

# Lycée Baimbridge, MP 2025-2026

*30 mars 2026*

## Physique Chimie

### DS 6 Chimie

*Durée : 1 heure 30 minutes*

*Calculatrice **interdite***

*Le sujet est constitué de cinq parties indépendantes.*

*Les réponses doivent systématiquement être justifiées (sauf mention explicite du contraire). La clarté de la rédaction et la justesse du raisonnement mené seront valorisées, même si la tentative de réponse n'est pas aboutie ou si la réponse obtenue à la fin de la question est incorrecte.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur de sujet, merci de l'indiquer clairement sur votre copie, et de poursuivre votre composition en expliquant les initiatives que vous êtes amené-e à prendre.*

# Autour du Strontium

Le strontium (symbole chimique Sr) est l'élément situé à la 5ème ligne et 2ème colonne de la classification périodique des éléments (classification comportant dix-huit colonnes numérotées de 1 à 18). On trouve le strontium dans des minerais comme la strontianite,  $\text{SrCO}_3(\text{s})$ , mais également sous forme soluble dans l'eau de mer. Sydney Ringer a montré, il y a plus de cent ans, que le strontium se substituait au calcium dans les os et provoquait des troubles osseux. Des chercheurs ont récemment utilisé l'isotope 90 du strontium comme source d'énergie dans une pile.

## 1 Structure électronique

- 1 – Indiquer la position du calcium dans la classification périodique. Pourquoi le strontium peut-il se substituer au calcium dans les os ?
- 2 – Le strontium est généralement présent sous forme d'ions  $\text{Sr}^{2+}$ . Expliquer.
- 3 – La strontianite est la forme naturelle du carbonate de strontium  $\text{SrCO}_3$ . Donner un schéma de Lewis de l'ion carbonate.

## 2 Cristallographie

Le fluorure de strontium 90 a été utilisé en Russie comme vecteur de radioisotopes dans des générateurs thermoélectriques. Le fluorure de strontium cristallise dans une structure de type fluorine : les cations  $\text{Sr}^{2+}$  occupent un réseau cubique à faces centrées (CFC), les anions  $\text{F}^-$  occupant tous les sites tétraédriques.

- 4 – Pourquoi les sites tétraédriques sont-ils tous occupés ?
- 5 – Dessiner la maille en perspective ou en utilisant une projection cotée ; indiquer la coordinence entre ions de charge opposée.
- 6 – Le paramètre de maille vaut  $a = 576$  pm, le rayon ionique de l'anion fluorure,  $R = 132$  pm. Déterminer la valeur  $r$  du rayon ionique de l'ion strontium.

## 3 Cinétique

Le strontium 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) est l'isotope du strontium dont le noyau est constitué de 52 neutrons. Il se transforme en yttrium 90 par désintégration  $\beta^-$  (réaction d'ordre 1) avec une demi-vie de 30 ans : un de ses neutrons se transforme en un proton et un électron est libéré et s'échappe de l'atome. C'est un sous-produit de fission nucléaire que l'on trouve dans les retombées radioactives et qui présente de sérieux problèmes de santé du fait de son absorption par l'organisme où il se substitue au calcium des os, ce qui empêche son élimination. La catastrophe nucléaire de Tchernobyl en 1986 a contaminé de très

vastes zones au  $^{90}\text{Sr}$  : environ 8000 TBq de  $^{90}\text{Sr}$  ont été rejetés dans l'atmosphère. 1 Bq correspond à une désintégration par seconde.

□ 7 – Écrire l'équation de désintégration associée et donner l'expression de la vitesse de réaction en fonction de la quantité de matière en  $^{90}\text{Sr}$ .

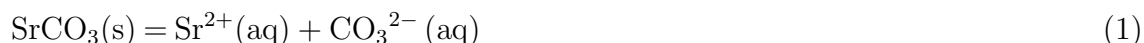
□ 8 – Déterminer la constante de vitesse  $k$  de la réaction en fonction du temps de demi-vie. Au bout de combien de temps l'activité sera-t-elle égale à celle du corps humain, c'est-à-dire 8000 Bq ?

## 4 Thermodynamique du carbonate de strontium

Le carbonate de strontium ( $\text{SrCO}_3$ ) est pratiquement insoluble dans l'eau, mais sa solubilité s'accroît significativement si l'eau est saturée en dioxyde de carbone. On suppose dans la suite que  $\text{CO}_2(\text{aq})$  est équivalent à  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ .

□ 9 – Etablir le diagramme de prédominance des espèces du carbone :  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$  ;  $\text{HCO}_3^-$  ;  $\text{CO}_3^{2-}$  en fonction du pH de la solution.

Le carbonate de strontium  $\text{SrCO}_3$  peut se décomposer selon l'équation :



□ 10 – Montrer que la constante de cette réaction vaut  $K_s = 7.6 \cdot 10^{-10}$  à 298 K.

□ 11 – Quelle est la solubilité  $s$  du carbonate de strontium dans l'eau pure ?

□ 12 – Dans quel sens évolue la solubilité si on augmente la température ? Justifier à l'aide de la relation de Van't Hoff.

On dissout du carbonate de strontium jusqu'à saturation dans une solution aqueuse où barbote du gaz carbonique sous une pression fixe en dioxyde de carbone de 1.0 bar.

□ 13 – Quelle est la concentration en  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$  ?

Les ions carbonates susceptibles de se former par dissolution du carbonate de strontium réagissent avec  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$  et sont transformés en ions  $\text{HCO}_3^-$ . L'équation de dissolution du carbonate de strontium dans un tel milieu s'écrit alors :



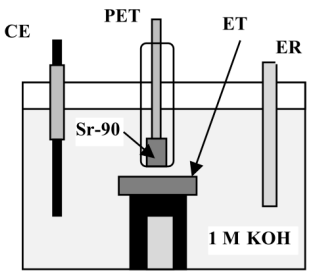
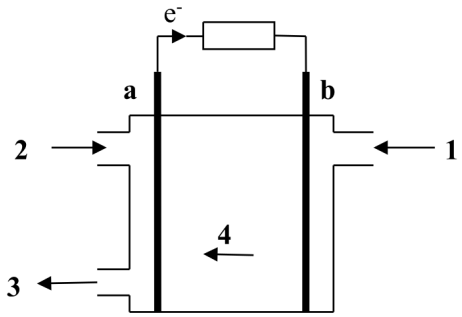
□ 14 – Exprimer la constante  $K'$  de cet équilibre en fonction de  $K_s$ . Quelle est la relation entre  $K'$  et la solubilité  $s'$  du carbonate de strontium dans cette solution ?

□ 15 – Calculer cette solubilité  $s'$ . Commenter.

## 5 Une batterie nucléaire à base d'eau

Des chercheurs de l'Université du Missouri ont concentré leurs recherches sur l'isotope 90 du strontium, qui permet de stimuler l'énergie électrochimique dans une solution à base d'eau. La batterie, équipée d'une électrode de dioxyde de titane nanostructuré et d'un revêtement de platine, peut ainsi recueillir et convertir efficacement l'énergie en électrons. Ces appareils sont prometteurs pour des applications spatiales, des dispositifs marins éloignés, etc.

"L'eau agit comme un tampon et la surface de plasmons créée dans le dispositif s'est avérée être très utile pour en augmenter l'efficacité", écrit Jae W. Kwon dans la recherche publiée par la revue scientifique Nature<sup>1</sup>.

	
<p><i>PET : polyethylene terephthalate (film plastique)</i>  <i>Document 1 : vue schématique du dispositif</i></p>	<p><i>Document 2 : schéma de principe d'une pile AFC</i></p>

□ **16** – Expliquer à partir du document 1 comment tracer expérimentalement des courbes intensité-potential à la surface de l'électrode désignée par ET, proposer une signification pour les électrodes désignées par CE et ER.

Il y a une cinquantaine d'années les piles à combustibles alcalines (pile AFC, document 2) ont été développées pour les programmes spatiaux. Par réaction entre du dioxygène gazeux et du dihydrogène gazeux en milieu alcalin ( $\text{pH} = 14$ ), on produit de l'eau et un courant électrique. Cette pile a un rendement de 50%. On suppose que  $P(\text{O}_2) = P(\text{H}_2) = 1 \text{ bar}$  et que la pile est utilisée à une température de  $25^\circ\text{C}$ .

□ **17** – Déterminer, les réactions à l'anode et à la cathode ainsi que l'équation globale de fonctionnement de la pile.

□ **18** – Nommer les espèces chimiques 1 à 4 et affecter les termes d'anode et de cathode aux électrodes a et b du document 2.

<sup>1</sup>Baek Hyun Kim, Jae W.Kwon, *Plasmon-assisted radiolytic energy conversion in aqueous solutions*, Nature 11/06/2014

□ 19 – Calculer les potentiels à pH=14 de chacune des électrodes. Quelle est la valeur de la force électromotrice théorique de la pile ? Pourquoi est-elle en réalité plus faible ?

□ 20 – Donner l'allure des courbes intensité-potential décrivant cette pile, en précisant les valeurs des potentiels caractéristiques. Faire apparaître le potentiel mixte  $E_{\text{mix}}$  obtenu lorsque la pile débite dans un fil.

□ 21 – Quelle est la valeur de la tension à vide ? Commenter.

□ 22 – Une pile lithium-ion utilisée dans un pacemaker délivre un courant d'environ 20  $\mu\text{A}$  et peut fonctionner 8 ans. Quel serait le volume de dioxygène nécessaire pour faire fonctionner la pile à combustible dans les mêmes conditions ?

### Données à 298 K :

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .

Constante de Faraday :  $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$ .

Volume molaire des gaz :  $V_m = 25 \text{ L.mol}^{-1}$ .

Numéro atomique : C : 6 ; O : 8 ; Ca : 20 ; Y : 39.

Constante de Nernst :  $\frac{RT}{F} \ln 10 \approx 0,06V$ .

Equilibre  $\text{CO}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{aq})$  :  $K = 0,024$ .

$P^\circ = 1,00 \text{ bar} = 1,00.10^5 \text{ Pa}$ .

Constantes d'acidité :  $\text{pK}_{a1}(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-) = 6,4$  ;  $\text{pK}_{a2}(\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}) = 10,4$ .

Produits ioniques de l'eau :  $K_e = 10^{-14}$ .

### Grandeurs thermodynamiques

	$\Delta_f H^\circ (\text{kJ.mol}^{-1})$	$S_m^\circ (\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1})$
$\text{Sr}^{2+}(\text{aq})$	-546	-33
$\text{SrCO}_3(\text{s})$ (strontianite)	-1219	97
$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$	-677	-57

Potentiels standard à pH = 0 :

$E^\circ(\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = 1,23 \text{ V}$  ;  $E^\circ(\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})) = 0,00 \text{ V}$ .

Surtensions sur électrode de platine pour les couples de l'eau (en valeur absolue) :

$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  : 0,5 V ;  $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$  : 0,1 V.

$1 \text{ T} = 10^{12}$ .

Approximations numériques:  $\sqrt[3]{50} \approx 3,7$  ;  $\sqrt{2} \approx \frac{10}{7}$  ;  $\sqrt{3} \approx \frac{7}{4}$  ;  $\exp(-21) \approx 7,6.10^{-10}$  ;  $\log X = \frac{\ln X}{2,3}$

