

Lycée Baimbridge, MP 2025-2026

8 janvier 2026

Physique Chimie

DS 6

Révisions de Chimie

Durée : 1 heure

*Calculatrice **interdite***

Le sujet est constitué de trois parties qui sont largement (mais pas totalement indépendantes).

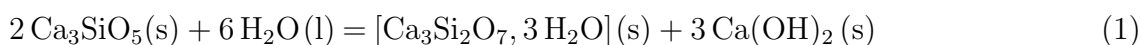
Les réponses doivent systématiquement être justifiées (sauf mention explicite du contraire). La clarté de la rédaction et la justesse du raisonnement mené seront valorisées, même si la tentative de réponse n'est pas aboutie ou si la réponse obtenue à la fin de la question est incorrecte.

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.

Ce problème s'intéresse à l'étude de quelques propriétés physico-chimiques du ciment et des bétons armés. Le clinker est le principal constituant d'un ciment, il est obtenu à partir d'un mélange de 80% de calcaire ($\text{CaCO}_3(\text{s})$) et de 20% d'argile (silicoaluminates). Le ciment est principalement utilisé pour fabriquer le béton qui est un mélange de ciment, sable, granulats et eau. Le béton forme après la "prise" une véritable roche artificielle. La "prise" est le phénomène de durcissement en présence d'eau.

1 Prise d'un béton

Le ciment est modélisé par la seule espèce $\text{Ca}_3\text{SiO}_5(\text{s})$. La réaction à l'origine de la "prise" est volontairement simplifiée sous la forme suivante :



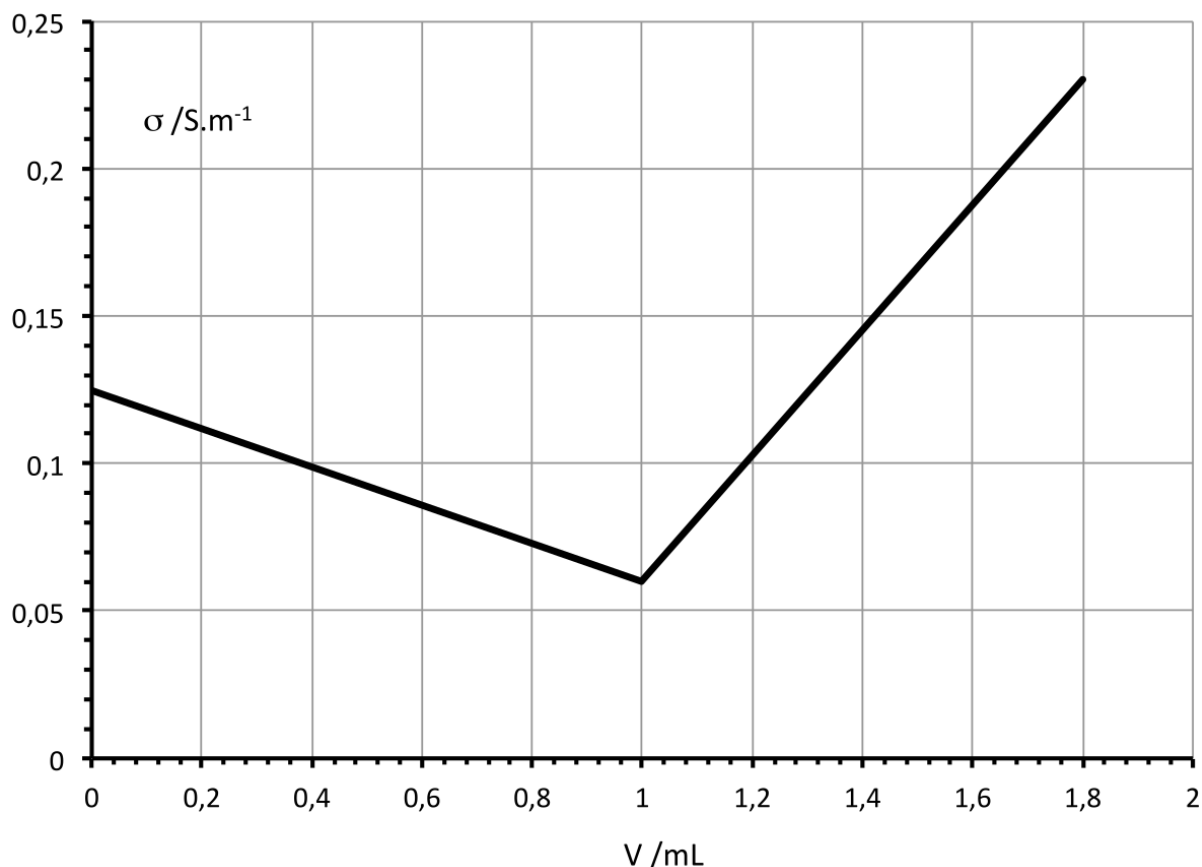
On mélange rapidement $m_1 = 228 \text{ g}$ de ciment et $m_2 = 90 \text{ g}$ d'eau liquide dans un calorimètre et on place un dispositif de mesure de la température. On mesure une élévation de la température : $\Delta\theta = 15.0^\circ\text{C}$.

□ 1 – En supposant la réaction totale, indiquer quel est le réactif limitant et calculer les quantités de matière en chacune des espèces présentes en fin d'évolution.

□ 2 – Le système constitué par le calorimètre et son contenu sont supposés en évolution adiabatique. Estimer la valeur de l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$ associée à l'équation bilan (1). On négligera la capacité thermique du calorimètre.

2 Basicité d'un béton

L'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$ confère à l'eau qui se trouve dans les pores du béton (solution interstitielle) un caractère fortement basique. On étudie une solution aqueuse recueillie à la surface du béton après la prise, modélisée par une solution contenant des ions Ca^{2+} et HO^- (compte tenu de la solubilité de l'hydroxyde de calcium). Le volume prélevé est égal à $V_0 = 100.0 \text{ mL}$, il est titré par une solution d'acide chlorhydrique concentré (H_3O^+ , Cl^-) de concentration $c = 0.50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Le titrage est suivi par conductimétrie (mesure de la conductivité σ) de la solution titrée en fonction du volume v de titrant ajouté. Le résultat expérimental est présenté ci-après.



- ☐ 3 – Écrire la réaction de titrage et indiquer la valeur de sa constante d'équilibre à 298 K.
- ☐ 4 – Quel est le pH de la solution prélevée à la surface du béton ?
- ☐ 5 – Justifier qualitativement (sans calcul) mais de façon détaillée l'allure de la courbe conductimétrique $\sigma = f(v)$ obtenue.
- ☐ 6 – Calculer grâce aux données le rapport des deux droites et vérifier le résultat à l'aide du graphique.
- ☐ 7 – Dessiner l'allure de la courbe qui aurait été obtenue à l'occasion d'un suivi pH-métrique, préciser la valeur du pH au point équivalent.

3 Carbonatation d'un béton

Le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère peut se dissoudre en solution aqueuse. Dans le cas des solutions basiques, il se dissout sous forme d'ions carbonate CO_3^{2-} . Lorsque le phénomène se produit sur un béton, les ions carbonate issus du dioxyde de carbone peuvent remplacer les ions HO^- de l'hydroxyde de calcium (formation de la calcite $\text{CaCO}_3(\text{s})$). On parle alors de carbonatation d'un béton, conduisant à une fragilisation de sa structure. On étudie dans cette partie le carbonate de calcium (de type calcite).

□ 8 – Le calcium se trouve dans la 4e ligne et 2e colonne du tableau périodique. Pourquoi le calcium forme-t-il des ions Ca^{2+} de façon privilégiée ?

□ 9 – Établir, en justifiant rapidement, le diagramme de prédominance des espèces en solution du carbone : $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$, $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$, $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$. Justifier que dans le cas du béton, le dioxyde de carbone se trouve bien sous la forme de carbonate.

□ 10 – A l'aide des données, montrer alors que la carbonatation du béton est thermodynamiquement favorisée.

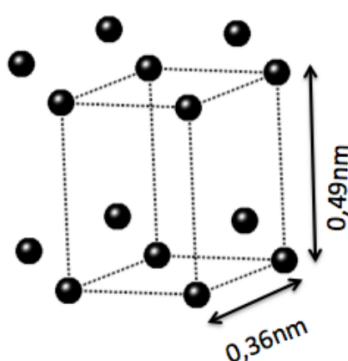
□ 11 – Etudier la variation du produit de solubilité de la calcite avec la température. La calcite est-elle plus soluble à chaud ou à froid ?

□ 12 – Retrouver par le calcul l'ordre de grandeur du produit de solubilité de la calcite fourni dans la table.

□ 13 – Donner un schéma de Lewis de l'ion carbonate. Cet ion possède-t-il un moment dipolaire permanent ? Justifier.

□ 14 – La masse volumique de la calcite est de $2.7 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$. Calculer son volume formulaire, défini comme le volume occupé par une unité de formule (un atome de calcium, un de carbone et trois d'oxygène).

La structure cristalllographique de l'hydroxyde de calcium (portlandite) peut être décrite comme un empilement de feuillets. Dans la figure suivante ne sont représentés que les atomes de calcium: ils dessinent un maillage hexagonal dans chaque feuillet. La distance entre deux atomes de calcium voisins dans un feuillet est de 0,36 nm et la distance entre deux feuillets voisins de 0,49 nm.



□ 15 – Calculer le volume formulaire de la portlandite. Comment se traduit sa transformation en calcite en termes de changement de volume ?

Données :

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,0 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

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

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

Constante de Nernst à 298 K : $\frac{RT}{F} \ln 10 = 0,06V$

Numéros atomiques : 6 (C) ; 8 (O) ; 20 (Ca).

Masses molaires : Ca : 40 g.mol^{-1} ; Fe : 55 g.mol^{-1} ; Si : 28 g.mol^{-1}

Masse volumique du fer : $\rho = 8000 \text{ kg.m}^{-3}$.

Capacités thermiques molaires à pression constante $C_{p,m}$ (en $\text{J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$) :

composé	Ca(OH) ₂ (s)	[Ca ₃ Si ₂ O ₇ , 3H ₂ O](s)	H ₂ O(liq)
$C_{p,m}$	80	340	75

Conductivités ioniques molaires Λ^0 (en $\text{mS.m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$)

Ion	H ⁺ (aq)	Cl ⁻ (aq)	HO ⁻ (aq)
Λ^0	35,0	7,6	19,8

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

Produit de solubilité : $K_s(\text{CaCO}_3) = 3 \cdot 10^{-9}$, $K_s(\text{Ca(OH)}_2) = 5 \cdot 10^{-6}$

Enthalpies standard de formation et entropies standard (à 298 K):

	$\Delta_f H^\circ (\text{kJ.mol}^{-1})$	$S_m^\circ (\text{J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$
Ca ²⁺ (aq)	- 543	- 53
CaCO ₃ (s) (calcite)	- 1207	93
CO ₃ ²⁻ (aq)	- 677	- 57

Approximations numériques : $\sqrt{2} \approx \frac{10}{7}$ $\sqrt{3} \approx \frac{7}{4}$

$\log(2) \approx 0,3$ $e^{-10} \approx 5 \cdot 10^{-5}$

Masse molaire du carbone : 12 g.mol^{-1} .

Masse molaire de l'oxygène : 16 g.mol^{-1} .

Masse molaire de l'hydrogène : 1 g.mol^{-1} .