EXERCICE 3 - Phytoremédiation (5 points)

La phytoremédiation est une technique qui offre une alternative pour réhabiliter des terrains agricoles. Elle utilise des cycles de culture de plantes spécifiques pour dépolluer un sol contaminé. Souhaitant cultiver sa vigne selon les principes de l'agriculture biologique, un viticulteur sème des plantes « phytoextractrices » afin de diminuer la quantité en cuivre présente dans son sol.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le nombre de cycles de culture des plantes que doit réaliser le viticulteur pour atteindre la teneur limite en cuivre acceptable pour l'agriculture biologique.

Données :

- Masse molaire du cuivre : $M(\text{Cu}) = 63{,}5\ \text{g·mol}^{-1}$
- Teneur limite maximale en cuivre dans un sol pour l'agriculture biologique selon l'Union européenne : $m_t = 150$ mg par kg de terre
- Masse de cuivre extraite par les plantes par cycle de culture : $m_e = 90$ mg par kg de terre

Document – Protocole d'analyse

- Un échantillon de 1 kg de terre contenant le cuivre est immergé dans 1 L d'eau. Après filtration, on obtient 1 L d'une solution notée S_0.

- On prélève un volume $V_1 = 50{,}0$ mL de la solution S_0 que l'on place dans un erlenmeyer. On y ajoute une solution d'iodure de potassium ($K^+(aq)$, $I^-(aq)$) en excès. Il se forme un précipité d'iodure de cuivre CuI(s) selon l'équation de réaction :

$$2\ Cu^{2+}(aq) + 4\ I^-(aq) \rightarrow 2\ CuI(s) + I_2(aq)$$

- Le diiode $I_2(aq)$ formé par la réaction précédente est titré par une solution de thiosulfate de sodium ($2\ Na^+(aq)$, $S_2O_3^{2-}(aq)$) de concentration en quantité de matière $c_2 = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol·L}^{-1}$.L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :

$$I_2\ (aq) + 2\ S_2O_3^{2-}\ (aq) \rightarrow 2\ I^-\ (aq) + S_4O_6^{2-}\ (aq)$$

Le volume de solution titrante versé pour atteindre l'équivalence est $V_E = 15{,}0$ mL.

Q1- Définir l'équivalence d'un titrage.

Q2- Déterminer, en justifiant, l'oxydant et le réducteur intervenant lors du titrage du diiode I_2 par les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}$.

Q3- Donner, à l'équivalence, la relation entre la quantité de matière de diiode $n_1(I_2)$ et la quantité de matière des ions thiosulfate $n_E\ (S_2O_3^{2-})$.

Q4- Écrire la relation entre la quantité de matière de diiode formée $n_1\ (I_2)$ et celle des ions cuivre $n_0(Cu^{2+})$ présents dans le volume V_1. On pourra utiliser un tableau d'avancement.

Q5- En déduire que la valeur de la quantité de matière d'ions cuivre contenue dans le volume V_1 est $n_0(Cu^{2+}) = 3{,}0 \times 10^{-4}$ mol.

Q6- Calculer la valeur de la masse $m(Cu^{2+})$ de cuivre présent dans 1 kg de terre viticole analysée.

Q7- Déterminer la valeur du nombre minimum N_{min} de cycles de culture à réaliser pour atteindre la teneur limite en cuivre pour l'agriculture biologique.

Pour répondre à cette question, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.