

DS n° 1

samedi 21 septembre 2024

MPSI1 & 2 – 2024/2025

Consignes

- ▷ L'usage de la calculatrice est **autorisé**.
- ▷ Répondez aux exercices que vous pensez savoir traiter en premier. Signalez clairement lorsque vous changez d'exercice. Prenez le temps de bien lire les questions. Les cinq exercices sont indépendants.
- ▷ La notation sera particulièrement sensible à la précision et à la clarté des arguments. En particulier, et sauf si la question le demande explicitement, **les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte**.
- ▷ **La qualité de la rédaction et le soin** entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. La réponse à une question prend la forme d'une **formule littérale encadrée** ou soulignée. L'application numérique (avec la bonne unité et le bon nombre de chiffres significatifs) doit être réalisée ensuite.
- ▷ Bon courage !

1 Dimensions et unités

1. Les formules suivantes sont-elles homogènes ?

(a) La résistance équivalente pour trois résistances en parallèle :

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

(b) Pour une particule de masse m et de vitesse v , on associe la longueur d'onde de de Broglie :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

h est la constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

2. On donne l'expression de la force universelle de gravitation F entre deux corps de masse m_1 et m_2 , séparées de la distance r :

$$F = \mathcal{G} \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Quelle est la période de révolution T_0 de la Lune autour de la Terre, de masse M_T ?

$$\text{a) } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\mathcal{G} M_T}{d_{T-L}}} \quad \text{b) } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\mathcal{G} M_T}{d_{T-L}^3}} \quad \text{c) } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{d_{T-L}^3}{\mathcal{G} M_T}}$$

d_{T-L} désigne la distance Terre-Lune.

2 Formation de monoxyde de carbone

On étudie la formation de monoxyde de carbone $\text{CO}_{(\text{g})}$ à partir de carbone solide et de dioxyde de carbone.

1. Écrire la réaction.

2. Exprimer le quotient réactionnel en fonction des pressions partielles p_{CO} , p_{CO_2} , et p° .
3. La constante de réaction est $K^\circ = 1,32 \times 10^{-2}$ à $T = 819 \text{ K}$. Dans un récipient de $22,4 \text{ L}$, on introduit $0,100 \text{ mol}$ de carbone et $1,00 \text{ mol}$ de CO_2 .
 - (a) Déterminer le quotient réactionnel à l'état initial. Dans quel sens la réaction évolue-t-elle ?
 - (b) Dresser le tableau d'avancement de la réaction.
 - (c) Exprimer p_{CO} , p_{CO_2} et P en fonction de R , T , V et ξ .
 - (d) En déduire la composition du système à l'équilibre ainsi que la pression.

On donne $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

3 Brûlures d'estomac

Les brûlures d'estomac sont des sensations de douleur qui peuvent intervenir après un repas. Celles-ci sont liées à une trop grande acidité du milieu gastrique : on ressent des brûlures d'estomac lorsque le pH de l'estomac est de l'ordre de 3. Des médicaments permettent d'apaiser ces douleurs en diminuant l'acidité de l'estomac : ils sont constitués d'espèces chimiques basiques qui vont réagir avec les espèces acides de l'estomac pour augmenter le pH. On s'intéresse à l'un de ces médicaments, le Maalox®. La notice de ce médicament donne les informations suivantes :

Que contient MAALOX MAUX D'ESTOMAC, comprimé à croquer ?

Les substances actives sont :

Hydroxyde de magnésium.....	400 mg
Hydroxyde d'aluminium.....	400 mg

pour un comprimé à croquer.

Les autres composants sont :

Mannitol, sucre glace (amylacé à 3%), sorbitol, saccharine sodique, arôme de menthe en poudre*, stéarate de magnésium, saccharose.

***Composition de l'arôme :**

limonène, menthone, isomenthone, acétate de menthyle, néo-menthone, menthol.

On modélise une personne à la limite de la brûlure d'estomac de la façon suivante :

- l'estomac est assimilé à un réacteur chimique fermé, de volume constant $V = 1,0 \text{ L}$.
- Le contenant de l'estomac est modélisé par une solution aqueuse d'acide chlorhydrique $(\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}, \text{Cl}^-_{(\text{aq})})$ de pH égal à 3,0.

Afin de simplifier l'action du médicament, on ne prend en compte que l'effet de l'hydroxyde d'aluminium. Lorsque la personne prend le médicament, on considère donc qu'il introduit une masse $m_1 = 400 \text{ mg}$ d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ dans son estomac. On cherche à étudier l'impact qu'aura la prise du médicament sur le pH de son estomac et donc sur sa sensation de brûlure.

L'hydroxyde d'aluminium est un solide dont l'équation de dissolution dans l'eau est :



Les ions HO^- formés par la dissolution de $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ réagissent avec les ions $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ présents dans l'estomac, selon la réaction :



1. Écrire l'expression de la constante d'équilibre K_1 en fonction des concentrations des espèces en solution à l'équilibre chimique.
2. Calculer le quotient réactionnel à l'instant initial, lorsque le solide est introduit dans l'estomac. En déduire le sens d'évolution spontané de cette réaction.

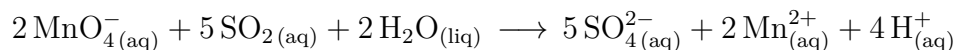
- Écrire l'équation globale de réaction du $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ avec les ions $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ présents dans l'estomac. On note sa constante d'équilibre K_3 .
- Exprimer sa constante d'équilibre K_3 à partir de K_1 et K_2 . Montrer que $K_3 = 1,9 \times 10^9$.
- Calculer les quantités de matière initiales n_0 de H_3O^+ et n_1 de $\text{Al}(\text{OH})_3$. On donne $M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et on rappelle que $\text{pH} = -\log\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^\circ}\right)$.
- Réaliser un tableau d'avancement de la réaction. Un tableau d'avancement volumique est-il ici réellement pertinent ?
- Quel est le réactif limitant ?
- Quelle approximation est-t-il possible de faire pour calculer les concentrations à l'état final de Al^{3+} , de H_3O^+ , de HO^- ? En déduire ces concentrations.
- En déduire le pH à l'état final. Conclure sur l'efficacité du médicament.
- Dans le cas de brûlures d'estomac plus sévères, le pH peut atteindre une valeur de l'ordre de 1. Quel est alors le réactif limitant dans la réaction précédente ? L'équilibre chimique est-il atteint à la fin de la réaction ? Justifier la réponse. Comment peut-on alors qualifier la réaction ?

4 Dosage du dioxyde de soufre

Données : $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{S}) = 32,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Le dioxyde de soufre SO_2 , est un gaz présent dans l'air pollué. Lorsque la concentration massique en dioxyde de soufre dépasse $500 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, la population est alertée.

Lorsque l'on fait barboter un grand volume d'air dans un litre d'eau, le dioxyde de soufre se dissout en totalité dans l'eau. Il est alors possible, par la suite, de le titrer en solution à l'aide d'une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+_{(\text{aq})}$; $\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})}$). La réaction :



est support de ce titrage. L'ion permanganate est la seule espèce colorée, d'un violet intense.

La solution titrée est obtenue en faisant barboter $1,00 \times 10^4 \text{ m}^3$ d'air pollué dans un volume $V = 1,00 \text{ L}$ d'eau. On titre un volume $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de cette solution par une solution de permanganate de potassium de concentration $c_2 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La coloration violette persiste à partir d'un volume de solution de permanganate versé $V_2 = 7,0 \text{ mL}$.

- Faire un schéma du titrage.
- Définir l'équivalence de la réaction. Justifier que le volume V_2 est le volume à l'équivalence.
- Établir une relation entre la quantité de matière n_1 de dioxyde de soufre titré en fonction de V_2 et c_2 . On justifiera proprement à l'aide d'un tableau d'avancement.
- En déduire la quantité de matière de dioxyde de soufre n contenue dans les $1,00 \times 10^4 \text{ m}^3$ d'air pollué.
- Doit-on alerter la population dans ce cas ?

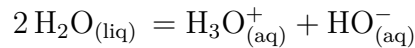
5 Réaction équilibrée et réactions acido-basique

Cet exercice vise à faire le lien entre la notion nouvelle de réaction équilibrée, et la notion d'acidité. Aucun prérequis hors du cours n'est nécessaire si ce n'est la formule du pH :

$$\text{pH} = -\log\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^\circ}\right)$$

5.1 Eau pure

On considère de l'eau pure, siège de la réaction d'autoprotolyse de l'eau de constante d'équilibre $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$ à 298 K :



1. Pourquoi précise-t-on à 298 K ?

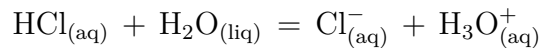
On constate que la réaction décrite se produit systématiquement dans l'eau pure, celle-ci ne pourra donc pas rester pure et va contenir des ions oxonium et hydroxydes.

2. Calculer le pH de l'eau pure (on ne considère que la réaction d'autoprotolyse). Pourquoi parle-t-on de solution neutre lorsque son pH est égal à 7 ?

On néglige totalement dans la suite de l'exercice l'existence de l'autoprotolyse de l'eau (et tous ses effets).

5.2 Solution d'acide fort

On étudie une solution de 1,0 L contenant initialement 0,10 mol d'acide chlorhydrique (HCl). Cet acide réagit avec l'eau suivant la réaction :

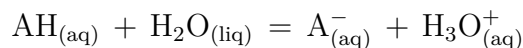


de constante d'équilibre $K_1 = 1,0 \times 10^6$.

3. Que vaut le quotient de réaction initial ? En déduire le sens initial de la réaction.
4. Calculer le plus rapidement possible l'avancement de cette réaction, puis le pH de la solution.

5.3 Solution d'acide faible

On étudie une solution de 1,0 L contenant initialement $1,0 \times 10^{-7}$ mol d'acide éthanóïque (CH_3COOH , que l'on note AH dans la suite pour simplifier). Cet acide réagit avec l'eau suivant la réaction :



de constante d'équilibre $K_1 = 1,75 \times 10^{-5}$.

6. Calculer la concentration initiale en acide éthanóïque C , de la solution.
7. Quelle hypothèse peut on faire *a priori* concernant l'avancement de cette réaction ?
8. Dans le cadre de cette approximation, exprimer l'avancement volumique à l'équilibre puis exprimer littéralement le pH de la solution en fonction de K_2 et C . En faire l'application numérique. Que peut-on dire ?
9. On cherche désormais à vérifier la pertinence de l'approximation faite : faire le calcul exact (sans hypothèse) de l'avancement volumique puis du pH. Conclure.