

NOUVELLE-CALÉDONIE (R) 2015

Le lagunage

Le lagunage est une technique d'épuration naturelle des eaux usées particulièrement efficace en ce qui concerne la dégradation de la matière organique. Des villes comme Rochefort-sur-Mer (en Charente-Maritime) ou encore Mèze (dans l'Hérault) ont opté pour cette solution. Cette technique est aussi utilisée par des particuliers résidant en zone rurale pour lesquels le raccordement au tout-à-l'égout est difficile.

Dans cet exercice, on s'intéresse à la relation entre la surface des bassins de lagunage et leur capacité d'épuration.

Le lagunage à Mèze



Les eaux usées de la ville sont collectées par les égouts puis acheminées vers le lagunage.

La station de lagunage de Mèze est composée de plusieurs bassins qui sont chacun ensemencés de différentes bactéries.

Dans les six premiers bassins, les bactéries anaérobies vont provoquer une minéralisation qui va transformer 70% à 80% de la matière organique en eau, sels minéraux et gaz.

Ces composés vont s'écouler par trop plein vers un autre bassin, pour être utilisés par les phytoplanctons dans leur processus de photosynthèse.

La finition du traitement se fait dans les trois derniers bassins. Les bactéries qui se sont développées dans les effluents vont être consommées par les différentes espèces de zooplancton.

La surface totale de lagunage est d'environ 15 ha, elle est dimensionnée pour traiter les eaux usées d'une population de 15 000 personnes. On considère qu'il y a globalement une relation de proportionnalité entre la surface de lagunage et sa capacité d'épuration.

L'indice permanganate et capacité d'épuration

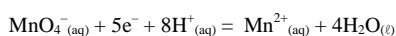
L'indice permanganate (*IP*) est une grandeur qui permet d'estimer la concentration en matières organiques présentes dans les eaux de surface et les eaux potables. Cet indice correspond à la masse de dioxygène qu'il aurait été nécessaire d'utiliser à la place de l'ion permanganate MnO_4^- , pour oxyder les matières organiques contenues dans un litre d'eau à analyser.

L'indice permanganate s'exprime en mg de dioxygène par litre d'eau à analyser ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). La législation française précise que, pour une eau destinée à la consommation humaine, l'indice permanganate doit être inférieur à $5,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

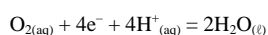
On admet alors que si la quantité n_0 d'ions permanganate est nécessaire pour oxyder la matière organique d'un échantillon d'eau, la quantité de dioxygène correspondante est :

$$n(\text{O}_2) = \frac{5 \cdot n_0}{4}$$

Demi-équation associée au couple $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$:



Demi-équation associée au couple $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}_{(l)}$:



La capacité d'épuration est proportionnelle à la différence d'indices permanganate ($IP_0 - IP_s$), où IP_0 représente l'indice de permanganate des eaux usées avant traitement et IP_s l'indice permanganate en sortie de la station de traitement. La surface de lagunage S est alors donnée par l'expression suivante : $S = k \cdot (IP_0 - IP_s)$.

Protocole de détermination de l'indice permanganate

Le protocole se déroule en 3 étapes :

Étape 1 : la matière organique d'un échantillon d'eau à analyser est oxydée en milieu acide à chaud par une quantité connue d'ions permanganate introduits en excès.

Étape 2 : une fois toute la matière oxydée, on introduit dans le milieu réactionnel une quantité connue d'ions oxalate $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$. Les ions oxalate sont introduits, eux aussi, en excès : leur rôle est de réagir avec les ions permanganate encore présents.

Étape 3 : pour finir, on dose les ions oxalate restants à l'aide d'une solution de permanganate de potassium.

Détail du protocole :

- Dans un ballon, introduire un volume de 50,0 mL de l'eau à analyser, 3 grains de pierre ponce et un volume de 5,0 mL d'acide sulfurique de concentration molaire $2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Introduire, dans l'ampoule de coulée, un volume de 20,0 mL d'une solution S_1 de permanganate de potassium ($\text{K}^+_{(aq)}, \text{MnO}_4^-_{(aq)}$) de concentration molaire $2,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Adapter un réfrigérant à eau sur le ballon bicol. Mettre en route la circulation d'eau puis le chauffage.

- Verser la solution de permanganate de potassium lorsque le mélange commence à bouillir.

- Maintenir une ébullition douce pendant 10 minutes.

- Enlever l'ampoule de coulée, puis ajouter, à l'aide d'une pipette, un volume de 20,0 mL d'une solution S_2 d'oxalate d'ammonium ($2\text{NH}_4^+_{(aq)}, \text{C}_2\text{O}_4^{2-}_{(aq)}$) de concentration molaire $5,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Arrêter la circulation d'eau, laisser refroidir à l'air et verser le contenu du ballon dans un erlenmeyer. Introduire un barreau aimanté dans l'erlenmeyer.

- Remplir la burette graduée avec la solution titrante S_1 .

- Placer l'erlenmeyer sur l'agitateur magnétique puis verser lentement la solution titrante S_1 dans le mélange. Cesser l'ajout lorsque la teinte rosée persiste pendant plus de 30 secondes. Noter alors le volume V_E de solution S_1 versé à l'équivalence.

Au cours de ce dosage, on montre que si l'on note n_1 la quantité d'ions permanganate introduite dans le ballon via l'ampoule de coulée, n_0 la quantité d'ions permanganate ayant réagi avec les matières organiques, n_2 la quantité de matière d'ions oxalate introduite dans le ballon et n_E la quantité d'ions permanganate versée pour : $V = V_E$ alors $n_0 = n_1 - 0,4 \cdot n_2 + n_E$.

Questions préliminaires

1. Justifier que l'ion permanganate MnO_4^- et le dioxygène O_2 sont les oxydants dans les deux couples présentés.

2. Justifier que si une quantité n_0 d'ions permanganate est nécessaire pour oxyder la matière organique d'un échantillon d'eau, alors la quantité de dioxygène nécessaire pour oxyder la même quantité de matière organique est : $n(\text{O}_2) = \frac{5 \cdot n_0}{4}$.

Un couple de résidents d'une petite commune du centre de la France a opté pour le lagunage afin d'effectuer l'épuration des eaux usées de son habitation. La surface totale des bassins de leur mini-station est de 15 m^2 . L'indice de permanganate des eaux usées avant traitement par la mini-station de ce foyer de deux personnes vaut $IP_0 = 11 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Une détermination de l'indice permanganate de l'eau rejetée dans la nature après passage par leur mini-station est réalisée afin de savoir si cette eau respecte la législation française sur le plan de la pollution organique.

La mise en œuvre du protocole de détermination de l'indice permanganate sur un échantillon d'eau prélevé à la sortie du lagunage permet de mesurer un volume équivalent $V_E = 3,9$ mL.

Problème

Déterminer si la mini-station utilisée par le couple de résidents permet de respecter la législation française relative à l'eau destinée à la consommation humaine.

Dans le cas contraire, calculer la surface minimale nécessaire des bassins de leur mini-station à partir de la capacité d'épuration.

Le résultat obtenu est-il cohérent avec la surface de lagunage du bassin de Mèze ?

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

Données

- masse molaire atomique : $M(O) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$.

Correction

Questions

1. Dans les deux demi-équations associées à ces deux couples, MnO_4^- et O_2 gagnent des électrons. Ce sont donc des oxydants.

2. Une quantité n_0 d'ions permanganate gagne $5 \cdot n_0$ électrons.

Une quantité $n(\text{O}_2)$ de dioxygène gagne $4 \cdot n(\text{O}_2)$ électrons.

Donc une même quantité n_e d'électrons est gagnée par $n_0 = n_e/5$ moles de MnO_4^- ou $n(\text{O}_2) = n_e/4$ moles de O_2 . Donc $5 \cdot n_0 = 4 \cdot n(\text{O}_2)$.

Problème

Calcul de la quantité de matière de MnO_4^- nécessaire pour oxyder les matières organiques contenues dans 50,0 mL d'eau traitée

$V_E = 3,9$ mL donc $n_E = 2,00 \cdot 10^{-3} \times 3,9 \cdot 10^{-3} = 7,8 \mu\text{mol}$

$n_2 = 20 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^{-3} = 100 \mu\text{mol}$

$n_1 = 20 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^{-3} = 40,0 \mu\text{mol}$

Donc $n_0 = 40 - 0,4 \times 100 + 7,8 = 7,8 \mu\text{mol}$

Résultat 1 : $7,8 \mu\text{mol}$ d'ions MnO_4^- ont été nécessaire pour oxyder la matière organique contenue dans 50 mL d'eau analysée.

Calcul de l'IP de l'eau traitée

Quantité de matière de O_2 nécessaire pour 50 mL d'eau : $n(\text{O}_2) = 1,25 \times 7,8 = 9,75 \mu\text{mol}$.

Masse de O_2 nécessaire pour 50 mL d'eau : $m(\text{O}_2) = 9,75 \cdot 10^{-6} \times 32 = 0,312 \text{ mg}$.

Masse de O_2 nécessaire pour 1 L d'eau (IP) : $IP = 0,312 \times 20 = 6,24 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Résultat n°2 : l'IP de cette eau vaut $6,24 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, ce qui ne respecte pas la législation.

Calcul de la surface de bassin nécessaire

$15 \text{ m}^2 = k \cdot (11 - 6,24)$ donc $k = 3,15 \text{ m}^2 \cdot \text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$

Si l'on souhaite un IP_s de $5,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, il faut donc une surface de $S = 3,15 \times (11 - 5) = 19 \text{ m}^2$.

Cohérence du résultat

Nos calcul montrent qu'il faut environ 10 m^2 de bassin par personne.

Donc pour 15 000 personnes, il faut $150\,000 \text{ m}^2$ soit 15 ha.

Ce résultat est bien cohérent avec la surface indiquée dans l'énoncé.