

DS n° 4 — Sujet 1

Physique - chimie

L'usage de la calculatrice et de tout dispositif électronique est interdit

- laisser un espace en début de copie pour la note et les commentaires ;
- laisser une marge à chaque page pour les commentaires et décompte des points ;
- respecter et indiquer la numérotation des questions ;
- souligner ou encadrer les résultats.

Partie I : la physique, spa difficile... (Mines PSI physique I 2024)

La pandémie de COVID-19 a profondément changé la consommation de loisirs des français. N'étant pas sûrs de pouvoir voyager ou que les campings et plages soient accessibles, nombreux sont ceux qui ont cherché à se procurer du bien-être dans leur propre habitation en achetant une piscine ou un spa gonflable. Dans ce problème plusieurs aspects de l'utilisation du spa sont abordés, de la première installation au stockage hivernal.



FIGURE I-1 – Photographie du spa étudié

Les applications numériques comporteront deux chiffres significatifs. Les données nécessaires à ces applications numériques et certaines définitions habituelles sont rassemblées en fin d'énoncé. Elles sont complétées par un formulaire. Les vecteurs sont généralement notés avec des flèches \vec{v} de norme v et sont surmontés d'un chapeau s'ils sont unitaires (\hat{u}_x).

1 — Gonflage

Le manuel d'utilisation fournit quelques données numériques :

Hauteur du spa gonflé sans couverture	$H = 1,0 \text{ m}$
Hauteur d'eau	$h_e = 3/4 \text{ m} = 75 \text{ cm}$
Diamètre intérieur	$d_{\text{int}} = \sqrt{2} \text{ m} = 1,4 \text{ m}$
Diamètre extérieur	$d_{\text{ext}} = 2,0 \text{ m}$
Temps de gonflage	$t_g = 10 \text{ min}$
Seuil d'ouverture de la valve de surpression	$\delta p = 0,1 \text{ bar}$

L'enveloppe du spa se gonfle d'air, considéré comme un gaz parfait, grâce à une pompe contenue dans l'unité de contrôle. On considère que l'enveloppe prend sa forme définitive sans pli dès que la pression intérieure à l'enveloppe atteint la pression de l'air extérieur supposée égale à 1 bar. On ne prendra pas en compte l'épaisseur du tapis de fond en plastique du spa.

1. Quel est le débit volumique moyen D_p de la pompe en litres par seconde ?
2. Une fois gonflé en un temps t_g , le volume du spa reste constant. Si l'utilisateur oublie d'arrêter la pompe, au bout de combien de temps la valve de surpression s'ouvre-t-elle ? On supposera ici que la température de l'air dans l'enveloppe reste constante.
3. Le spa est gonflé en t_g un matin à 15 °C . En supposant que la pression extérieure et que le volume de l'enveloppe du spa restent constants au cours de la journée mais que la température extérieure peut augmenter, à partir de quelle température la valve de surpression s'ouvre-t-elle ?

2 — Utilisation du spa

1 Pertes calorifiques

L'eau du spa est chauffée à $T_{\text{int}} = 38\text{ °C}$ et le système de chauffage est arrêté. Le spa est installé sur la pelouse du jardin, que l'on assimile à une épaisseur $e_h = 5\text{ mm}$ d'herbe tassée sous l'effet du poids. On suppose le sol et l'air extérieur à $T_{\text{ext}} = 25\text{ °C}$. La température de l'eau variant très lentement, on se place en régime quasi stationnaire. Toutes les parties en contact avec l'air sont sièges d'échange conducto-convectif de coefficient h_a . On rappelle que la puissance s'écrit dans ce cas $\mathcal{P} = h_a S \Delta T$, où S est la surface d'échange et ΔT l'écart de température sur cette surface. On néglige l'épaisseur de l'enveloppe en plastique du spa.

4. Définir la notion de résistance thermique.

Exprimer, en fonction des variables du problème, la résistance thermique de conduction des parois verticales du spa notée R_p (on se placera en symétrie cylindrique), ainsi que celle, notée R_t , du « tapis » d'herbe sous l'installation.

Les valeurs numériques avec un seul chiffre significatif de ces deux quantités sont respectivement $R_p = 3\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$ et $R_t = 5 \times 10^{-2}\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$. On donne aussi celle de la résistance thermique due aux échanges convectifs entre l'eau et la paroi verticale du spa $R_{pc} = 6 \times 10^{-2}\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.

5. Montrer que l'écart de température est de la forme $T_{\text{int}}(t) - T_{\text{ext}} = (T_{\text{int}}(0) - T_{\text{ext}}) e^{-t/\tau}$ et calculer le temps caractéristique τ dont on commentera la valeur.

Pour minimiser les pertes calorifiques et donc la consommation d'énergie, le manuel préconise de couvrir le spa à l'aide de sa couverture lorsque personne ne l'utilise, ainsi que de l'installer sur une toile de sol constituée d'un tapis de bulles d'air d'épaisseur $e_t = 5\text{ mm}$. Pour simplifier, on considère que la couverture du spa est gonflée d'air et qu'elle vient combler exactement l'espace entre la surface de l'eau et le haut du spa. Elle est donc d'une épaisseur constante $e_s = 25\text{ cm}$ et elle recouvre l'intégralité du spa.

6. Estimer le gain obtenu sur le temps caractéristique en installant la toile de sol et la couverture.

7. La toile de sol et la couverture étant installées, quelle puissance faudrait-il fournir pour maintenir constante la température de l'eau du spa?

2 Module de commande : maintien en température

L'unité de contrôle a besoin de mesurer la température pour assurer certaines fonctions comme son maintien automatique à une certaine valeur. Le principe est d'allumer et d'éteindre le module de chauffage avec des interrupteurs commandés.

La température de l'eau est mesurée à l'aide d'une thermistance. On peut modéliser ce composant par un cylindre métallique de section S , de longueur L , de conductivité électrique σ et dont la résistance électrique R_{el} dépend de sa température.

8. Sans prendre en compte les effets de la température, en négligeant les effets de bords et en régime permanent, montrer que la résistance de ce cylindre serait $R_{\text{el}} = L/(\sigma S)$.

Afin d'interpréter la dépendance de la résistance avec la température, on adopte le modèle de Drude qui consiste à appliquer la théorie cinétique des gaz aux électrons libres dans le métal. Ces derniers subissent des collisions aléatoires avec les ions beaucoup plus lourds et considérés immobiles.

Dans le modèle de Drude, chaque électron de vitesse \vec{v} est soumis d'une part à la force due au champ électrique \vec{E} supposé constant qui apparaît en appliquant une différence de potentiel aux extrémités du métal, et d'autre part, à une force de type frottement fluide $\vec{F}_d = -m\vec{v}/\tau_d$. Cette dernière permet de modéliser macroscopiquement l'effet d'un très grand nombre de collisions microscopiques aléatoires de moyenne nulle.

9. Montrer que la vitesse d'un électron est constante au bout d'un temps grand devant τ_d . En déduire une expression de la conductivité électrique en fonction de m , e , τ_d et de la densité volumique n_e d'électron dans le métal.

10. En notant \vec{v}_0 la vitesse d'un électron juste après une collision à l'instant t_0 , comment s'exprime sa vitesse \vec{v} juste avant la collision suivant δt plus tard?

En moyennant le résultat sur un très grand nombre de collisions, proposer une interprétation physique pour τ_d .

En déduire que la résistance du métal augmente lorsque sa température augmente.

Dans la suite, on notera $R_{th} = R_0[1 + \alpha(T - T_{ref})]$ la résistance de la thermistance en cuivre à la température T , avec $\alpha = 4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ et $T_{ref} = 20 \text{ °C}$.

On s'intéresse au mode « maintien de température » de l'unité de contrôle, utilisé lorsque l'eau du spa a déjà été chauffée à la température souhaitée T_{max} . Ce mode maintient la température dans l'intervalle $[T_{min}, T_{max}]$, où $T_{min} = T_{max} - 2 \text{ °C}$. On a donc besoin de deux interrupteurs commandés en température. Un montage possible pour un interrupteur est donné sur la figure I-2, où les deux générateurs de tension constante V_0 sont identiques. L'amplificateur linéaire intégré (ALI) idéal fonctionne ici en saturation : il n'a que deux tensions de sorties possibles $\pm V_{sat}$, ce qui permet de commander la fonction ON/OFF d'un interrupteur.

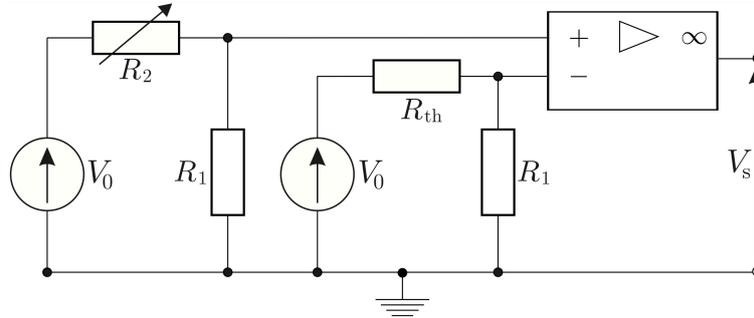


FIGURE I-2 – Interrupteur à amplificateur linéaire

11. Pour quelle valeur T_c de la température, l'interrupteur (caractérisé par V_s) change-t-il d'état? On exprimera T_c en fonction de R_2 , R_0 et α .

On suppose R_0 et α parfaitement déterminés. Quelle précision relative est nécessaire sur R_2 pour régler la température au degré près?

12. Expliquer comment organiser deux interrupteurs commandés qui permettent de maintenir la température dans l'intervalle $[T_{min}, T_{max}]$.

3 Brassage de l'eau

Nous cherchons à modéliser dans cette partie la façon dont les bulles d'air produites au fond du spa permettent de brasser l'eau qu'il contient et de générer ainsi une sensation de relaxation à son utilisateur.

13. En faisant l'hypothèse que la température des bulles d'air est constante, quelle est la variation de volume relative d'une bulle due à la pression hydrostatique?

En déduire que le volume V_b d'une bulle peut être considéré constant au cours de sa remontée vers la surface.

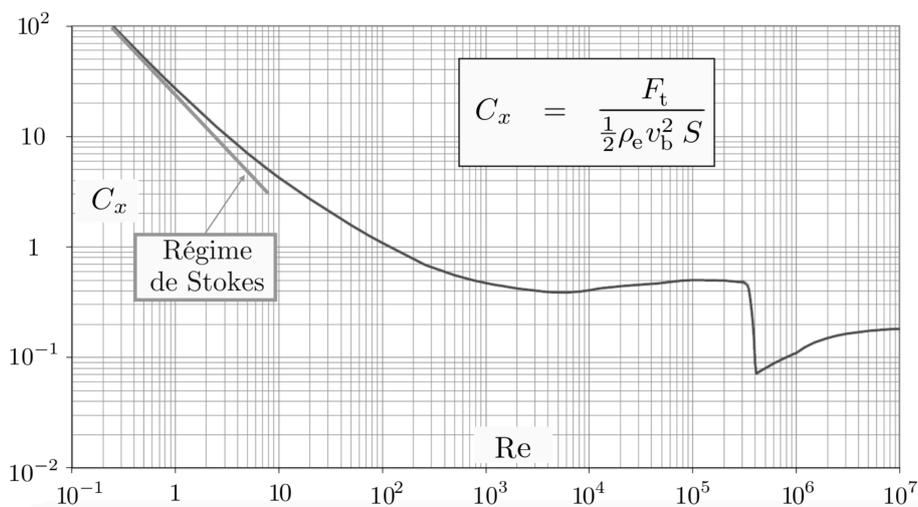


FIGURE I-3 – Coefficient de traînée (C_x) en fonction du nombre de Reynolds pour une bulle de section S dans la direction de l'écoulement, subissant une traînée F_t et se déplaçant à une vitesse de module v_b dans de l'eau de masse volumique ρ_e .

On note R le rayon d'une bulle qui, lors de sa remontée à la vitesse de module v_b , subit une force de traînée \vec{F}_t de module F_t . Sur la figure I-3, on définit le coefficient de traînée C_x et on trace sa représentation graphique en

fonction du nombre de Reynolds $\mathcal{R}e$. On précise que pour des faibles valeurs du nombre de Reynolds (régime de Stokes), la courbe peut être approximée par $C_x = 24/\mathcal{R}e$.

14. On considère une bulle de taille caractéristique $R \approx 1$ mm remontant à une vitesse de l'ordre de quelques dizaines de centimètres à un mètre par seconde. Estimer le nombre de Reynolds correspondant. Comment s'exprime la force de trainée dans ce régime?

15. En supposant que la bulle est lâchée sans vitesse initiale au fond du spa, exprimer sa vitesse sous la forme $v_b(t) = v_1 f(t/\tau_b)$ où f est une fonction trigonométrique hyperbolique et dans laquelle on exprimera la vitesse v_1 en fonction de ρ_e, ρ_a, g , et C_x et la durée τ_b en fonction de v_1, ρ_a, ρ_e et g .

Comment s'interprètent v_1 et τ_b ?

Numériquement, on trouve $v_1 = 21 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\tau_b = 25 \mu\text{s}$. Commenter l'adéquation du modèle avec ces valeurs.

On se place dans la situation dans laquelle une bulle d'air ne subit plus aucune accélération. Le référentiel lié à cette bulle est donc galiléen. Dans un modèle simple on ne considère pas les variations dues à la pression hydrostatique et on cherche à montrer que la pression et le volume de la bulle ne sont constants qu'en moyenne, et que c'est leur variation sur une échelle de temps courte qui permet de transférer de l'énergie à l'eau qui l'entoure.

On ne considère pas non plus les interactions entre les bulles : on étudie une seule bulle fixe, de rayon $R(t)$ variable, entourée d'eau jusqu'à l'infini (la taille du spa est très grande devant celle d'une bulle). On néglige également les effets dus à la viscosité de l'eau ainsi que ceux dus à la diffusion thermique par rapport aux termes de pression interne. On suppose que le rayon de la bulle varie peu : on note $R(t) = R_0 + \varepsilon(t)$ avec $|\varepsilon(t)| \ll R_0$, R_0 étant le rayon de la bulle si $P_a = P_0$, où $P_0 = 1$ bar est la pression atmosphérique et P_a celle à l'intérieur de la bulle.

16. En supposant l'écoulement de l'eau autour de la bulle incompressible, déterminer l'expression de la vitesse $\vec{v}(r, t)$ d'un point quelconque M situé dans l'eau, à une distance r du centre de la bulle et au voisinage de sa surface, en fonction notamment de $\frac{dR(t)}{dt}$.

La conservation de l'impulsion autour de la bulle permet d'établir la relation

$$\rho_e \left(\frac{\partial v(r, t)}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial v^2(r, t)}{\partial r} \right) = - \frac{\partial P(r, t)}{\partial r}.$$

17. En déduire qu'à l'ordre le plus bas en ε on peut écrire

$$\frac{\partial P(r, t)}{\partial r} = - \frac{\beta}{r^2} \frac{d^2 \varepsilon(t)}{dt^2}.$$

On exprimera β en fonction de ρ_e et R_0 .

À partir de cette relation, obtenir une expression de la pression $P_a(t)$ à l'intérieur de la bulle en supposant que la pression dans l'eau loin de la bulle est égale à P_0 .

18. En considérant que la bulle évolue de façon isentropique, obtenir une autre relation entre $P_a(t)$ et $\varepsilon(t)$.

19. Montrer alors que le rayon de la bulle oscille et calculer la fréquence correspondante. On prendra $R_0 = 1$ mm. En estimant le temps caractéristique de diffusion thermique dans la bulle, montrer que l'hypothèse d'évolution isentropique est cohérente.

20. Estimer l'énergie cinétique moyenne associée à ces oscillations.

Conclure sur le brassage de l'eau provoqué par les bulles du spa.

À toutes fins utiles...

Données physiques

- Masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Charge de l'électron : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Constante molaire des gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

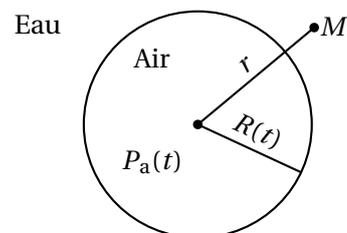


FIGURE I-4 – Modèle pour la bulle

Pour l'eau considérée dans le sujet, on prendra

- Masse volumique : $\rho_e = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Capacité thermique massique : $c_e = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Viscosité dynamique (supposée indépendante de la température) : $\eta_e = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Pour l'air considéré dans le sujet, on prendra

- Conductivité thermique : $\lambda_a = 2,5 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Coefficient d'échange conducto-convectif : $h_a = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- Masse volumique : $\rho_a = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Coefficient adiabatique : $\gamma_a = 1,4$
- Capacité thermique massique à volume constante : $c_a = 7,1 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Pour l'herbe considérée dans le sujet, on prendra

- Conductivité thermique : $\lambda_h = 3,5 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Formulaire

- Pour les fractions de cercles, on prendra $\frac{\pi}{3} = 1,0$; $\frac{\pi}{4} = 0,8$ et $\frac{\pi}{5} = 0,6$.

- On rappelle que

$$\int \frac{dx}{1-x^2} = \operatorname{arctanh}(x) + \text{cte}$$

- La divergence d'un vecteur \vec{A} dont les coordonnées sont $(A_r, A_\theta, A_\varphi)$ dans la base $(\hat{e}_r, \hat{e}_\theta, \hat{e}_\varphi)$ des coordonnées sphériques s'écrit

$$\operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 A_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta A_\theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi}$$

Partie II : freinage d'une chute libre... (Mines PSI physique II 2024)

Une vidéo de vulgarisation du MIT montre une expérience décrite ainsi : « Un aimant est abandonné le long d'un tube en cuivre et y subit une force résistive. La chute de l'aimant induit un courant dans le tube de cuivre et, du fait de la loi de Lenz, ce courant crée un champ magnétique qui s'oppose aux variations du champ dues à la chute de l'aimant. Ce dernier est ainsi repoussé et tombe plus lentement. »

On étudie la chute libre d'une bille d'acier (sans propriété magnétique significative), sphérique, de rayon $r = 1$ cm et de masse $m = 33$ g, à l'intérieur d'un tube de cuivre de hauteur $h = 20$ cm. On note g l'accélération de la pesanteur.

1. Dans le cas où on néglige tous les frottements, exprimer puis calculer la durée Δt_h de traversée du tube sans vitesse initiale ainsi que la vitesse de chute v_m .

La chute est en fait ralentie par le frottement de l'air dans le tube, qu'on modélisera comme une force de traînée aérodynamique de norme

$$F = \frac{1}{2} C_x \rho S_{\perp} v^2$$

où $v = \|\vec{v}\|$ est la vitesse de chute, C_x le coefficient de traînée (sans dimension, supposé constant pendant la chute), ρ la masse volumique de l'air et S_{\perp} la section droite de la bille, donc ici l'aire d'un disque de rayon r .

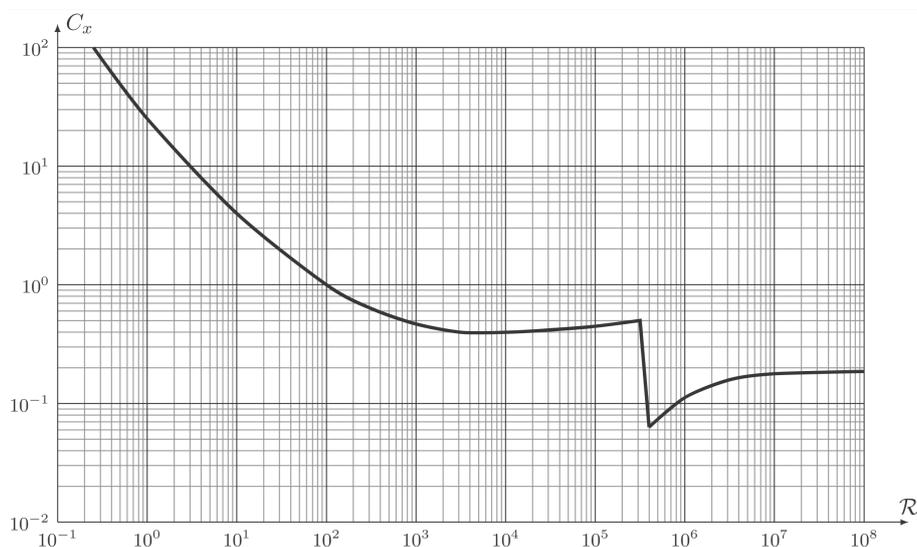


FIGURE I-5 – Coefficient de traînée d'une sphère lisse dans l'air

2. Montrer que la vitesse de chute est régie par l'équation

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v_{\infty}^2 - v^2}{v_{\infty} \tau}.$$

Interpréter les constantes v_{∞} et τ , et exprimer v_{∞}/τ et $v_{\infty}\tau$.

3. En admettant que les frottements restent un terme correctif modeste pendant la chute, déduire de v_m une estimation du nombre de Reynolds qui caractérise l'écoulement de l'air autour de la bille lors de la chute de celle-ci.

4. Le coefficient de traînée C_x pour une sphère lisse dépend du nombre de Reynolds comme le montre la figure I-5. Estimer les ordres de grandeur de C_x puis de τ .

5. Les frottements aérodynamiques permettent-ils de rendre compte d'un temps de chute Δt_h de l'ordre de 4 secondes pour un tube de 20 cm de haut? Conclure.

Données

Accélération de la pesanteur au sol : $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Masse volumique de l'air au sol : $\rho_0 = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Viscosité dynamique de l'air : $\eta_a = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

1 Étude préliminaire de diagrammes E -pH superposés

La figure III-1 représente plusieurs diagrammes E -pH superposés :

- le diagramme E -pH de l'élément manganèse, représenté en ligne pleine, est limité aux espèces chimiques suivantes : Mn(s) , $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Mn}^{3+}(\text{aq})$, $\text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s})$ et $\text{Mn}(\text{OH})_3(\text{s})$;
- le diagramme E -pH simplifié de l'élément iode, représenté en tirets, est limité aux espèces chimiques suivantes : $\text{I}_2(\text{aq})$, $\text{IO}_3^-(\text{aq})$ et $\text{I}^-(\text{aq})$;
- le diagramme E -pH de l'eau est tracé en pointillés.

Pour les diagrammes E -pH des éléments manganèse et iode, la convention de tracé utilisée est la suivante : sur une frontière, seules les deux formes du couples oxydant-réducteur sont considérées et chaque espèce dissoute contenant le manganèse (ou l'iode) a une concentration de valeur égale à $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

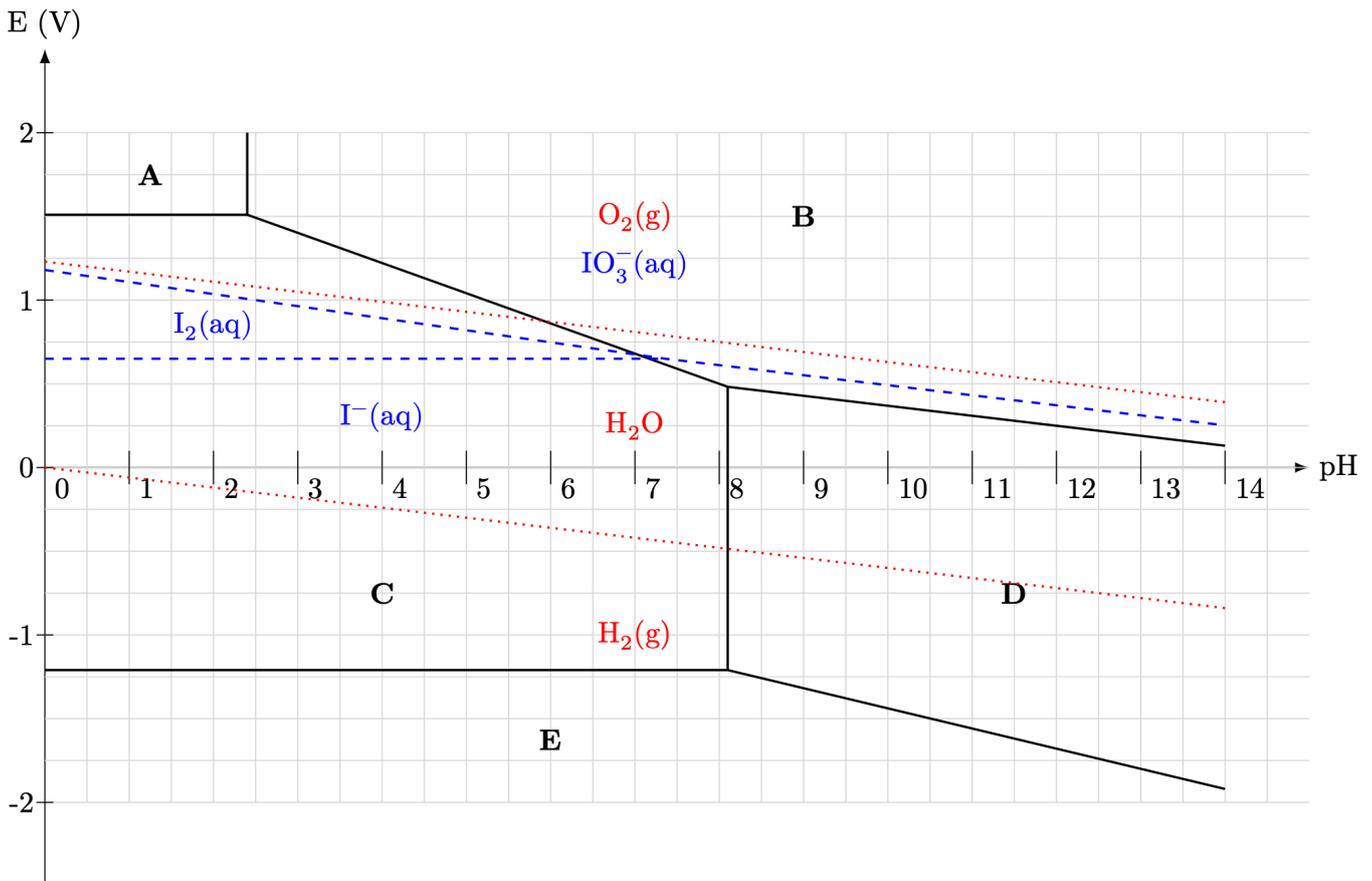


FIGURE III-1 – Diagrammes E -pH simplifiés de l'élément manganèse (en ligne pleine), de l'élément iode (en tirets) et de l'eau (en pointillés)

1. Pour chacun des deux couples oxydant-réducteur de l'eau, préciser quelle espèce chimique est l'oxydant et quelle est le réducteur.
2. Déterminer le nombre d'oxydation de l'élément manganèse dans l'hydroxyde de manganèse (II) $\text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s})$ et de l'élément iode dans l'ion iodate $\text{IO}_3^-(\text{aq})$.
3. Attribuer, en justifiant la réponse, les différents domaines du diagramme E -pH de l'élément manganèse, repérés par les lettres **A**, **B**, **C**, **D** et **E** (voir figure III-1), aux différentes espèces considérées contenant l'élément manganèse.
4. En utilisant les diagrammes E -pH de la figure III-1, identifier quelles sont les espèces, contenant l'élément manganèse, stables dans l'eau en présence de dioxygène dissous.

2 Dosage du dioxygène dissous dans l'eau par la méthode de Winkler

Pour déterminer la concentration en dioxygène dissous dans l'eau, on utilise la méthode de Winkler dont le protocole est décrit ci-après :

Protocole

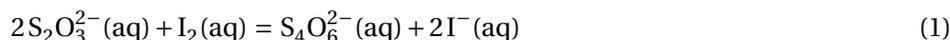
Étape 1 : placer 2,1 g de chlorure de manganèse (II), de la soude en excès sous forme de pastilles solides et un barreau aimanté dans un erlenmeyer de 250 mL. Dans un grand cristalliseur, remplir l'erlenmeyer à ras bord avec l'eau à analyser (le cristalliseur permet de prévenir tout débordement de la solution). Boucher rapidement l'erlenmeyer et éviter de maintenir de l'air à l'intérieur.

Étape 2 : agiter jusqu'à dissolution complète des réactifs et attendre environ trente minutes. On observe un précipité brun.

Étape 3 : peser 3 g d'iodure de potassium? Verser le contenu de l'erlenmeyer dans un grand bécher contenant de l'acide sulfurique concentré et ajouter très rapidement les 3 g d'iodure de potassium (l'ajout d'acide sulfurique permet de ramener le pH de la solution à une valeur voisine de 1). Homogénéiser et agiter jusqu'à disparition totale du précipité brun et persistance d'une couleur jaune limpide.

Étape 4 : prélever un volume $V_0 = 50$ mL de la solution et la doser avec une solution de thiosulfate de sodium de concentration $c_1 = 5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Un indicateur coloré indique la fin du dosage.

5. Expliquer pourquoi il est nécessaire de se placer initialement (étapes 1 et 2 du protocole) en milieu fortement basique. On pourra justifier la réponse en prenant appui sur les diagrammes E -pH du la figure III-1.
6. Identifier la nature du précipité brun formé et écrire l'équation qui modélise sa formation (étape 2 du protocole). Proposer une explication à la nécessité d'attendre trente minutes.
7. Écrire les équations qui modélisent les transformations chimiques qui interviennent lors du passage en milieu acide et de l'ajout d'iodure de potassium (étape 3 du protocole). On pourra justifier la réponse en prenant appui sur les diagrammes E -pH du la figure III-1.
8. Expliquer pourquoi l'iodure de potassium est ajouté en large excès.
9. L'équation de la réaction support du titrage qui intervient lors de l'étape 4 est la suivante :



En déduire l'expression de la concentration $c(\text{O}_2)$ en dioxygène dissous dans l'eau analysée, exprimée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, en fonction de c_1 , V_1 et V_0 , où V_1 désigne le volume de solution de thiosulfate de sodium versé à l'équivalence et $V_0 = 50$ mL le volume prélevé au début de l'étape 4 du protocole.

10. Exprimer, en micromoles par kilogramme d'eau, la valeur de la concentration $c(\text{O}_2)$ dans le cas où $V_1 = 8,3$ mL.

Données

Couples oxydant-réducteur et potentiel standard à 298 K pour pH = 0 :

Couple oxydant-réducteur	Valeur du potentiel standard
$\text{Mn}^{3+}(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	1,51 V
$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}$	1,23 V
$\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$	0,62 V
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$	0,08 V

Masses molaires

Espèce	Valeur de la masse molaire
Soude (NaOH)	$40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Chlorure de manganèse (II)	$126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Dioxygène (O_2)	$32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Iodure de potassium (KI)	$166 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$