



MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE, DE L'INDUSTRIE
ET DE L'EMPLOI

MINISTÈRE DU BUDGET, DES COMPTES
PUBLICS, DE LA FONCTION PUBLIQUE
ET DE LA RÉFORME DE L'ÉTAT

**CONCOURS INTERNE
POUR L'ACCÈS AU CORPS
DES INGÉNIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES**

SESSION 2009

ÉPREUVE ÉCRITE D'ADMISSIBILITÉ N° 3 DU 3 SEPTEMBRE 2009

*COMPOSITION
DE PHYSIQUE-CHIMIE*

L'usage d'une calculatrice de poche est autorisé (standard, programmable ou alphanumérique) à condition qu'elle soit autonome et qu'elle ne comporte pas de dispositif d'impression, ni de dispositif externe de stockage d'information (cassettes, bandes magnétiques, etc...).

Les notices de fonctionnement ne sont pas autorisées.

Durée : 4 heures - Coefficient : 1

TOUTE NOTE ÉGALE OU INFÉRIEURE À 10 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE

PHYSIQUE

Le déplacement des dunes de sables dans les pays du Sahel a fait l'objet de nombreuses études récentes enrichissant la physique des milieux granulaires. Les modèles simples utilisent les notions de chocs entre grains de sables assimilés à des sphères.

A- Collision élastique

Lors d'un choc frontal entre deux billes sphériques homogènes, l'énergie cinétique initiale est d'abord convertie en énergie de déformation E_d puis restituée sous forme d'énergie cinétique.

La collision est qualifiée d'élastique, lorsque l'énergie mécanique totale des deux billes est conservée au cours du choc.

Soient deux billes identiques de masse m , de rayon R et de masse volumique ρ_B . Dans le référentiel du centre de masse, elles se déplacent sur un axe horizontal avec des vitesses de même module v et de sens opposés.

Le contact avec la surface (S) se fait sans frottement et on néglige la rotation des billes.

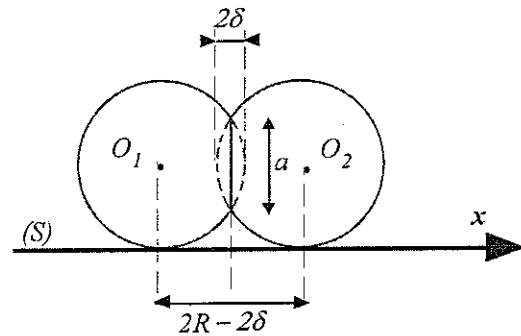


Figure 1

Quand la distance entre les deux centres de billes devient inférieure (figure 1) au diamètre d'une bille, elles s'écrasent selon un disque de diamètre a , sous l'action d'une force, dont le module F_D est donnée par la loi de Hooke :

$$F_D = \varepsilon \frac{\delta}{a} 4\pi a^2$$

où ε est une constante positive appelée module de Young de la bille et qui caractérise son élasticité.

- A-1 On sait que $\delta \ll R$, montrer qu'à l'ordre un en δ/R , le diamètre du méplat s'écrit $a = 2\sqrt{2R\delta}$.
- A-2 Donner l'expression du module F_D de la force de déformation en fonction de R , δ et ε . En déduire, l'énergie potentielle E_p dont dérive cette force. On prendra $E_p \geq 0$.
- A-3 On note x_1 et x_2 les abscisses respectives des centres des billes. Exprimer $\dot{x}_1 = dx_1/dt$ en fonction de $\dot{\delta} = d\delta/dt$. En déduire l'énergie mécanique totale E_m des deux billes pendant le choc en fonction de R , ε , m , δ et $\dot{\delta}$.
- A-4 Pourquoi la quantité de mouvement du système constitué par les deux billes est-elle la même avant et après le choc ? Quelle relation simple lie les vitesses \vec{w}_1 et \vec{w}_2 des billes une fois qu'elles se sont séparées ? Quelle est la relation liant v à la norme des vecteurs \vec{w} ?
- A-5 Déterminer la valeur maximale δ_m atteinte par δ au cours de la collision. Que constatez-vous pour la déformation relative $u_m = \delta_m/R$?
- A-6 En exprimant $\dot{\delta}$ à l'aide de v , et $y = \delta/\delta_m$, déterminer la durée T de la collision, c'est-à-dire le temps pendant lequel les billes restent en contact en fonction des paramètres et de l'intégrale

$$I = \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^{5/2}}}$$

- A-7 Calculer T pour des grains de sable de vitesse $v = 3,00 \text{ m.s}^{-1}$, de module de Young $\varepsilon = 7,00 \times 10^{10} \text{ Pa}$ et de masse volumique $\rho_B = 2,50 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, $R = 1,00 \times 10^{-4} \text{ m}$.
On donne le résultat $I \approx 1,47$.

B- Collision inélastique

On considère maintenant deux billes déformables se déplaçant sur un axe horizontal avec les vitesses $\vec{v}_1 = v\vec{u}_x$ pour la particule à gauche et $\vec{v}_2 = -v\vec{u}_x$ pour la particule à droite. Après le choc les vitesses sont $\vec{w}_1 = w_1\vec{u}_x$ et $\vec{w}_2 = w_2\vec{u}_x$.

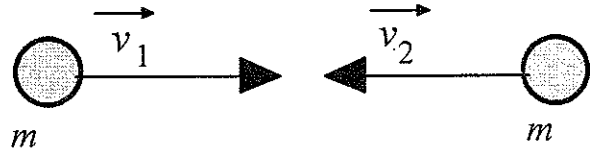


Figure 2

Le coefficient de restitution η , est défini par $\eta = -\frac{w_2 - w_1}{v_2 - v_1}$

- B-1 Pourquoi la quantité de mouvement totale des billes est-elle conservée ? Qu'en déduit-on pour les vitesses après le choc ?
- B-2 Exprimer alors, en fonction de v , m et η , la perte d'énergie cinétique des deux billes causée par la collision.
- B-3 Au cours de la collision, la déformation rapide de la bille, d'amplitude maximale δ_m , est source d'une perte d'énergie par apparition d'une force de module F_p . Cette force est reliée à la force élastique F_D de la partie I par la relation:

$$F_p = A\delta \frac{\partial F_D}{\partial \delta}$$

Quelle est la dimension de la constante positive A ?

- B-4 Exprimer, sous forme d'une intégrale sur l'intervalle $[0, \delta_m]$, l'énergie U_p dissipée au cours de la collision en fonction de A , ε , R , δ , $\dot{\delta}$ et δ_m .
On pourra considérer que le choc est la juxtaposition d'une phase de compression suivie d'une phase de détente parfaitement symétriques l'une de l'autre.
- B-5 En déduire que l'énergie dissipée lors de la collision est de la forme : $U_p = A v^\beta f(\varepsilon, R, m)$ où l'exposant β est proche de $\frac{2}{3}$ et f une fonction sans intérêt ici.
Pour cela on posera $y = \delta / \delta_m$ et on prendra $\dot{\delta}^2 \approx v^2 (1 - y^{5/2})$ en précisant l'hypothèse retenue.
- B-6 La théorie de Kuwabara et Kono du déplacement des dunes de sable, prévoit que l'on puisse ramener la collision de plein fouet des deux particules déformables dissipatives, à une collision avec un coefficient de restitution effectif très proche de 1 qui dépend de la vitesse d'impact de telle manière que $1 - \eta$ soit proportionnel à $v^{0.2}$. Justifier cette théorie en considérant la totalité de la perte d'énergie cinétique.
- B-7 Expliquer qualitativement pourquoi le coefficient de restitution tend vers 1 pour les faibles vitesses. Ce coefficient est-il une propriété des particules ou une propriété de la collision ?

CHIMIE

Le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) H_2O_2

données numériques

Constante des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$

On rappelle que $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$

Potentiels standards d'oxydo-réduction à 25°C

couples	$\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$	$\text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}_2$	$\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$
E° (Volts)	1,51	1,77	0,69	0,77

A- Structure

- A-1** Donner les configurations électroniques des atomes d'hydrogène ($Z = 1$) et d'oxygène ($Z = 8$) dans leur état fondamental. En déduire la formule de Lewis du peroxyde d'hydrogène.
- A-2** En déduire la formule de Lewis du peroxyde d'hydrogène.

B- Oxydoréduction

- B-1** Écrire les demi-équations associées aux deux couples d'oxydoréduction faisant intervenir H_2O_2 en précisant le rôle de H_2O_2 dans chacun des deux cas.
Sachant d'autre part que H_2O_2 est la forme acide d'un couple acido basique ($\text{pK}_a = 11,6$), écrire l'équation de la réaction de dissociation de cette forme acide en solution aqueuse.
- B-2** Tracer à 25°C le diagramme potentiel-pH de l'eau oxygénée pour une concentration totale en solution de l'eau oxygénée de $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ et en prenant la pression de dioxygène égale à $0,20 \text{ bar}$ (les équations des différentes droites sont demandées ainsi qu'un tracé de l'allure du diagramme).
Quelle conclusion relative à la stabilité thermodynamique des solutions d'eau oxygénée s'impose à l'observation de ce tracé ?
- B-3** On trouve en parapharmacie des solutions d'eau oxygénée portant l'indication eau oxygénée à 10 volumes. Une telle solution peut libérer par décomposition 10 litres de dioxygène dans les CNTP.
Calculer l'ordre de grandeur de la concentration de la solution commerciale en eau oxygénée.

L'existence de telles solutions commerciales n'est-elle pas contradictoire avec la thermodynamique ?

- B-4** Les solutions d'eau oxygénée peuvent être dosées par manganimétrie, le dosage étant suivi par potentiométrie. Écrire l'équation de dosage et montrer que la réaction est quantitative.
- B-5** On a mis dans le bécher 10,0 mL de la solution d'eau oxygénée à doser auxquels on a ajouté 85 mL d'eau et 5 mL d'acide sulfurique concentré (pour maintenir un pH voisin de zéro). L'équivalence est obtenue pour un volume versé de 17,0 mL de solution de permanganate de potassium à $0,020 \text{ mol.L}^{-1}$.
Calculer la concentration de la solution d'eau oxygénée. Cette solution a été obtenue en diluant 10 fois une solution commerciale, que peut-on dire du produit vendu par le parapharmacien ?
- B-6** Donner (en négligeant la dilution) l'expression numérique du potentiel de la solution en fonction du volume V versé (V exprimé en litre) avant l'équivalence, après l'équivalence puis à l'équivalence. Tracer alors l'allure du graphe $E = f(V)$.

C- Cinétique

- C-1** La dismutation du peroxyde d'hydrogène peut être catalysée par les cations Fe^{3+} . Écrire l'équation de la réaction de dismutation et proposer une explication au rôle des ions Fe(III) , sachant que les ions Fe(II) peuvent aussi servir de catalyseur pour cette réaction.
- C-2** La réaction étant supposée d'ordre 1, établir la loi donnant la concentration en eau oxygénée en fonction du temps.
- C-3** Dans la série de mesures qui suit on accède à la cinétique de réaction via la mesure de la pression dans un erlenmeyer fermé dans lequel on a introduit initialement les réactifs en présence d'air. La température est maintenue constante à $20,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (bain thermostaté). Pour chaque manipulation on introduit dans l'erlenmeyer 30,0 mL d'eau oxygénée à $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$, 20,0 mL d'eau et 3,0 mL de solution de cation Fe(III) à $0,037 \text{ mol.L}^{-1}$. On ferme rapidement l'erlenmeyer tout en déclenchant l'acquisition de la mesure de variation de pression $\Delta P = P(t) - P(t = 0)$. Le volume disponible pour la phase gazeuse étant constant égal à 69,0 mL.

t (minutes)	2,5	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	15,0
ΔP (pascals)	3900	7300	9600	16100	20000	23800	29200

Vérifier que ces résultats sont bien compatibles avec une cinétique d'ordre 1.