



**ÉCOLE NATIONALE DES PONTS et CHAUSSÉES,
ISAE-SUPAERO, ENSTA PARIS,
TÉLÉCOM PARIS, MINES PARIS,
MINES SAINT-ÉTIENNE, MINES NANCY,
IMT ATLANTIQUE, ENSAE PARIS,
CHIMIE PARISTECH - PSL.**

Concours Mines-Télécom,
Concours Centrale-Supélec (Cycle International).

CONCOURS 2025

ÉPREUVE DE CHIMIE

Durée de l'épreuve : 1 heure 30 minutes

L'usage de la calculatrice ou de tout dispositif électronique est interdit.

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente
sur la première page de la copie :*

CHIMIE - MP

L'énoncé de cette épreuve comporte 4 pages de texte.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les sujets sont la propriété du GIP CCMP. Ils sont publiés sous les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France.

Tout autre usage est soumis à une autorisation préalable du Concours commun Mines Ponts.



Chimie et céramiques

Ce sujet propose d'aborder certaines propriétés des céramiques. Les trois parties du sujet sont totalement indépendantes.

Les données utiles à la résolution du problème et les approximations de calcul sont fournies à la fin de l'énoncé (page 4).

Il existe trois grandes classes de matériaux : les métaux et leurs alliages, les polymères organiques et les céramiques. Ces dernières sont des matériaux minéraux non métalliques qui peuvent être catégorisées en traditionnelles ou techniques. Les céramiques techniques et plus particulièrement les céramiques non-oxydes, telles que le nitre de bore (BN), le carbure ou nitre de silicium (SiC ou Si_3N_4), ou le carbure de zirconium (ZrC) présentent des propriétés physico-chimiques intéressantes pour des applications hautes performances.

Le nitre de bore

Le nitre de bore (BN) peut être obtenu après traitement thermique d'un précurseur nommé le polyborazylène, obtenu par polymérisation d'un monomère cyclique, la borazine, de formule brute $B_3N_3H_6$. Les atomes de bore et d'azote forment de manière alternée un cycle à six chaînons. Le nitre de bore peut cristalliser selon une structure de type blende : les atomes de bore décrivent une structure CFC dont la moitié des sites tétraédriques sont occupés par les atomes d'azote.

- Q1-** Donner le nombre d'électrons de valence des éléments bore, azote et hydrogène.
- Q2-** Dessiner la structure de Lewis de la borazine.
- Q3-** Quelle est la géométrie autour des atomes de bore et d'azote ?
- Q4-** Quel est du bore ou de l'azote l'élément le plus électronégatif ? Justifier votre réponse.
- Q5-** Dessiner la maille du nitre de bore (les atomes de bore seront représentés par un disque et ceux d'azote par une croix). Quelle est la nature des liaisons entre les atomes ?
- Q6-** Déterminer le nombre d'atomes par maille pour chaque élément ainsi que leur coordinence, dont on précisera la définition.
- Q7-** Calculer le paramètre de maille a associé à cette maille, sachant que les atomes de bore et d'azote sont en contact mais pas les atomes de bore entre eux.
- Q8-** Déterminer la masse volumique ρ du nitre de bore.

Le carbure de zirconium

Le carbure de zirconium est une céramique ultraréfractaire, ultradure de formule chimique $ZrC_{(s)}$. Il peut être préparé en utilisant une « voie poudre » à haute température par réaction entre le zirconium $Zr_{(s)}$ et le carbone $C_{(s)}$ via une synthèse autopropagée (self-propagating high-temperature synthesis), mais également par réduction, par le carbone, de la zircone, ou dioxyde de zirconium $ZrO_{2(s)}$ (Schéma 1).

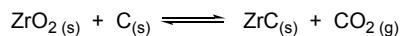
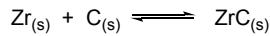
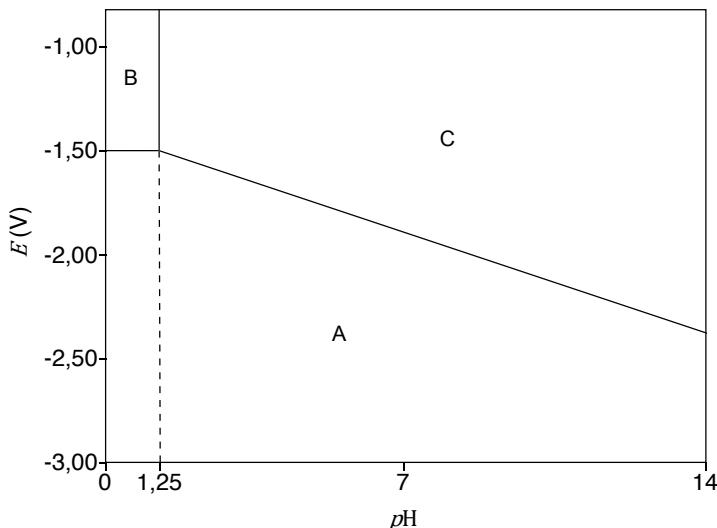


Schéma 1. Voies de synthèse du carbure de zirconium.

Le diagramme potentiel-*pH* du zirconium (*E*-*pH*) a été déterminé en se limitant aux quatre espèces $\text{Zr}_{(\text{s})}$, $\text{ZrO}_{2(\text{s})}$, $\text{Zr}^{4+}_{(\text{aq})}$ et $\text{H}\text{ZrO}_3^-_{(\text{aq})}$ (Figure 1).



Le diagramme a été tracé à 298 K et sous 1 bar en solution aqueuse, en prenant les concentrations des espèces en solution égales à c_0 .

Figure 1. Diagramme *E*-*pH* du zirconium.

Q9- Indiquer le nombre d'oxydation du zirconium dans chacune des quatre espèces $\text{Zr}_{(\text{s})}$, $\text{ZrO}_{2(\text{s})}$, $\text{Zr}^{4+}_{(\text{aq})}$ et $\text{H}\text{ZrO}_3^-_{(\text{aq})}$ (l'oxygène et l'hydrogène sont dans leur état d'oxydation classique dans ces espèces).

Q10- Attribuer, en le justifiant, les différents domaines de prédominance ou d'existence (numérotés de A à C, Figure 1) parmi les différentes espèces considérées.

Q11- Quelle concentration c_0 de tracé a été utilisée pour établir ce diagramme ?

La droite de la frontière entre les domaines A et C a pour équation $E = a + b \cdot \text{pH}$.

Q12- Par le calcul (et non par lecture sur la Figure 1), déterminer la valeur du coefficient b .

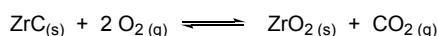
Q13- Quel serait le *pH* associé à la frontière verticale entre les espèces $\text{H}\text{ZrO}_3^-_{(\text{aq})}$ et $\text{ZrO}_{2(\text{s})}$. Conclure sur l'absence d'une des espèces de ce diagramme *E*-*pH*.

Q14- Donner les relations $E = f(\text{pH})$ des couples de l'eau, après avoir indiqué les demi-équations redox correspondantes (les pressions des gaz seront supposés égales à la pression standard P^0).

Q15- Le zirconium $\text{Zr}_{(\text{s})}$ est-il stable en présence d'eau ? Justifier, et écrire le cas échéant toutes les équations de réaction possibles.

Oxydation du carbure de zirconium

Le carbure de zirconium peut être oxydé en présence d'oxygène, selon la réaction suivante :



- Q16-** Indiquer, en le justifiant, le caractère endothermique ou exothermique de la réaction.
- Q17-** Calculer l'entropie standard de réaction et justifier qualitativement son signe.
- Q18-** Calculer l'enthalpie libre standard $\Delta_f G^0$ de réaction à 300 K dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.
- Q19-** Déterminer la valeur de la constante d'équilibre K^0 de la réaction à 300 K. La réaction peut-elle être considérée comme totale ?
- Q20-** Préciser, en justifiant la réponse, le sens de variation de la constante d'équilibre K^0 avec la température.
- Q21-** Quelle est l'influence de la pression sur l'équilibre d'oxydation du carbure de zirconium ? Justifier votre réponse.
- Q22-** Conclure quant aux conditions opératoires optimales pour cette réaction.

Fin de l'épreuve

Annexes

Annexe 1. Constantes usuelles et approximations de calcul.

Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_A \approx 6.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Constante des gaz parfaits : $R \approx 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

On considérera : $\sqrt{2} \approx 10/7$; $\sqrt{3} \approx 7/4$ et $\frac{RT}{F} \times \ln x \approx 0,06 \times \log x$ à 298 K.

Annexe 2. Masses molaires et rayons atomiques.

$$M(H) = 1 : M(B) = 11 : M(N) = 14.$$

$$r_B = 85 \text{ pm} ; r_N = 65 \text{ pm}.$$

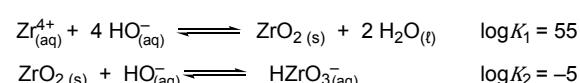
Annexe 3. Potentiels standards d'oxydoréduction à pH = 0 et à 25 °C.

$$\text{Zr}_{(\text{aq})}^{4+}/\text{Zr}_{(\text{s})} : E^{\circ} = -1,44 \text{ V} ;$$

O₂(_α)/H₂O(_ℓ) : $E^o = 1,23$ V ;

$$\text{H}_{(\text{aq})}^+/\text{H}_2(\text{g}) : E^o = 0,00 \text{ V.}$$

Annexe 4 Constantes d'équilibre à 25°C



Annexe 5. Données thermodynamiques (considérées indépendantes de la température).

Spécie	$\text{ZrC}_{(s)}$	$\text{O}_{2(g)}$	$\text{CO}_{2(g)}$	$\text{ZrO}_{2(s)}$
$\Delta_f H^0 \text{ (kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\text{)}$	-200	0	-400	-1100
$S_m^0 \text{ (J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$	30	200	210	50

Annexe 6. Classification périodique.

1 H	2 He
3 Li	4 Be
11 Na	12 Mg
19 K	20 Ca
21 Sc	22 Ti
23 V	24 Cr
25 Mn	26 Fe
27 Co	28 Ni
29 Cu	30 Zn
31 Ga	32 Ge
33 As	34 Se
35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr
39 Y	40 Zr
41 Nb	42 Mo
43 Tc	44 Ru
45 Rh	46 Pd
47 Ag	48 Cd
49 In	50 Sn
51 Sb	52 Te
53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba
57 La	72 Hf
73 Ta	74 W
75 Re	76 Os
77 Ir	78 Pt
79 Au	80 Hg
81 Tl	82 Pb
83 Bi	84 Po
85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra
89 Ac	104 Rf
105 Db	106 Sg
107 Bh	108 Hs
109 Mt	110 Ds
111 Rg	112 Cn
113 Nh	114 Fl
115 Mc	116 Lv
117 Ts	118 Og
119 Uue	58 Ce
	59 Pr
	60 Nd
	61 Pm
	62 Sm
	63 Eu
	64 Gd
	65 Tb
	66 Dy
	67 Ho
	68 Er
	69 Tm
	70 Yb
	71 Lu
	90 Th
	91 Pa
	92 U
	93 Np
	94 Pu
	95 Am
	96 Cm
	97 Bk
	98 Cf
	99 Es
	100 Fm
	101 Md
	102 No
	103 Lr