

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE · CHAPITRE 8



R. RINGUET · 2026 – 2027

Approfondissement Piles

Capacité massique des métaux, état final d'une pile usée, pile de concentration, pile à combustible, résistance interne, problème ouvert

6 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Établir littéralement une capacité massique et l'exploiter pour comparer des couples utilisés dans les piles commerciales.
- Déterminer l'état final d'une pile usée à l'aide de la constante d'équilibre et discuter la validité d'un résultat numérique extrême.
- Transposer le critère d'évolution spontanée à des dispositifs inhabituels (pile de concentration, pile à combustible) et résoudre un problème ouvert de bilan énergétique.

Exercice 1 Pourquoi le lithium ?

●●●

On appelle *capacité massique* q d'un métal la quantité d'électricité qu'il peut faire circuler par unité de masse lorsqu'il est intégralement oxydé en ion M^{n+} .

■ **DONNÉES** $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$ • M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: Li 6,94; Na 23,0; Mg 24,3; Al 27,0; Zn 65,4; Pb 207,2

- 1.1** Établir l'expression littérale de q en fonction de n , de F et de la masse molaire M du métal. Vérifier l'homogénéité et donner l'unité de q en $\text{C} \cdot \text{g}^{-1}$, puis montrer que q exprimée en $\text{A} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$ vaut $\frac{1000 n F}{3600 M}$.
- 1.2** Recopier et compléter le tableau ci-dessous (deux chiffres significatifs pour la dernière ligne).

métal	Li	Na	Mg	Al	Zn	Pb
ion formé	Li^+	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}
$q (\text{A} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1})$	...	...	...	...	...	...

- 1.3** Classer ces métaux par capacité massique décroissante. Quel est l'intérêt du lithium pour les appareils portables ? Pourquoi la batterie (accumulateur) au plomb reste-t-elle utilisée dans les automobiles ?
- 1.4** Le lithium et le sodium appartiennent au bloc s : ils réagissent violemment avec l'eau. Quelle conséquence cela a-t-il sur la conception d'une pile au lithium ? Écrire l'équation de la réaction du lithium avec l'eau (couples Li^+/Li et $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$).
- 1.5** Calculer la masse minimale de métal nécessaire pour réaliser une pile de capacité $2,0 \text{ A} \cdot \text{h}$, d'abord au lithium, puis au zinc. Commenter.

Exercice 2 Jusqu'où va une pile Daniell ?

●●●

Une pile Daniell est constituée de deux demi-piles de volume $V = 100,0 \text{ mL}$ chacune, contenant respectivement une solution de sulfate de zinc et une solution de sulfate de cuivre(II), toutes deux de concentration $c = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; les lames de zinc et de cuivre ont une masse de $5,00 \text{ g}$ chacune. L'équation de fonctionnement s'écrit $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$, de constante d'équilibre $K = 2,0 \times 10^{37}$ à 25°C .

■ **DONNÉES** $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$ • $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: Zn 65,4; Cu 63,5 • $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; activité d'un soluté $[X]/c^\circ$, activité d'un solide ou d'un solvant 1

- 2.1** Calculer $Q_{r,i}$ et prévoir le sens de fonctionnement. Identifier le pôle — et le réactif limitant.
- 2.2** On note x l'avancement de la transformation, en mol. Exprimer $[\text{Zn}^{2+}]$ et $[\text{Cu}^{2+}]$ en fonction de x , puis Q_r .

- 2.3** La pile cesse de débiter lorsque le système atteint l'équilibre. Montrer que la quantité de matière d'ions cuivre(II) restante u vérifie $u = \frac{3,0 \times 10^{-2} \text{ mol} - u}{K}$, puis calculer u et en déduire $[\text{Cu}^{2+}]$ dans l'état final.
- 2.4** Calculer le nombre d'ions cuivre(II) qui subsisteraient alors dans la demi-pile. Que penser de ce résultat ? Quelle conclusion physique faut-il en tirer sur le taux d'avancement final de la transformation ?
- 2.5** Calculer la capacité de la pile en C et en A·h, la masse de cuivre déposée et la masse de zinc consommée. Vérifier que la lame de zinc suffit.
- 2.6** En pratique, la tension aux bornes de la pile s'effondre bien avant que la concentration en ions cuivre(II) n'atteigne la valeur calculée à la question 2.3. Proposer deux explications.

Exercice 3 Une pile faite de deux fois la même chose



Hors programme — pour aller plus loin. Deux béchers contiennent chacun $V = 100,0 \text{ mL}$ de solution de sulfate de cuivre(II) et une lame de cuivre : dans le bécher A, $[\text{Cu}^{2+}]_A = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; dans le bécher B, $[\text{Cu}^{2+}]_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Un pont salin relie les deux béchers et un voltmètre, branché entre les deux lames, indique une tension à vide de 59 mV : cette *pile de concentration* fonctionne pourtant avec un seul couple oxydant/réducteur. La transformation susceptible de se produire est $\text{Cu(s)}_A + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})_B \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq})_A + \text{Cu(s)}_B$.

■ **DONNÉES** $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; activité d'un soluté $[X]/c^\circ$, activité d'un solide ou d'un solvant 1

- 3.1** Écrire l'expression du quotient de réaction associé à cette équation. En remarquant que, lorsque le système n'évolue plus, les deux demi-piles sont rigoureusement identiques, justifier que la constante d'équilibre vaut $K = 1$.
- 3.2** Calculer $Q_{r,i}$, en déduire le sens d'évolution spontanée, puis la polarité de chaque lame et les réactions aux électrodes. Laquelle des deux lames s'use ?
- 3.3** Déterminer la quantité de matière d'ions cuivre(II) transférée lorsque la pile cesse de débiter, ainsi que la concentration commune finale.
- 3.4** En déduire la capacité de cette pile, en C, et sa durée de fonctionnement sous $I = 5,0 \text{ mA}$. Que vaut alors la tension à ses bornes ? Justifier.
- 3.5** Comment faudrait-il modifier les concentrations initiales pour augmenter la capacité de cette pile sans changer les volumes ? Justifier à l'aide de la question 3.3.

Exercice 4 La pile à combustible d'un autobus



Hors programme — pour aller plus loin. Une pile à combustible n'utilise pas ses électrodes : elle est alimentée en continu par du dihydrogène et par le dioxygène de l'air. En milieu acide, les deux transformations aux électrodes sont $\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ et $\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$. Un autobus utilise un ensemble de $N = 400$ cellules identiques associées en série, chacune délivrant une tension $U = 0,70 \text{ V}$ lorsque l'ensemble est traversé par un courant $I = 100 \text{ A}$.

■ **DONNÉES** $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$ • $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ • M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: H 1,0 ; O 16,0

- 4.1** Écrire l'équation de fonctionnement d'une cellule et indiquer la polarité de l'électrode alimentée en dihydrogène. Pourquoi dit-on que, contrairement à une pile ordinaire, ce dispositif ne s'use pas ?
- 4.2** Calculer la tension aux bornes de l'ensemble, puis la puissance électrique fournie.
- 4.3** Montrer que le débit de dihydrogène consommé par l'ensemble vaut $D = \frac{NI}{2F}$, puis le calculer en $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$, en $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ et en $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ de gaz.
- 4.4** Le réservoir contient 30 kg de dihydrogène. Calculer l'autonomie de l'autobus dans ces conditions, en heures, puis la masse d'eau rejetée pendant cette durée.
- 4.5** Une batterie lithium-ion de capacité $300 \text{ A} \cdot \text{h}$ sous 400 V pèse 600 kg . Comparer l'énergie qu'elle stocke à celle fournie par le réservoir de dihydrogène de la question 4.4 et commenter en une phrase l'intérêt de la pile à combustible pour un véhicule lourd.

Exercice 5 Pourquoi la tension d'une pile diminue quand elle débite



Une pile alcaline neuve est branchée sur une résistance variable ; pour chaque valeur du courant débité I , on mesure la tension U entre ses bornes (figure 1). On rappelle qu'une source réelle de tension est modélisée par $U = E - r I$, où E est sa force électromotrice et r sa résistance interne.

- 5.1 Justifier, à partir de la figure 1, que ce modèle convient. Déterminer graphiquement E et r en détaillant la méthode et en précisant les unités.
- 5.2 Quel lien existe-t-il entre E et la tension à vide de la pile ? Quelle mesure permet d'obtenir E directement ?
- 5.3 Calculer la tension aux bornes de la pile et la puissance qu'elle fournit au circuit extérieur lorsqu'elle débite $I = 0,50 \text{ A}$, puis la puissance dissipée à l'intérieur de la pile. Quelle proportion de la puissance totale est-elle perdue ?
- 5.4 Calculer l'intensité du courant de court-circuit de cette pile. Pourquoi ne faut-il jamais relier directement les deux bornes d'une pile par un fil ?
- 5.5 Lorsque la pile s'use, sa résistance interne augmente fortement tandis que E varie peu. Expliquer pourquoi un appareil exigeant un courant important (un jouet à moteur) cesse de fonctionner bien avant une horloge, avec la même pile.

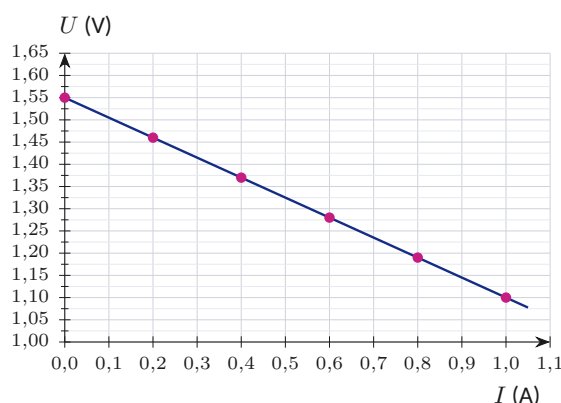


Figure 1 — Tension aux bornes de la pile en fonction du courant débité

Exercice 6 Problème ouvert : recharger un téléphone avec des piles



Un fabricant propose un boîtier de secours qui recharge un téléphone portable à partir de piles alcalines AA jetables. Un client souhaite savoir ce que cette solution représente réellement.

■ **DONNÉES** Batterie du téléphone : « 3,7 V — 4 000 mA·h » • pile alcaline AA : 1,5 V, 2,0 A·h, masse 23 g, prix 0,80 €, contenant 4,3 g de zinc • rendement du convertisseur électronique du boîtier : 70 % • énergie électrique fournie par un générateur de tension U ayant fait circuler une quantité d'électricité Q : $W = U Q$ • prix de l'électricité du secteur : 0,25 € par kW·h • 1 A·h = 3 600 C.

Combien de piles faut-il pour une recharge complète, quelle masse, quel coût et quelle masse de zinc jetée cela représente-t-il, et comment cela se compare-t-il à une recharge sur le secteur ? Répondre par un raisonnement quantitatif complet en énergie, en précisant clairement les hypothèses faites, puis conclure en quelques lignes sur l'intérêt économique et écologique d'un tel boîtier.