



DEVOIR SURVEILLÉ 4 – PHYSIQUE-CHIMIE

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

15.12.19

Durée de l'épreuve : 3h00

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 5 pages

- 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 – Les alcanes et quelques uns de leurs dérivés

Les alcanes sont les composants majoritaires des hydrocarbures. Outre leur intérêt énergétique, les alcanes constituent la matière première de nombreux produits de synthèse. On s'intéresse, dans ce problème, aux propriétés physico-chimiques de quelques alcanes et de certains de leurs dérivés.

Données : $Z(H) = 1$, $Z(C) = 6$, $Z(N) = 7$, $Z(O) = 8$, $Z(S) = 16$, $Z(Cl) = 17$.




Solvant	Eau	Butane	Butan-1-ol	Dichlorométhane
Formule	H_2O	C_4H_{10}	$C_4H_{10}O$	CH_2Cl_2
Masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$)	18,0	58,1	74,1	83,9
Solubilité dans l'eau ($g \cdot L^{-1}$)	-	0,062	77	13
Densité	1	0,0027 (gaz)	0,8	1,33
θ_{eb} ($^{\circ}C$) sous 1 bar	100	-0,5	117	40
Remarques particulières	-			

FIGURE 1 – Propriétés de quelques espèces chimiques

On s'intéresse notamment au dichlorométhane dont quelques propriétés et modes d'utilisation sont décrits dans le document fig.2.

1. Alcanes et alcools.

1.1 On donne, fig.3, les représentations de Cram du méthane CH_4 , de l'éthane C_2H_6 , du méthanol CH_3OH et de l'eau H_2O .

1.1.1 Dire si ces molécules sont polaires ou bien apolaires.

1.1.2 Représenter qualitativement le moment dipolaire électrique lorsqu'il y a lieu de le faire.

1.1.3 Le moment dipolaire électrique du méthanol vaut 1,70 D tandis que celui de l'iodométhane CH_3I vaut 1,59 D. Justifier.

1.2 Expliquer la différence entre la température de fusion du butane et celle du butan-1-ol.

2. Le dichlorométhane.

Le dichlorométhane s'obtient en chauffant à environ $500^{\circ}C$ un mélange de méthane et de dichlore Cl_2 gazeux. L'autre produit de synthèse est l'acide chlorhydrique HCl .

Le dichlorométhane

Utilisation

- Solvant d’extraction et de processus dans l’industrie pharmaceutique, solvant d’extraction dans l’industrie agroalimentaire et les cosmétiques.
- Constituant de décapants de peintures et vernis.
- Agent de nettoyage et de dégraissage des métaux.
- Composant de colles et adhésifs.
- Formulation d’aérosols.
- Agent d’expansion des mousses polyuréthanes, solvant de polymérisation (polycarbonates, etc.).
- Intermédiaire de synthèse.
- Autres utilisations : fabrication de fibres cellulosiques, formulation de peintures, industrie pétrolière, industrie du cuir, détachant textile, laboratoires d’analyses chimiques, etc.

Propriétés physiques

Le dichlorométhane est un liquide incolore, très volatil, d’odeur étherée généralement détectable vers 200-300 ppm (dès 25 ppm ou seulement vers 600 ppm selon certaines sources). Il est peu soluble dans l’eau (13 à 20 g/l à 20 °C), mais miscible avec la plupart des solvants organiques. En outre, le dichlorométhane dissout de nombreux produits tels que graisses, huiles, résines, etc.

Précautions

En raison de ses effets néfastes sur la santé et de la grande volatilité du dichlorométhane, des mesures strictes de prévention devront être prises lors de son utilisation afin de réduire au minimum la diffusion de vapeurs dans l’atmosphère de travail. Lorsque cela est techniquement possible, sa substitution par un autre produit moins dangereux est recommandée.

FIGURE 2 – Extrait de la fiche FT34 (fiche toxicologique) de l’INRS

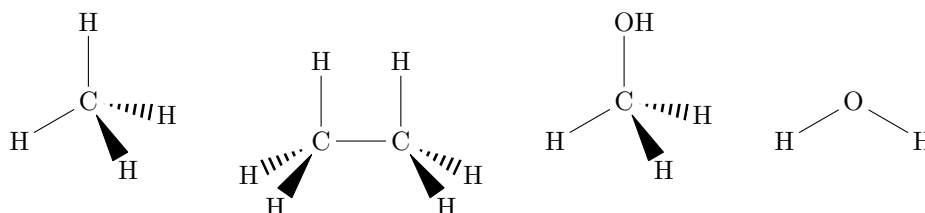


FIGURE 3 – Représentation de Cram de quelques molécules

- 2.1 Écrire l’équation de la réaction de synthèse du dichlorométhane.
- 2.2 Donner la représentation de Lewis du dichlorométhane.
- 2.3 Expliquer la faible solubilité du dichlorométhane dans l’eau.

Problème 2 - Détecteur de choc d’un airbag

À bord d’un véhicule, l’airbag est aujourd’hui un des éléments essentiels permettant d’assurer la protection des passagers lors d’un accident. Le détecteur de chocs qui déclenche l’ouverture de l’airbag est, par exemple, constitué d’une masse mobile aimantée M retenue par un ressort (fig.4). Au cours d’un choc, plus la décélération est importante, plus la masse se déplace. Si le déplacement est suffisamment important, la masse aimantée met en contact électrique deux lames métalliques, ce qui permet ainsi de déclencher l’ouverture de l’airbag.

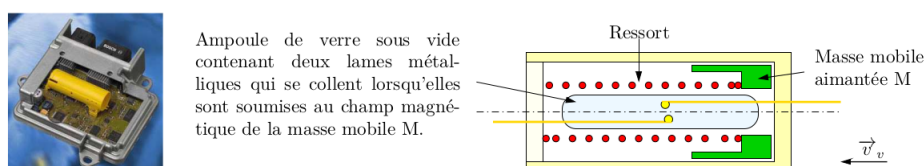


FIGURE 4 – Détecteur de choc sur son circuit électrique

On note le référentiel terrestre $\mathcal{R}_T (T, \vec{u}_X, \vec{u}_Y, \vec{u}_Z)$ supposé galiléen. T est un point de la route et $(\vec{u}_X, \vec{u}_Y, \vec{u}_Z)$ une base fixe par rapport à la route.

On associe au véhicule étudié un référentiel mobile $\mathcal{R}_v (O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$. Le véhicule se déplace à la vitesse $\vec{v}_v(t) = v_v(t)\vec{u}_X$ ($v_v(t) < 0$) par rapport au référentiel terrestre (fig.5).

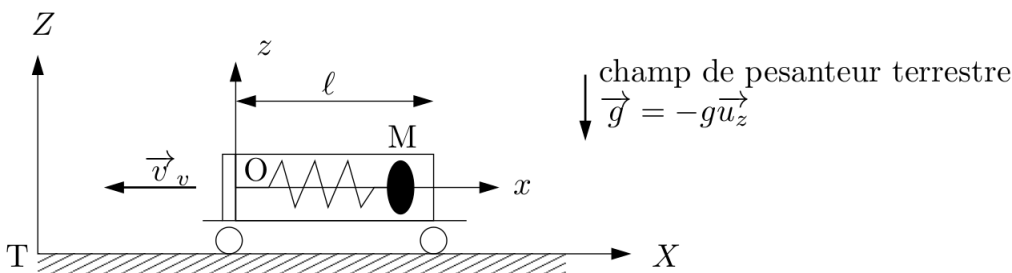


FIGURE 5 – Modélisation du dispositif de détection des chocs installé dans le véhicule. La longueur à vide du ressort vaut $l_0 = 2\text{ cm}$

Le véhicule est équipé d’un système de détection de chocs dont la masse mobile $M(m)$ peut se déplacer suivant la direction Ox . On note m sa masse et $OM(t) = x(t)\vec{u}_x$ son vecteur position dans le référentiel de la voiture \mathcal{R}_v . On se place dans la suite dans le référentiel mobile \mathcal{R}_v lié au véhicule pour étudier le mouvement de la masse mobile M .

Dans ce référentiel, le point M subit la force du ressort, une force de frottement $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$ avec $\alpha > 0$ et \vec{v} la vitesse de la masse par rapport à la voiture et la force d’entraînement $\vec{F}_e = -m\vec{a}_e$ où \vec{a}_e est l’accélération de la voiture par rapport au référentiel de la route. Le poids est compensé par la réaction du support.

Le véhicule roule initialement à la vitesse $\vec{v}_0 = -v_0\vec{u}_X$, $v_0 > 0$, avant de subir un choc frontal à l’instant $t = 0$. L’évolution de la vitesse $v_v(t)$ est représentée fig.6.

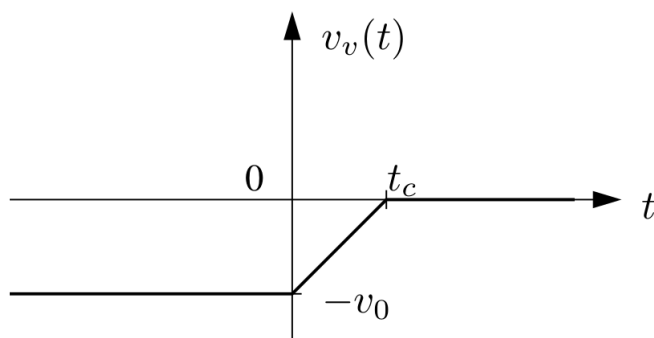


FIGURE 6 – Évolution de la vitesse $v_v(t)$ du véhicule. Au cours du choc, la vitesse passe de $-v_0$ à 0 en une durée t_c .

1. Justifier qu’à $t = 0^-$, la position de la masse par rapport au véhicule vaut $x(0^-) = l_0$ et que sa vitesse rapport au véhicule vaut $\dot{x}(0^-) = 0$.
2. Au moment du choc, justifier, qu’initialement, la masse se déplace vers les x décroissants.
3. $\forall t \geq 0$, exprimer l’accélération a_e de la voiture par rapport à la route. Par la suite, on note a_0 la valeur de a_e sur $[0, t_c]$.
4. Montrer que pour $t \in [0, t_c]$, le mouvement de M par rapport au véhicule est régi par l’équation :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \omega_0^2 x_e$$

On exprimera ω_0 , ξ et x_e en fonction de m , k , l_0 , a_0 et α .

5. Donner les sens physiques de x_e , ω_0 et ξ .
6. On suppose $\xi < 1$, montrer que, $\forall t \in [0, t_c]$:

$$x(t) = e^{-t/\tau} (A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)) + x_e \quad \text{où on exprimera } \omega \text{ et } \tau$$



7. Déterminer les valeurs de A et B .
8. En déduire que la vitesse s’écrit :

$$v(t) = -A \left(\frac{1 + \tau^2 \omega^2}{\tau^2 \omega} \right) e^{-t/\tau} \sin(\omega t)$$

9. Représenter les évolutions temporelles de $x(t)$ et $v(t)$ en concordance des temps pour $t \in [0, t_c]$. On supposera $t_c \gg T = \frac{2\pi}{\omega}$.
10. À quel instant t_d , la masse M est-elle le plus proche du point O ? Exprimer alors la distance d qui sépare M de O en fonction des paramètres du problème.
11. Si la distance minimale d devient inférieure à $l_0/2$, la masse mobile aimantée se trouve alors sur le contact électrique qui déclenche l’ouverture de l’airbag. Les caractéristiques du capteur sont les suivantes : $m = 10 \text{ g}$, $\xi = 0,5$, $k = 55 \text{ N/m}$. Le capteur peut-il déceler des décélérations de $5g$ (où g est l’intensité moyenne du champ de pesanteur) ?

Problème 3 - Isolation thermique d’une habitation

Dans ce problème, on s’intéresse aux pertes thermiques d’une habitation et à son isolation. Pour cela, on procède à une analogie entre la thermique et l’électrocinétique.

1. Circuit électrique.

On considère le circuit fig.7. A $t = 0$, le condensateur est déchargé.

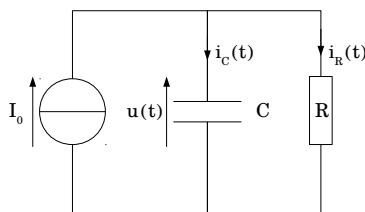


FIGURE 7 – Circuit électrique

- 1.1 Déterminer l’équation différentielle vérifiée par $u(t)$. On posera $\tau = RC$, grandeur dont on donnera la dimension.
 - 1.2 Quelle valeur u_∞ prend $u(t)$ en régime établi ?
 - 1.3 Déterminer l’expression de $u(t)$ pour $t \geq 0$.
- #### 2. Chauffage et isolation d’un bâtiment.

On considère un bâtiment caractérisé par sa capacité thermique C_{th} , la résistance thermique de ses parois R_{th} et sa puissance thermique de chauffage ϕ_0 . On peut aussi le caractériser par le temps de relaxation $\tau_{th} = R_{th}C_{th}$.

La résistance thermique est définie par la relation $T - T_e = R_{th}\phi$ où ϕ est la puissance thermique sortant du bâtiment, T la température à l’intérieur du bâtiment et T_e la température à l’extérieur.

Ce problème est un analogue thermique du circuit électrique étudié précédemment.

- 2.1 En justifiant, donner les analogues électriques de la différence de température $T - T_e$, des puissances thermiques ϕ et ϕ_0 , de la résistance thermique R_{th} et de la capacité thermique C_{th} . Écrire alors l’équation différentielle vérifiée par la température $T(t)$.
- 2.2 En tenant compte des phénomènes de diffusion, de convection et de rayonnement, on peut représenter symboliquement la résistance thermique du bâtiment comme sur la fig.8.
 - 2.2.1 Exprimer la résistance thermique R_{th} équivalente au schéma fig.8. Calculer sa valeur numérique pour $K = 5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, $h = 3 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, une conductivité surface $S = 400 \text{ m}^2$, une épaisseur d’isolant $e = 30 \text{ cm}$ et une conductivité thermique $\lambda = 0,03 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.
 - 2.2.2 Expliquer pourquoi on utilise des couches épaisses d’isolants thermiques (faibles valeurs de λ) pour isoler thermiquement les bâtiments.

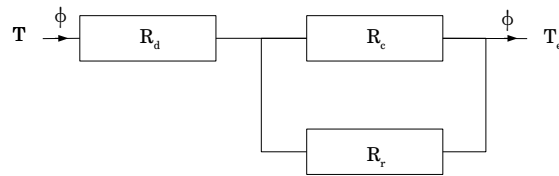


FIGURE 8 – Résistance thermique du bâtiment. $R_d = \frac{e}{\lambda S}$, $R_c = \frac{1}{hS}$, $R_r = \frac{1}{KS}$. S est la surface totale du bâtiment en contact avec l’air, e l’épaisseur des parois et λ la conductivité thermique du matériau constituant les parois.

- 2.3 En gardant la valeur numérique de la résistance thermique estimée précédemment, quelle puissance thermique le chauffage doit-il fournir pour maintenir la température du bâtiment à 19°C en hiver. Commenter.
- 2.4 En fin de semaine, le chauffage est coupé pour faire des économies. Il est remis en route le lundi. A quelle heure environ faut-il relancer le chauffage pour que la température soit confortable à 8h00? Capacité thermique du bâtiment $C_{th} = 1 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.