Valorisation des déchets d'un méthaniseur

Bac S 2018 Afrique (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Déterminer le mode de transfert thermique à travers les parois latérales du méthaniseur.

Les parois latérales (béton, polystyrène, bois) sont des solides opaques : l'énergie s'y propage de proche en proche, sans déplacement de matière.

Le transfert thermique à travers les parois se fait par **conduction**.

COMPRENDRE
Trois modes existent : conduction (dans la matière, sans transport de matière), convection (fluide en mouvement), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide). Dans un solide, seule la conduction intervient.

1.2 Vérifier que la résistance thermique totale de la paroi verticale vaut $R_{\text{totale}} = 2{,}7 \times 10^{-2}$ S.I. et préciser son unité.

Données utiles $e_1 = 0{,}30$ m, $\lambda_1 = 1{,}65\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (béton) ; $e_2 = 0{,}15$ m, $\lambda_2 = 0{,}038\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (polystyrène) ; $e_3 = 0{,}020$ m, $\lambda_3 = 0{,}20\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (bois) ; $D = 10{,}0$ m ; $h = 5{,}0$ m

Les trois couches sont accolées, leurs résistances s'ajoutent, avec la même surface $S = \pi D h$:

$$R_{\text{totale}} = \frac{1}{\pi D h}\left(\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}\right)$$

$$R_{\text{totale}} = \frac{1}{\pi \times 10{,}0 \times 5{,}0}\left(\frac{0{,}30}{1{,}65} + \frac{0{,}15}{0{,}038} + \frac{0{,}020}{0{,}20}\right) = \frac{4{,}23}{157}$$

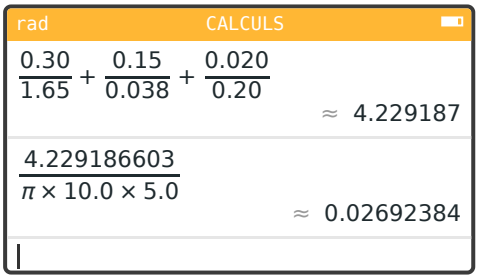
Unité : d'après $\varphi = \dfrac{T_2 - T_1}{R_{th}}$, on a $R_{th} = \dfrac{T_2 - T_1}{\varphi}$, en kelvins par watt.

$R_{\text{totale}} = 2{,}7 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, valeur conforme à celle de l'énoncé.

PIÈGE
Laisser les épaisseurs en centimètres : 30 cm, 15 cm et 2,0 cm valent 0,30 m, 0,15 m et 0,020 m. Sans conversion, le résultat est cent fois trop grand.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les épaisseurs et h. Le polystyrène apporte à lui seul 93 % de la résistance : c'est lui l'isolant, malgré une épaisseur deux fois plus faible que celle du béton.

À LA CALCULATRICE



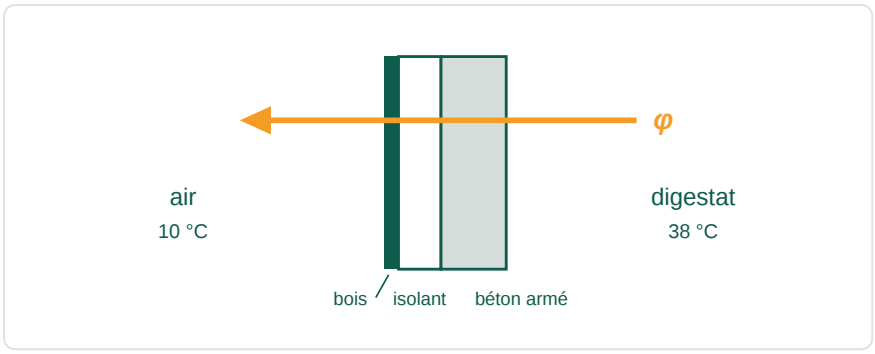
1.3.1 Représenter par une flèche le flux thermique φ à travers la paroi verticale sur le schéma reproduit. Justifier.

Données utiles digestat à 38 °C ; air à 10 °C

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Le digestat (38 °C) est plus chaud que l'air (10 °C).

La flèche du flux φ traverse la paroi **du digestat vers l'air**.

PIÈGE
Une flèche sans justification ne rapporte qu'une partie des points : il faut citer le sens spontané du transfert, du chaud vers le froid, et comparer les deux températures.



1.3.1 · Schéma reproduit : le flux thermique va du digestat (chaud) vers l'air (froid)

1.3.2 Calculer la valeur du flux thermique qui traverse cette paroi verticale.

Données utiles $T_2 = 38$ °C (digestat) ; $T_1 = 10$ °C (air) ; $R_{\text{totale}} = 2{,}7 \times 10^{-2}$ K · W^{-1} (1.2)

$$\varphi = \frac{T_2 - T_1}{R_{\text{totale}}} = \frac{38 - 10}{2{,}7 \times 10^{-2}}$$

$\varphi = 1{,}0 \times 10^3$ W $= 1{,}0$ kW

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en kelvins et en degrés Celsius : $(38 + 273) - (10 + 273) = 28$ K. La conversion est donc inutile ici.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{38 - 10}{2.7 \times 10^{-2}}$ ≈ 1037.037

1.4 Comparer l'énergie stockée sous forme de biogaz en un an aux pertes thermiques de l'installation. Commenter.

Données utiles $V = 750\,000$ m^3 de biogaz par an ; 21 MJ par m^3 ; pertes : $P = 1{,}6$ kW

Énergie stockée en un an : $E_{\text{biogaz}} = 750\,000 \times 21 \times 10^6 = 1{,}6 \times 10^{13}$ J.

Énergie perdue en un an, avec $\Delta t = 365 \times 24 \times 3600$ s : $E_{\text{pertes}} = P \times \Delta t = 1{,}6 \times 10^3 \times 365 \times 24 \times 3600 = 5{,}0 \times 10^{10}$ J.

$$\frac{E_{\text{pertes}}}{E_{\text{biogaz}}} = \frac{5{,}0 \times 10^{10}}{1{,}6 \times 10^{13}} = 3{,}2 \times 10^{-3}$$

Les pertes thermiques ne représentent que 0,32 % de l'énergie du biogaz produit (environ 300 fois moins) : compenser ces pertes ne consomme qu'une part infime de la production.

PIÈGE
Comparer directement 1,6 kW à des mégajoules : une puissance n'est pas une énergie. Il faut d'abord calculer $E = P \times \Delta t$ sur la même durée d'un an, en secondes.

MÉTHODE
« Comparer » deux grandeurs : les exprimer dans la même unité, calculer leur rapport, puis conclure par une phrase chiffrée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$750\,000 \times 21 \times 10^6$ ≈ 1.575×10^{13}

$1.6 \times 10^3 \times 365 \times 24 \times 3600$ ≈ 5.04576×10^{10}

$\frac{5.04576 \times 10^{10}}{1.575 \times 10^{13}}$ ≈ 0.003203657

2.1 À l'aide du diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac, identifier l'espèce azotée majoritaire dans la solution S.

Données utiles $\mathrm{p}K_A(\mathrm{NH_4^+/NH_3}) = 9{,}2$; pH de S voisin de 5

L'acide $\mathrm{NH_4^+}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, la base $\mathrm{NH_3}$ pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$.

Ici $\mathrm{pH} \approx 5 < 9{,}2$.

L'espèce azotée majoritaire dans la solution S est l'**ion ammonium** $\mathrm{NH_4^+}$.

COMPRENDRE

Avec $\dfrac{[\mathrm{NH_3}]}{[\mathrm{NH_4^+}]} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A} \approx 10^{-4}$, l'ammoniac est ici ultra-minoritaire : l'eau acidifiée a piégé le gaz sous forme d'ions ammonium.



2.1 · Diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'ion ammonium par la solution d'hydroxyde de sodium.

L'acide $\mathrm{NH_4^+}$ cède un ion $\mathrm{H^+}$ à la base $\mathrm{HO^-}$:

$$\mathrm{NH_4^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow NH_3\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE

Faire figurer $\mathrm{Na^+}$ dans l'équation : c'est un ion spectateur. La flèche est simple, car une réaction support de titrage doit être totale.

2.2.2 Le laboratoire annonce une teneur en azote N de 2,6 g par kilogramme de digestat. Cette teneur est-elle cohérente avec le suivi pH-métrique de l'annexe ? Détailler la démarche.

Données utiles $V = 10{,}0$ mL ; $C_b = 0{,}10\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; $V_S = 2{,}0$ L pour 1 kg de digestat ; $M(\mathrm{N}) = 14{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

Volume à l'équivalence. Par la méthode des tangentes parallèles tracée sur l'annexe : $V_E = 9{,}3$ mL.

Concentration de S. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(\mathrm{NH_4^+})_{\text{dosé}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}}$, soit $C \times V = C_b \times V_E$.

$$C = \frac{C_b \times V_E}{V} = \frac{0{,}10 \times 9{,}3}{10{,}0} = 9{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

Masse d'azote. La solution S contient tout l'azote de 1 kg de digestat, et un ion $\mathrm{NH_4^+}$ contient un atome N : $n(\mathrm{N}) = C \times V_S$.

$$m(\mathrm{N}) = C \times V_S \times M(\mathrm{N}) = 9{,}3 \times 10^{-2} \times 2{,}0 \times 14{,}0 = 2{,}6\ \mathrm{g}$$

On trouve 2,6 g d'azote par kilogramme de digestat : la teneur annoncée par le laboratoire est cohérente avec le titrage.

PIÈGE

Oublier le changement d'échelle : on dose 10,0 mL, mais l'azote de 1 kg de digestat est dans les 2,0 L de S. Il faut multiplier C par V_S, pas par V.

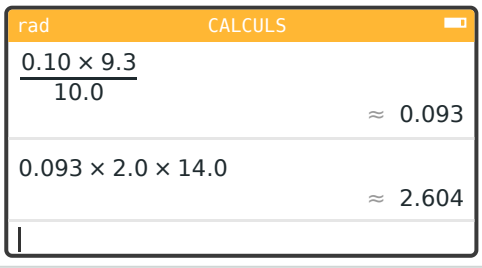
COMPRENDRE

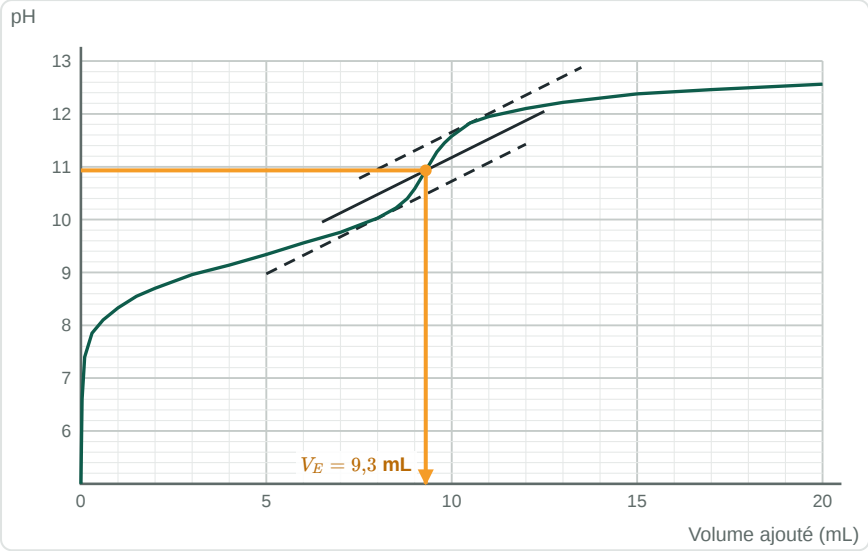
La lecture de V_E se fait à 0,2 mL près environ, soit une masse entre 2,5 et 2,7 g. À la demi-équivalence (4,65 mL), on lit $\mathrm{pH} \approx 9{,}3$, proche du $\mathrm{p}K_A$: l'espèce dosée est bien $\mathrm{NH_4^+}$.

MÉTHODE

Tangentes parallèles : tracer deux tangentes parallèles de part et d'autre du saut de pH, puis la parallèle équidistante des deux. Elle coupe la courbe au point d'équivalence, dont on lit l'abscisse V_E.

À LA CALCULATRICE





2.2.2 · Annexe complétée : méthode des tangentes parallèles et lecture de V_E

2.3 Calculer la masse d'azote N dans une mole de nitrate d'ammonium NH_4NO_3, comparer les apports en azote du digestat et de cet engrais, puis donner un avantage et un inconvénient de la valorisation du digestat comme engrais.

Données utiles $M(\text{H}) = 1{,}0$; $M(\text{N}) = 14{,}0$; $M(\text{O}) = 16{,}0$ g · mol^{-1} ; digestat : 2,6 g d'azote par kg (2.2.2)

Une mole de NH_4NO_3 contient deux moles d'atomes N : $m(\text{N}) = 2 \times 14{,}0 = 28{,}0$ g.

Masse molaire : $M(NH_4NO_3) = 2 \times 14{,}0 + 4 \times 1{,}0 + 3 \times 16{,}0 = 80{,}0$ g · mol^{-1}.

Fraction massique d'azote : $\dfrac{28{,}0}{80{,}0} = 0{,}350$, soit 350 g d'azote par kilogramme d'engrais de synthèse, contre 2,6 g par kilogramme de digestat.

$m(\text{N}) = 28{,}0$ g par mole ; à masse égale, l'engrais de synthèse apporte environ 135 fois plus d'azote que le digestat.

Avantage : le digestat est un déchet produit sur place, gratuit, que l'on valorise au lieu de fabriquer et d'acheter un engrais industriel.

Inconvénient : sa faible teneur en azote impose d'en épandre des masses très importantes (transport, temps de travail).

PIÈGE
Ne compter qu'un atome d'azote : la formule NH_4NO_3 en contient deux, l'un dans l'ion ammonium NH_4^+, l'autre dans l'ion nitrate NO_3^-.

À LA CALCULATRICE

