycle modélisé correspond aussi à celui décrit par une Peugeot 108 lors d’une utilisation autoroutière effectuée à la vitesse stabilisée de 130 km/h, le moteur tournant alors au régime de 3600 tr/min.

2.9.1 L’enthalpie de combustion de l’octane $\Delta_r H_2^\circ$ est reliée au transfert thermique Q_{CD} calculé précédemment par :

$$Q_{CD} = -\Delta_r H_2^\circ \xi_e$$

où ξ_e est l’avancement de la réaction de combustion au bout d’un cycle thermodynamique (= deux tours moteurs). Justifier qualitativement cette relation.

2.9.2 Déterminer, en mol, la quantité d’octane consommée au bout de 100 km.

2.9.3 Comparer à la valeur annoncée par le constructeur.

2.9.4 Calculer la masse de dioxyde de carbone émise en $\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$. Commenter.

Problème 3 – Dosage d’une solution de peroxyde d’hydrogène (eau oxygénée)

On s’intéresse au titrage d’une solution de peroxyde d’hydrogène par une solution de thiosulfate de sodium.

Données :

— L’activité des espèces en solution aqueuse sera assimilée au rapport entre leur concentration exprimée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et la concentration de référence $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

— Activité du solvant : $a_{H_2O} = 1$.

— Potentiels standards des couples rédox par rapport à l’électrode standard à hydrogène :

— $E^\circ(H_2O_2/H_2O) = 1,77 \text{ V}$

— $E^\circ(S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}) = 0,09 \text{ V}$

— $E^\circ(I_2/I^-) = 0,62 \text{ V}$

— $\frac{\ln(10)RT}{F} = 0,060 \text{ V}$ à 25°C .

— La température est égale à 25°C .

— Masse molaire de l’iodure de potassium : $M(KI) = 166,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Pour réaliser ce dosage, le mode opératoire suivant est utilisé :

— Introduire successivement dans un erlenmeyer : $V_A = 5,00 \text{ mL}$ de solution aqueuse d’acide sulfurique de concentration molaire $C_A = 2,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $m_1 = 0,500 \text{ g}$ d’iodure de potassium; $V_B = 10,00 \text{ mL}$ de solution aqueuse de peroxyde d’hydrogène de concentration molaire égale à C_B .

— Attendre 10 minutes puis doser le diiode formé au moyen d’une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ($2Na^+; S_2O_3^{2-}$) de concentration molaire $C_T = 0,0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Écrire la demi-équation électronique du couple H_2O_2/H_2O dans le sens de la réduction.

2. Potentiel du couple diiode / iodure.

2.1 Écrire la demi-équation électronique du couple I_2/I^- dans le sens de l’oxydation.2.2 Calculer le potentiel de ce couple pour une solution aqueuse ayant pour concentrations molaires $[I^-] = 0,030 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[I_2] = 0,0010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

3. Potentiel du couple peroxyde d’hydrogène / eau.

Exprimer, en fonction du pH , ce potentiel pour une solution aqueuse contenant du peroxyde d’hydrogène à la concentration molaire C_B .

4. Pour réaliser la réduction du peroxyde d’hydrogène par les ions iodure, vaut-il mieux se placer en milieu acide ou en milieu basique ? Justifier votre réponse.

5. Complexation du diiode par les ions iodures.

L’équation bilan traduisant cette réaction de complexation est : $I_{2(aq)} + I_{(aq)}^- = I_{3(aq)}^-$. Sa constante d’équilibre à 25°C est $K^\circ = 750$. Le diiode étant peu soluble dans l’eau (solubilité égale à $1,34 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à 25°C) alors que I_3^- l’est, cette réaction de complexation permet, en présence d’ions I^- , d’éviter la formation de diiode solide lors de l’oxydation de I^- .

5.1 Calculer la concentration molaire $[I_3^-]$ de la solution aqueuse de la question 3.2. caractérisée à l’équilibre par $[I^-] = 0,030 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[I_2] = 0,0010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.5.2 Écrire la demi-équation électronique du couple I_3^-/I^- dans le sens de l’oxydation.5.3 Calculer le potentiel standard du couple I_3^-/I^- .5.4 Écrire l’équation bilan traduisant l’oxydation des ions I^- en I_3^- par le peroxyde d’hydrogène en milieu acide.

5.5 Exprimer puis calculer la constante d’équilibre de cette réaction. Conclure.

6. Dosage par le thiosulfate de sodium

6.1 Écrire la demi-équation électronique du couple $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$ dans le sens de l’oxydation.6.2 Écrire l’équation bilan traduisant la réduction des ions I_3^- , formés lors de la réaction entre le peroxyde d’hydrogène et les ions iodures, par le thiosulfate.6.3 Il faut verser un volume de solution de thiosulfate $V_e = 16 \text{ mL}$ pour réduire tous les ions I_3^- en I^- de la solution de la question 3.2. En déduire la concentration C_B de la solution de peroxyde d’hydrogène.