Spécialité : Les dômes de l'opéra Garnier

Bac S 2017 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Écrire le bilan global de la formation du vert-de-gris.

Le bilan global est la somme des équations 1 et 2. L'oxyde CuO, formé par la première étape puis consommé par la seconde, disparaît du bilan.

$$2\,\mathrm{Cu\,(s)} + \mathrm{O_2\,(g)} + \mathrm{CO_2\,(g)} + \mathrm{H_2O\,(g)} \longrightarrow \mathrm{Cu_2(OH)_2CO_3\,(s)}$$

MÉTHODE
Pour additionner deux équations, on ajoute membre à membre puis on simplifie les espèces présentes des deux côtés. On contrôle ensuite la conservation de chaque élément : ici 2 Cu, 1 C, 2 H et 5 O.

2 Identifier la provenance des différents réactifs du bilan global de la formation du vert-de-gris sur les dômes de l'Opéra Garnier.

- Le cuivre Cu est le métal des plaques qui recouvrent les dômes.
- Le dioxygène $\mathrm{O_2}$, le dioxyde de carbone $\mathrm{CO_2}$ et la vapeur d'eau $\mathrm{H_2O}$ sont des gaz de l'air atmosphérique, en contact avec la toiture.

Le cuivre vient de la couverture ; $\mathrm{O_2}$, $\mathrm{CO_2}$ et $\mathrm{H_2O}$ viennent de l'air.

COMPRENDRE
Trois des quatre réactifs sont apportés par l'air : leurs atomes se fixent sur le toit. C'est l'idée clé du problème, la couverture s'alourdit en se corrodant.

3 Indiquer, en justifiant, le type de réaction correspondant à l'équation 1 et la nature de la réaction subie par le cuivre. Puis résoudre le problème : estimer la différence de masse de la couverture des trois dômes due à la corrosion du cuivre.

Données utiles épaisseur $e = 100$ nm ; $\rho_{vg} = 4{,}0 \times 10^3$ kg · m^{-3} ; $S = \frac{3}{2}\pi R^2$; $S_s = 2\pi r^2$; masses molaires atomiques ; plan à l'échelle

Question 3. L'équation 1 met en jeu un transfert d'électrons du cuivre vers le dioxygène : c'est une réaction d'**oxydoréduction**. Le cuivre cède des électrons, il subit une **oxydation** ($\mathrm{Cu} \longrightarrow \mathrm{Cu}^{2+} + 2\,\mathrm{e}^-$) ; le dioxygène est réduit.

Problème. D'après le bilan, le cuivre du vert-de-gris était déjà dans la toiture. La masse gagnée est celle des atomes C, H et O venus de l'air.

Rayons. Sur le plan, le segment « 20 m » mesure 2,0 cm : 1 cm représente 10 m. Diamètre du grand dôme : 3,9 cm, soit $R \approx 20$ m. Diamètre d'un dôme latéral : 1,9 cm, soit $r = 9{,}5$ m.

Surface des trois dômes.

$$S_T = \tfrac{3}{2}\pi R^2 + 2 \times 2\pi r^2 = \tfrac{3}{2}\pi \times 20^2 + 4\pi \times 9{,}5^2 = 3{,}0 \times 10^3 \text{ m}^2$$

Masse de vert-de-gris. Le volume de la couche est $V = S_T \times e$, avec $e = 100 \times 10^{-9}$ m :

$$m_{vg} = \rho_{vg}\, S_T\, e = 4{,}0 \times 10^3 \times 3{,}0 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9} = 1{,}2 \text{ kg}$$

Part venue de l'air. $M_{vg} = 2 \times 63{,}5 + 12{,}0 + 2 \times 1{,}0 + 5 \times 16{,}0 = 221{,}0$ g · mol^{-1}, dont $221{,}0 - 2 \times 63{,}5 = 94{,}0$ g · mol^{-1} hors cuivre.

$n_{vg} = \dfrac{m_{vg}}{M_{vg}} = \dfrac{1{,}2 \times 10^3}{221{,}0} = 5{,}5$ mol, d'où $\Delta m = n_{vg} \times 94{,}0 = 5{,}1 \times 10^2$ g.

Regard critique. Cela représente moins de 0,2 g par mètre carré : la couche, très fine, alourdit la toiture de façon négligeable.

La couverture des trois dômes s'est alourdie d'environ $\Delta m \approx 0{,}5$ kg.

PIÈGE
Annoncer 1,2 kg : c'est la masse de vert-de-gris, cuivre compris. Or ce cuivre appartenait déjà au toit. Autre erreur fréquente : laisser l'épaisseur en nanomètres, alors que $100\ \text{nm} = 1{,}00 \times 10^{-7}$ m.

COMPRENDRE
Les mesures au millimètre sur le plan et la masse volumique « estimée » ne justifient qu'un ou deux chiffres significatifs : on attend un ordre de grandeur, pas une valeur précise. Garder les valeurs non arrondies en mémoire pendant les calculs.

COMPRENDRE
La corrosion des matériaux relevait de l'enseignement de spécialité d'avant 2021 et n'est plus étudiée en tant que telle. L'oxydoréduction, la masse volumique et le bilan de matière utilisés ici restent au programme actuel.

À LA CALCULATRICE

