Le dioxyde de carbone : le réduire dans l'atmosphère et le valoriser ?

Bac S 2014 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Écrire l'équation de la réaction qui se produit lors de l'ajout de l'acide chlorhydrique dans la solution S.

Données utiles couples H_3O^+/H_2O et H_2O/HO^-

L'acide H_3O^+ apporté réagit avec la base HO^- de la solution S ; les ions Na^+ et Cl^- sont spectateurs.

$$H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow 2\,H_2O(l)$$

PIÈGE
Faire figurer Na^+ ou Cl^- dans l'équation, ou écrire HCl : en solution aqueuse, l'acide chlorhydrique est entièrement sous forme d'ions H_3O^+ et Cl^-.

1.2 Lors de la neutralisation par le dioxyde de carbone, quelle espèce carbonatée (CO_3^{2-}, HCO_3^- ou CO_2) prédomine à l'équivalence du titrage ? Justifier.

Données utiles $pK_{A1} = 6{,}4$ pour $H_2O, CO_2/HCO_3^-$; $pK_{A2} = 10{,}3$ pour HCO_3^-/CO_3^{2-} ; document 2

Sur la courbe en tirets du document 2, le saut de pH se situe à $V_E = 20$ mL ; la méthode des tangentes y donne $pH_E \approx 8{,}3$.

Domaines de prédominance :

- $pH < 6{,}4$: H_2O, CO_2 prédomine ;
- $6{,}4 < pH < 10{,}3$: HCO_3^- prédomine ;
- $pH > 10{,}3$: CO_3^{2-} prédomine.

Or $6{,}4 < 8{,}3 < 10{,}3$.

À l'équivalence, l'espèce carbonatée qui prédomine est l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-.

PIÈGE
Répondre sans lire le pH sur la courbe : la justification attendue repose sur la valeur de pH_E comparée aux deux pK_A.

MÉTHODE
Pour savoir quelle espèce d'un couple prédomine : lire le pH, le placer sur l'axe par rapport au pK_A. Si $pH > pK_A$, la base prédomine ; si $pH < pK_A$, c'est l'acide.

1.3 En déduire l'équation de la réaction lors de l'ajout de la solution de dioxyde de carbone dans la solution S.

L'acide H_2O, CO_2 cède un ion H^+ à la base HO^- et se transforme en HCO_3^-, espèce prédominante à l'équivalence (1.2).

$$H_2O, CO_2(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(l)$$

PIÈGE
Écrire la formation de CO_3^{2-} (avec $2\,HO^-$) : cette espèce ne prédomine pas à l'équivalence, et le volume équivalent serait alors 10 mL et non 20 mL.

1.4 Comparer les points d'équivalence des deux neutralisations et interpréter le résultat.

Données utiles $c = c_A = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; document 2 ; pH autorisé entre 6,5 et 8,5 (document 1)

Lecture par la méthode des tangentes :

- acide chlorhydrique : E_1 ($V_{E1} = 20$ mL ; $\text{pH}_{E1} = 7{,}0$) ;
- dioxyde de carbone : E_2 ($V_{E2} = 20$ mL ; $\text{pH}_{E2} \approx 8{,}3$).

Même volume équivalent : les deux réactions consomment une mole d'acide par mole de HO^- (1.1 et 1.3), et les deux solutions acides ont la même concentration c_A. Il faut donc le même volume pour consommer tous les ions HO^- de S.

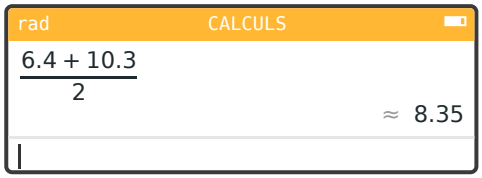
pH différents : en E_1 la solution ne contient plus que de l'eau et des ions spectateurs, elle est neutre ($\text{pH} = 7{,}0$ à 25 °C). En E_2 elle contient l'ion HCO_3^-, qui a des propriétés basiques : le pH est supérieur à 7.

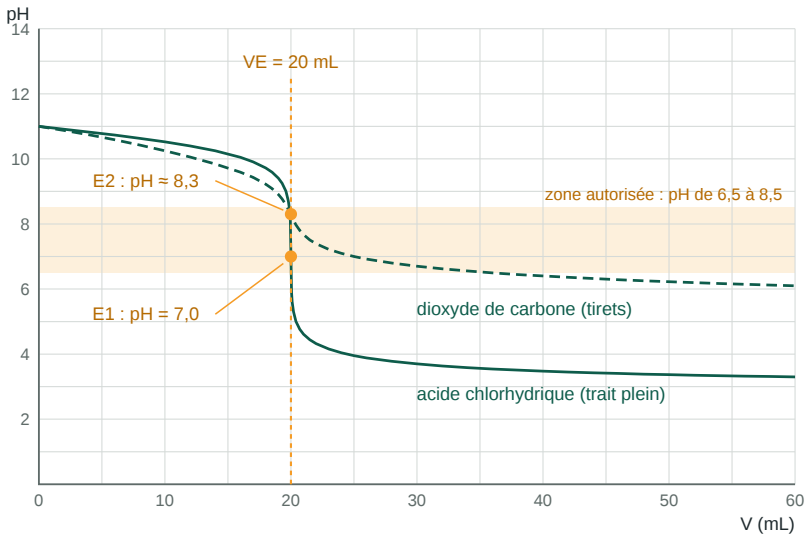
$V_{E1} = V_{E2} = 20$ mL ; $\text{pH}_{E1} = 7{,}0$ et $\text{pH}_{E2} \approx 8{,}3$: dans les deux cas le pH à l'équivalence est compris entre 6,5 et 8,5, l'eau peut être rejetée.

COMPRENDRE

Une lecture graphique de pH se donne au dixième près. L'ion HCO_3^- est à la fois acide d'un couple et base de l'autre : pH_{E2} est proche de la moyenne des deux $\text{p}K_A$.

À LA CALCULATRICE





1.4 · Document 2 : les deux points d'équivalence, à comparer à la zone de pH autorisée

1.5 Pour les deux neutralisations, évaluer graphiquement les variations du pH autour de $V_E \pm 2$ gouttes. En déduire la neutralisation la plus adaptée au traitement des eaux usées.

Données utiles document 2 ; $V_E = 20$ mL (1.4) ; pH autorisé entre 6,5 et 8,5 (document 1)

Deux gouttes représentent environ 0,1 mL (une goutte vaut à peu près 0,05 mL) : on regarde les courbes entre 19,9 mL et 20,1 mL.

- Acide chlorhydrique : la courbe est pratiquement verticale. Le pH passe d'environ 8,5 à environ 5,5, soit une variation de l'ordre de 3 unités.
- Dioxyde de carbone : la courbe est beaucoup moins pentue. Le pH passe d'environ 8,4 à environ 8,2, soit une variation de l'ordre de 0,2 unité.

Avec l'acide chlorhydrique, deux gouttes de trop suffisent pour que le pH descende sous 6,5 : l'eau rejetée est hors norme. Avec le dioxyde de carbone, le pH reste dans l'intervalle autorisé, même pour un excès de plusieurs millilitres.

La neutralisation par le dioxyde de carbone est la plus adaptée : le pH varie très peu autour de l'équivalence (environ 0,2 unité contre 3), ce qui écarte le risque de surdosage.

PIÈGE
Oublier de préciser le volume attribué à deux gouttes : il n'est pas donné, il faut annoncer l'hypothèse (environ 0,1 mL) avant de lire le graphique.

COMPRENDRE
Après l'équivalence, le CO_2 ajouté en excès coexiste avec HCO_3^- : le pH descend lentement vers $pK_{A1} = 6{,}4$. Un acide fort en excès impose au contraire un pH très bas.

2 À l'aide des documents et de vos connaissances, rédiger une synthèse de 15 à 20 lignes répondant à la problématique : « Comment réduire le dioxyde de carbone dans l'atmosphère et le valoriser ? »

Données utiles documents 1 et 3 à 7

Les activités humaines émettent plus de dioxyde de carbone que le cycle naturel du carbone ne peut en absorber (doc. 3). Ce gaz étant le principal gaz à effet de serre d'origine humaine, deux actions se complètent : en rejeter moins et utiliser celui qui est produit.

Réduire. La première voie est d'en produire moins : maîtrise de la consommation d'énergie et meilleure efficacité énergétique (doc. 3). Comme on ne peut pas encore se passer des énergies fossiles, la seconde voie est le captage et le stockage du CO_2 dans le sous-sol, appliqué aux sites où il est concentré : centrales thermiques, raffineries, sidérurgie, cimenteries (doc. 3).

Valoriser. Le CO_2 capté devient alors une matière première.

- Utilisation directe : acide doux pour neutraliser les eaux usées basiques, sans risque de surdosage (doc. 1 et partie 1) ; solvant à l'état supercritique pour extraire parfums et principes actifs, à basse température, puis recyclé (doc. 5).
- Transformation chimique : réactif de synthèse au laboratoire (acide benzoïque) et dans l'industrie (urée, 70 millions de tonnes par an, à partir d'ammoniac) (doc. 4).
- Transformation biologique : culture de microalgues qui le consomment et fournissent des biocarburants (doc. 6) ; biocatalyse par des enzymes, encore au stade de la recherche (doc. 7).

Réduire le CO_2 atmosphérique, c'est d'abord en émettre moins et capter puis stocker celui des grands sites industriels ; le valoriser, c'est l'employer comme acide, solvant, réactif de synthèse ou nourriture pour microalgues. Ces voies restent complémentaires de la baisse des émissions.

PIÈGE
Développer l'effet de serre ou recopier les documents un par un : c'est hors sujet ou sans plan. Ne pas dépasser 20 lignes, et exploiter tous les documents.

COMPRENDRE
Remplacer un solvant organique par du CO_2 recyclé ou valoriser un déchet relève de la chimie verte, qui ne figure plus au programme actuel de spécialité. Le raisonnement sur les documents reste accessible sans cours.

MÉTHODE
Synthèse de documents : une phrase d'introduction qui pose le problème, un plan calqué sur la problématique (ici « réduire » puis « valoriser »), chaque idée rattachée à son document, une conclusion qui répond à la question.