

BTS MÉTIERS DE L'EAU

SCIENCES PHYSIQUES – U. 32

SESSION 2011

Durée : 2 heures
Coefficient : 2,5

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 6 pages, numérotées de 1/6 à 6/6.

BTS MÉTIERS DE L'EAU		Session 2011
Sciences physiques – U. 32	MTE3SC	Page : 1/6

Exercice 1 : « La décarbonatation d'une eau » (10 pts)

Une eau trop incrustante est le siège de précipitation du carbonate de calcium (CaCO_3) ; cela peut entraîner des inconvénients : dépôts de calcaire dans les réseaux de distribution, les chaudières et les machines à laver, dépenses supplémentaires en énergie, risque de développement bactérien...

La précipitation du carbonate de calcium (composé peu soluble) est le fait d'un déséquilibre de la chaîne carbonique dont l'élément essentiel est l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- appelé aussi ion bicarbonate.

Données valables pour tout l'exercice :

- numéro atomique : $Z(\text{H}) = 1$; $Z(\text{O}) = 8$; $Z(\text{C}) = 6$;
- masses molaires en (g/mol) : $M(\text{O}) = 16,0$; $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{C}) = 12,0$;
 $M(\text{Ca}) = 40,1$;
- couples acido-basiques et pK_a à 25 °C :
 $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^- \quad \text{pK}_{a1} = 6,4)$;
 $(\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-} \quad \text{pK}_{a2} = 10,3)$;
- produit de solubilité du carbonate de calcium à 25 °C :
 $K_s (\text{CaCO}_3) = 5,0 \times 10^{-9}$;
- couples redox de l'eau : $\text{H}_2\text{O} / \text{H}_2$ et $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$;
- 1 faraday (F) = 96500 C/mol.

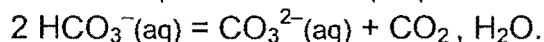
A) Autour de l'ion hydrogénocarbonate : HCO_3^-

1) Représentation de Lewis

Donner la représentation de Lewis de l'ion hydrogénocarbonate.

2) pH d'une solution d'hydrogénocarbonate de calcium

On étudie une solution d'hydrogénocarbonate de calcium pour laquelle on admettra que la réaction prépondérante correspond à l'équilibre :



L'ion hydrogénocarbonate est un ampholyte. Il appartient à deux couples acido-basiques.

2.1) Donner, en fonction des concentrations des espèces, les expressions de K_{a1} et K_{a2} .

2.2) Montrer que la concentration en ions hydronium dans une solution d'hydrogénocarbonate de calcium s'exprime facilement en fonction du produit $K_{a1} \times K_{a2}$.

2.3) Calculer le pH de la solution.

3) Détermination du titre alcalimétrique complet d'une eau (TAC)

Le TAC détermine la teneur en carbonate et hydrogénocarbonate d'une eau. Il correspond au volume d'acide (en mL), de concentration 0,020 mol /L en ions H_3O^+ , nécessaire pour doser 100 mL d'eau en présence de vert de bromocrésol.

Il s'exprime en degré français °F. On considère une eau de pH = 8,3.

3.1) Tracer le diagramme de prédominance des espèces et montrer qu'à ce pH son alcalinité est due principalement aux ions hydrogénocarbonate. **(Aucun calcul n'est demandé).**

On dose une prise d'essai de 50 mL d'eau par une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C = 0,020 \text{ mol/L}$ en présence de vert de bromocrésol. Le volume à l'équivalence est de 17,5 mL.

3.2) Écrire l'équation bilan de la réaction de dosage.

3.3) Calculer sa constante d'équilibre et montrer que la réaction est bien totale.

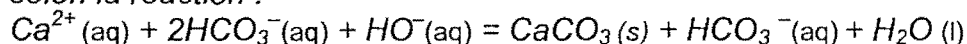
3.4) Déterminer en degré français le TAC de l'eau utilisée.

B) Les techniques de décarbonatation

Les techniques de décarbonatation de l'eau ont pour but d'éliminer les ions hydrogénocarbonate ainsi que les ions calcium auxquels ils sont associés.

1) La décarbonatation catalytique à la soude

Principe : on réalise la précipitation du carbonate de calcium par de la soude selon la réaction :



Le carbonate de calcium précipite à la surface des grains de sable additionnés de chaux, ce qui permet d'obtenir un effet catalytique et ainsi de former des billes de calcaire de l'ordre du millimètre qui sont ensuite évacuées.

On considère une eau assimilable à une solution d'hydrogénocarbonate de calcium ($\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^{-}$) dont on veut diminuer le TAC de 35 °F à 20 °F, c'est-à-dire faire passer la concentration en ions hydrogénocarbonate de la valeur $7,0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ à $4,0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$.

Durant cette étude, on fera l'hypothèse que la concentration en ion carbonate dissous est négligeable devant celle en ions hydrogénocarbonate.

1.1) Déterminer pour 1,0 L de solution :

1.1.1) la quantité de matière d'ions hydrogénocarbonate que l'on doit faire précipiter ;

1.1.2) la masse m_1 de précipité de carbonate de calcium obtenu.

1.2) Ce traitement est réalisé dans un réacteur qui traite sans interruption 250 m³ d'eau par heure.

Vérifier que la masse de carbonate de calcium obtenue après une journée de traitement est m₂ = 900 kg.

1.3) En fin de traitement la concentration en ion calcium n'est plus que de 5,0 × 10⁻⁴ mol/L.

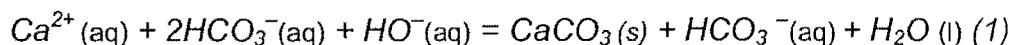
Déterminer, à l'aide de l'expression du produit de solubilité du carbonate de calcium, la concentration résiduelle en ion carbonate après traitement.

La comparer à la valeur finale en ion hydrogénocarbonate et justifier l'hypothèse.

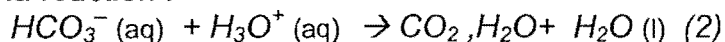
2) Le procédé erca²

Principe : ce procédé repose sur l'électrolyse de l'eau ; l'eau à traiter traverse de haut en bas un champ électrique produit par un ensemble d'électrodes, cathodes et anodes, placées en alternance.

À la cathode, la réduction de l'eau en dihydrogène en milieu basique conduit à la production d'ions hydroxyde qui créent un environnement qui permet la précipitation du carbonate de calcium selon la réaction :



À l'anode, l'oxydation de l'eau en dioxygène en milieu acide produit des ions hydronium qui réagissent avec les ions hydrogénocarbonate pour former du dioxyde de carbone selon la réaction :



Le dioxyde de carbone dissous est ensuite éliminé par agitation.

2.1) Écrire les demi-équations redox ayant lieu à chaque électrode.

2.2) On considère une cellule électrolytique aux bornes de laquelle on fait passer un courant de 30 A pendant 24 h.

Calculer :

2.2.1) la quantité d'électricité mise en jeu au niveau de la cellule en 24 h ;

2.2.2) la masse maximale m₃ de carbonate de calcium que l'on peut obtenir.

Exercice 2 : « L'acide hypochloreux » (5 pts)

Le chlore est un élément important dans le traitement de l'eau et c'est sous forme d'acide hypochloreux (HOCl) que son action désinfectante est la plus efficace. L'acide hypochloreux peut aussi agir sur les molécules organiques selon trois modes d'action :

- l'oxydation des alcools ;
- l'addition sur les alcènes ;
- la synthèse de chloramines.

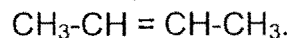
1) L'oxydation du butan-1-ol par l'acide hypochloreux conduit à un composé qui réagit avec la liqueur de Fehling et avec la DNPH, ainsi qu'à la formation de l'ion chlorure.

1.1) Donner le nom et la formule du composé obtenu.

1.2) À l'aide des formules semi-développées, écrire les demi-équations redox puis l'équation bilan de la réaction.

1.3) Donner le nom et la formule du composé obtenu si on utilise un excès d'oxydant.

2) On considère la réaction de l'acide hypochloreux sur l'alcène de formule :



2.1) Nommer l'alcène et donner la formule du stéréoisomère Z.

2.2) À l'aide des formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction d'addition de l'acide hypochloreux sur l'alcène.

3) Dans les piscines, des chloramines sont produites par l'action de l'acide hypochloreux sur les matières azotées laissées par les baigneurs et notamment l'urée contenue dans la sueur. Celle-ci s'hydrolyse en ammoniac qui réagit par la suite avec l'acide hypochloreux produisant de la monochloramine, responsable de l'odeur chlorée des piscines.

3.1) La formule brute de l'urée est $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$; donner sa formule semi-développée puis écrire l'équation de son hydrolyse.

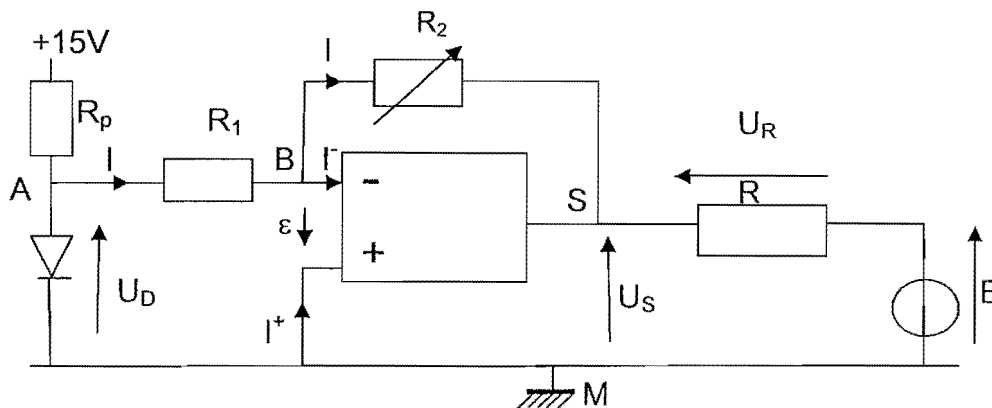
3.2) Écrire la réaction entre l'ammoniac et l'acide hypochloreux qui conduit à la monochloramine.

Exercice 3 : « Réalisation d'un thermomètre » (5 pts)

Pour le confort des baigneurs, la température de l'eau de la piscine doit être régulée. Pour cela, on utilise un thermomètre électronique dont le principe est décrit ci-dessous.

On utilise une diode silicium dont la tension U_D aux bornes est une fonction affine de la température selon l'équation : $U_D \text{ (V)} = -2,0 \times 10^{-3} \times \theta \text{ (}^\circ\text{C)} + 0,68$.

On veut mettre à profit cette propriété en réalisant un thermomètre de façon à délivrer une tension U_S qui augmente de 0,010 V lorsque la température augmente de 1,0 $^\circ\text{C}$. Le montage proposé ci-dessous utilise un amplificateur opérationnel considéré comme idéal et qui fonctionne en mode linéaire.



- 1) Rappeler les caractéristiques d'un amplificateur idéal.
- 2) On cherche à établir l'expression de U_S en fonction de U_D .
 - 2.1) En utilisant la loi des mailles, établir d'une part, l'expression de U_S en fonction de R_2 et I et d'autre part, l'expression de U_D en fonction de R_1 et I .
 - 2.2) En déduire l'expression de U_S en fonction de U_D et des résistances R_1 et R_2 .
 - 2.3) Quel est le nom du montage ?
- 3) À l'aide de l'expression de U_D donnée en introduction en fonction de la température θ , on montre que la tension U_S peut s'exprimer sous la forme $U_S = a \times \theta + b$.
 - 3.1) Par identification, exprimer a puis b en fonction du rapport R_2 / R_1 .
 - 3.2) La résistance R_1 est fixée à 1,0 k Ω .
Montrer que la valeur $R_2 = 5,0 \text{ k}\Omega$ permet de satisfaire à la condition portant sur la variation de U_S en fonction de la variation de la température.
Montrer que $b = -3,4 \text{ V}$.
 - 3.3) Quelle est la relation entre les tensions E , U_R et U_S ?
En déduire la valeur à donner à E pour que U_R soit proportionnelle à la température $\theta \text{ (}^\circ\text{C)}$.