

DEVOIR SURVEILLÉ de PHYSIQUE – CHIMIE n°1

8 h – 11 h

Les calculatrices sont autorisées pour ce devoir**Dans l'ensemble du devoir :**

- Pour chaque calcul, une expression littérale est attendue avant toute application numérique.
- Les grandeurs dimensionnées seront données avec l'unité associée et tout résultat numérique devra présenter un nombre pertinent de chiffres significatifs.
- Un soin particulier sera accordé à la présentation de la copie et des résultats ! Laissez une marge, encadrez les résultats, reportez soigneusement les numéros de questions...

Les deux matières (physique et chimie) seront rédigées sur des copies distinctes.**PHYSIQUE (8 h – 9 h 30)****1^{ère} partie : Zone de turbulence...**

Dans un tube vertical rempli d'un fluide de viscosité η , on abandonne sans vitesse initiale une petite bille métallique de rayon r . La petite bille, animée d'une vitesse v , est alors soumise à une force de frottement $\vec{F}$ dont la norme (la valeur) est donnée par la formule : $F = 6 \pi \eta r v$.

- 1) Déterminer la dimension de η .
- 2) Sa vitesse s'écrit pour $t > 0$:

$$v = a \left(1 - \exp \left(-\frac{t}{b} \right) \right)$$

avec a et b sont deux grandeurs qui dépendent des caractéristiques du fluide.

Déterminer les dimensions de a et b .

- 3) Si ρ désigne la masse volumique du fluide, L le diamètre du tube vertical, v la vitesse de la bille et η la viscosité du fluide, trouver la combinaison (α, β, γ) qui permet de définir le nombre de Reynolds Re **sans dimension** sous la forme :

$$Re = \rho v^\alpha L^\beta \eta^\gamma$$

Ce nombre de Reynolds permet de caractériser le régime d'écoulement d'un fluide (laminaire ou turbulent).

Pour son calcul, toutes les grandeurs sont exprimées en unités du système international.

Si $Re < 2000$, l'écoulement est dit laminaire, et si $Re > 4000$, l'écoulement est dit turbulent.

- 4) On considère une bille en fer de densité $d_1 = 7,8$ tombant à la vitesse $v = 0,18 \text{ km.h}^{-1}$ dans un tube de largeur $L = 8,0 \text{ cm}$ rempli d'huile de densité $d_2 = 0,92$ et de viscosité $\eta = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ USI}$. Conclure sur la nature de l'écoulement. Exprimer la vitesse de la bille et la masse volumique du fluide en unités SI. En déduire la valeur du nombre de Reynolds correspondant à la situation. Conclure.

2^{ème} partie : Gaz parfaits et mélange

On place, dans deux flacons distincts, deux gaz supposés se comporter comme des gaz parfaits : de l'hélium et de l'argon. Les conditions sont les suivantes :

- hélium He (masse molaire $M_1 = 4,00 \text{ g.mol}^{-1}$) : $P_1 = 1,00 \text{ bar}$; $V_1 = 4,00 \text{ L}$; $T_1 = 300 \text{ K}$

- argon Ar (masse molaire $M_2 = 39,9 \text{ g.mol}^{-1}$) : $P_2 = 2,00 \text{ bar}$; $V_2 = 1,50 \text{ L}$; $T_2 = 450 \text{ K}$.

On donne $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$. L'air est considéré comme un gaz parfait de masse molaire $M_{\text{air}} = 29,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

1) Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits, en précisant le nom et l'unité des grandeurs mises en jeu.

Rappeler les 2 hypothèses sur lesquelles repose le modèle des gaz parfaits.

2) Déterminer la quantité de matière de chaque gaz dans chacun des deux récipients.

On transfère le contenu des deux flacons dans un récipient de volume $V_3 = 10,0 \text{ L}$. Les deux gaz se mélangent alors et on mesure une pression $P_3 = 1,00 \text{ bar}$.

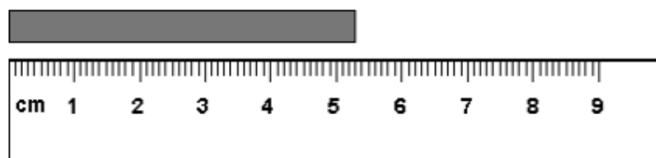
3) Déterminer la valeur de la température du mélange gazeux.

4) Calculer la masse molaire du mélange obtenu.

5) En déduire la densité du mélange gazeux.

3^{ème} partie : Utilisation d'une règle graduée

Les laborantins du labo de physique commandent des petites barres métalliques en vue d'un TP. De façon à connaître leur longueur L « exacte », un technicien les mesure à l'aide d'une règle graduée à $0,1 \text{ cm}$ (schéma ci-dessous). Les extrémités de la barre métallique se trouvent en regard des graduations « 0 » et « 5,3 ».



Vous trouverez les informations utiles à l'évaluation des incertitudes-type en Annexe 1

1) Déterminer la valeur de l'incertitude-type liée à la lecture d'une graduation.

2) Le constructeur de la règle indique de plus une tolérance de $5,0 \%$.

En déduire la valeur de l'incertitude-type d'étalonnage de la mesure effectuée, puis de l'incertitude type globale sur la mesure de L .

3) Donner l'écriture finale du résultat de la mesure de L effectué.

Le technicien recommence ensuite plusieurs fois la mesure. Il obtient les résultats suivants :

$L = 5,2 \text{ cm}$: 3 fois

$L = 5,3 \text{ cm}$: 5 fois

$L = 5,4 \text{ cm}$: 2 fois.

4) Cette série de mesure permet-elle une évaluation de l'incertitude-type sur L de type A ou de type B ?

5) Déterminer la valeur de la moyenne des mesures réalisées, puis de l'incertitude type associée.

6) Le fournisseur des barres métalliques donne comme descriptif technique : $L = (5,30 \pm 0,012) \text{ cm}$. La série de mesures réalisée par le technicien du labo est-elle compatible avec cette indication ?

4^{ème} partie : Chauffage au butane

Le butane est un gaz principalement utilisé comme combustible à usage domestique pour des gazinières, des chauffe-eau ou encore des chauffages d'appoint (poêles au gaz). On le conditionne souvent en bouteille contenant 13,0 kg de butane pour un volume interne $V = 30,6$ L.



Données : Tous les gaz sont supposés se comporter comme des gaz parfaits
 Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
 Masse molaire du butane (C_4H_{10}) : $M = 58,0 \text{ g.mol}^{-1}$
 Point triple du butane caractérisé par : $\theta_T = -139^\circ\text{C}$; $P_T = 7,00.10^{-6} \text{ bar}$
 Point critique du butane caractérisé par : $\theta_C = 152^\circ\text{C}$; $P_C = 38,0 \text{ bar}$
 Pression de vapeur saturante du butane à 25°C : $P_{\text{sat}} = 2,50 \text{ bar}$
 Masse volumique du butane liquide à 25°C : $\rho_\ell = 0,573 \text{ kg.dm}^{-3}$
 Pouvoir calorifique du butane (énergie fournie lors de sa combustion) : $12,7 \text{ kWh.kg}^{-1}$.

- 1) Représenter l'**allure** du diagramme (P, T) du butane en indiquant les zones d'existence du solide, du liquide et de la vapeur ainsi que le fluide supercritique.
- 2) Placer les points triple et critique sur le diagramme précédent en précisant leur définition.
- 3) Représenter l'**allure** du réseau d'isothermes d'Andrews dans le système de coordonnées (P, v) , v représentant le volume massique du butane, en indiquant les zones d'existence du liquide, de la vapeur et du fluide supercritique, ainsi que la courbe de saturation. On représentera en particulier l'allure de l'isotherme à 25°C .
- 4) Déterminer le volume massique v_V , en $\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$, de la vapeur juste saturante du butane à 25°C .
- 5) Même question pour le volume massique v_L du liquide juste saturant, à cette même température.
- 6) Montrer qu'à 25°C , le butane est partiellement liquéfié dans la bouteille. Préciser la pression à l'intérieur de la bouteille ainsi que la fraction massique du liquide.
- 7) Déterminer le volume de la bouteille qu'il faudrait utiliser pour que le butane soit totalement gazeux à cette température.
- 8) On utilise une telle bouteille de butane pour alimenter un poêle à gaz de puissance $P = 3,40 \text{ kW}$.
 Déterminer l'autonomie (durée de fonctionnement) du poêle dans ces conditions d'utilisation (en supposant la combustion du butane totale, avec un rendement de 100 %).

ANNEXE 1

Évaluation de type A de l'incertitude – type

Pour une série de N mesures supposées indépendantes, on peut définir les grandeurs suivantes :

Valeur moyenne	Écart-type	Incertainde-type
$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	$u_A(x) = \frac{s}{\sqrt{N}}$

Évaluation de type B de l'incertitude – type

- Incertainde-type due à la lecture d'une graduation, en notant p le pas de lecture = valeur entre deux graduations :

$$u_B = \frac{p}{2\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2} \text{ graduation}}{\sqrt{3}}$$

- Incertainde-type d'étalonnage fournie par le constructeur, en notant a la tolérance du matériel :

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

- Cumul des incertaindes-types au cours de la mesure d'une grandeur unique

$$u_B = \sqrt{u_{B,1}^2 + u_{B,2}^2 + \dots}$$

- Propagation des incertaindes-types dans l'évaluation d'une grandeur X calculée

Relation	Incertainde	Relation	Incertainde
$X = Y + Z$ ou $X = Y - Z$	$u(X) = \sqrt{u(Y)^2 + u(Z)^2}$	$X = \frac{Y}{Z}$ ou $X = Y \cdot Z$	$\frac{u(X)}{X} = \sqrt{\left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2}$
$X = \lambda \cdot Y$ (λ constante)	$u(X) = \lambda \cdot u(Y)$	$X = aY + bZ$	$u(X) = \sqrt{a^2(u(Y))^2 + b^2(u(Z))^2}$
		$X = kY^a Z^b$	$\frac{u(X)}{ X } = \sqrt{a^2 \left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + b^2 \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2}$

Écart normalisé ou « z-score »

Pour comparer une valeur mesurée x_{mes} à une valeur de référence $x_{\text{réf}}$ ou pour évaluer la compatibilité entre 2 valeurs mesurées, on peut calculer l'**écart normalisé** ou « **z – score** » qui est calculé par le quotient suivant :

$$z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{\sqrt{u^2(x_{\text{mes}}) + u^2(x_{\text{réf}})}}$$

On admet le critère suivant :

– Si **z > 2**, il y a **incompatibilité** : la mesure est jugée incompatible avec la valeur de référence (ou les deux valeurs mesurées incompatibles entre elles)

– Si **z < 2**, il y a **compatibilité** : la mesure est jugée compatible avec la valeur de référence (ou les deux valeurs mesurées compatibles).

CHIMIE (9 h 30 – 11 h)

1^{ère} partie : Boissons et caféine



Selon la légende, le café fut remarqué pour la première fois quelques 850 ans avant notre ère : un berger du Yémen nota que ses brebis étaient dans un état d'excitation inhabituel lorsqu'elles consommaient les baies d'un arbre des montagnes... On considère que c'est la caféine contenue dans les grains de ces baies qui était responsable de cette excitation.



A) La caféine dans le coca-cola

Les boissons type coca-cola contiennent de la caféine, de formule $C_8H_{10}N_4O_2$. Chaque canette de 330 mL en contient une masse $m = 35,0$ mg.

Données : Masse molaire des atomes en $g \cdot mol^{-1}$: H : 1,00 ; C : 12,0 ; N : 14,0 ; O : 16,0.

- 1) Calculer la quantité de matière de caféine présente dans une canette.
- 2) En déduire la concentration molaire C et la concentration massique c de la caféine dans la canette.
- 3) Quel volume V_1 d'un café présentant une concentration en caféine $C_1 = 6,20 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ apporterait la même quantité de matière de caféine qu'une canette de cola ?
- 4) Par quel facteur de dilution faudrait-il diluer ce café pour que sa concentration en caféine soit la même que celle de la canette de coca ?

B) Dosage de la caféine par spectrophotométrie

Plus la teneur en caféine d'une tasse de café est importante, plus l'excitation du consommateur sera grande. Le but de cette partie est de déterminer la concentration en caféine dans une tasse de café, pour déterminer si M Hilleriteau sera suffisamment réveillé pour corriger vos copies.

On commence par réaliser une courbe d'étalonnage. Pour ce faire, on extrait la caféine de feuilles de thé et, avec la caféine purifiée, on prépare des solutions de caféine de différentes concentrations : ($4,0 \text{ mg} \cdot L^{-1}$, $8,0 \text{ mg} \cdot L^{-1}$, $12 \text{ mg} \cdot L^{-1}$, $16 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ et $25 \text{ mg} \cdot L^{-1}$). À l'aide d'un spectrophotomètre, on mesure ensuite l'absorbance de ces solutions.

On a tracé (cf. **Figure 1** ci-contre) le spectre d'absorption de la caféine entre 220 nm et 320 nm pour une des solutions de caféine.

5) À quel domaine du spectre appartiennent ces longueurs d'onde ? Peut-on en déduire la couleur des solutions de caféine ?

6) Quelle longueur d'onde vous paraît la plus appropriée pour mesurer l'absorbance d'une solution de caféine ? Pourquoi ?

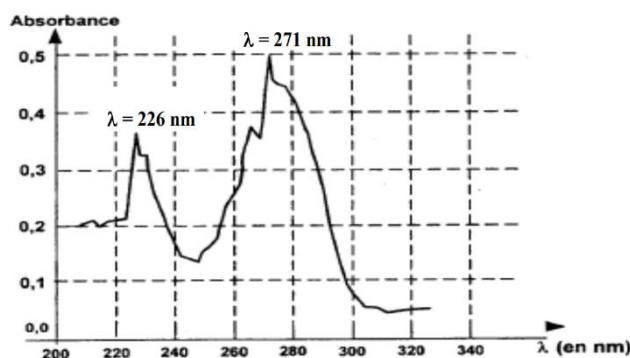


Figure 1

Après avoir correctement réglé le spectrophotomètre, on mesure les absorbances des différentes solutions de caféine préparées : on obtient alors la droite d'étalonnage représentée à la **Figure 2**.

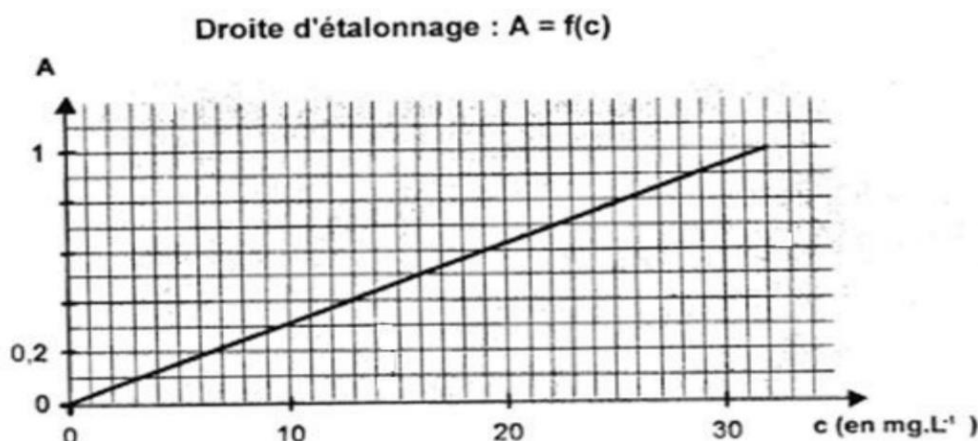


Figure 2

- 7) Rappeler la loi de Beer-Lambert en précisant le nom et les unités utilisées *ici* pour les grandeurs impliquées.
- 8) Interpréter l'allure de la courbe d'étalonnage.
- 9) Déterminer graphiquement la valeur de la pente p de la droite d'étalonnage.

Avec les mêmes réglages du spectrophotomètre, on mesure l'absorbance d'un espresso de M Hilleriteau, **dilué 50 fois** ; on mesure $A = 0,53$.

- 10) Déterminer la concentration massique en caféine du café de M Hilleriteau.
- 11) Sachant que l'Agence européenne pour la sécurité des aliments (EFSA) préconise pour un adulte un apport maximal journalier de caféine de 5 mg par kilo de poids corporel, estimer le nombre d'espresso que M Hilleriteau peut ingurgiter par jour sans mettre en péril sa santé (pour traiter cette question, on estimera de façon réaliste la masse de M Hilleriteau, et le volume de ses tasses d'espresso....)

En tout état de cause, M Hilleriteau consomme beaucoup trop de café, et sa santé (au moins mentale) est déjà gravement atteinte...

2^{ème} partie : Étude d'un équilibre acido-basique par conductimétrie

On dispose d'une solution aqueuse d'acide méthanoïque HCOOH , notée (S_1), de volume V et de concentration molaire $C_1 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Dans l'eau, l'acide méthanoïque se dissocie en sa base conjuguée, l'ion méthanoate HCOO^- , ainsi qu'en ion oxonium H_3O^+ .

La mesure de la conductivité de la solution à l'équilibre à 298 K donne $\sigma_{\text{eq}} = 51,0 \text{ mS.m}^{-1}$.

On donne les conductivités ioniques molaires : $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = \lambda_1 = 35,0 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$

$$\lambda(\text{HCOO}^-) = \lambda_2 = 5,46 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

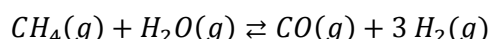
- 1) Écrire l'équation-bilan de la réaction de l'acide méthanoïque avec l'eau.
- 2) Dresser un tableau d'avancement en concentrations, en notant x l'avancement en mol.L^{-1} .
- 3) Rappeler l'expression de la loi de Kohlraush.
- 4) En utilisant la valeur de la conductivité de la solution (S_1), déterminer la valeur de l'avancement volumique à l'équilibre x_{eq} , en mol.L^{-1} .
- 5) En déduire les valeurs des concentrations des différents solutés à l'équilibre ainsi que la valeur du taux d'avancement τ_{eq} de la réaction à l'équilibre.
- 6) Exprimer la constante d'équilibre K° de la réaction en fonction de C_1 , de x_{eq} et de la concentration standard C° . En déduire la valeur de la constante d'équilibre K° à 298 K.

On dispose d'une autre solution d'acide méthanoïque (solution (S_2), de concentration $C_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$)

- 7) En utilisant la valeur de K° calculée précédemment (si vous n'avez pas traité la question 6), vous pouvez prendre $K^\circ = 10^{-4}$, déterminer la nouvelle valeur de l'avancement à l'équilibre x'_{eq} dans le cas de la solution (S_2).

3^{ème} partie : Synthèse du dihydrogène

Un mode de préparation industrielle du dihydrogène met en jeu la réaction suivante en phase gazeuse :



La réaction se déroule dans une enceinte de volume $V = 100 \text{ L}$ et à température fixée $T = 450 \text{ K}$.

A l'équilibre, on obtient une pression totale $P_{\text{eq}} = 10,0 \text{ bar}$.

Les gaz seront supposés parfaits avec $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Initialement, le système ne contient que 10,0 moles de méthane et 10,0 moles d'eau (aucun produit initialement présent).

- 1) Rappeler l'expression de l'activité pour un constituant gazeux.
- 2) Exprimer le quotient de réaction Q_r en fonction des pressions partielles des constituants et de la pression standard P° , puis en fonction des quantités de matière des différentes espèces, de la quantité de matière totale gazeuse, de la pression totale P et de la pression standard P° . On simplifiera au mieux les expressions.
- 3) Déduire de la pression totale à l'équilibre la valeur de l'avancement molaire à l'équilibre ξ_{eq} .
- 4) En déduire la valeur de la constante d'équilibre K° à 450 K.

4^{ème} partie : Acide fluorhydrique commercial

Dans la série Breaking Bad, le « héros » utilise une solution concentrée d'acide fluorhydrique pour dissoudre un cadavre gênant. Sur le flacon d'acide fluorhydrique concentré sont portées les indications suivantes :

- densité : $d = 1,13$
- pourcentage en masse d'acide pur : 48,0 %
- masse molaire moléculaire de HF : $20,0 \text{ g.mol}^{-1}$



1. Donner la valeur de la masse volumique de la solution d'acide fluorhydrique commercial en kg.L^{-1} et en kg.m^{-3} ?
2. Déterminer la concentration molaire de la solution concentrée d'acide fluorhydrique ?
3. Quel volume de fluorure d'hydrogène HF gazeux (supposé être un gaz parfait), pris sous la pression standard à 25°C , faut-il dissoudre dans de l'eau pure pour obtenir un volume $V = 5,00 \text{ L}$ de cette solution ?

Remarque : manque de ~~chance~~ connaissances en chimie, Jesse Pinkman dissout son cadavre dans une baignoire en céramique, ce qui dissout la baignoire, puis le parquet qui est en dessous... entraînant de légers désagréments. Pour pallier à cela, l'acide fluorhydrique est conservé dans des flacons en plastique et non en verre...



Au moins Jesse Pinkman porte des gants et un masque de sécurité, et fume son joint **après** avoir manipulé l'acide fluorhydrique...
