Cogénération en exploitation agricole

Bac S 2014 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Vérifier la cohérence entre la composition du biogaz (document 1) et les données énergétiques du document 4.

Données utiles document 1 : biogaz à 60 % de méthane ; document 4 : 1 m³ de biogaz équivaut à 0,6 m³ de méthane

Document 1 : le biogaz contient 60 % de méthane CH_4, le reste (40 %) étant du CO_2 et du H_2S. Un volume de $1\ \text{m}^3$ de biogaz renferme donc $0{,}60 \times 1 = 0{,}6\ \text{m}^3$ de méthane.

Document 4 : la combustion de $1\ \text{m}^3$ de biogaz fournit autant d'énergie que celle de $0{,}6\ \text{m}^3$ de méthane.

Les deux valeurs coïncident : seul le méthane du biogaz libère de l'énergie en brûlant.

$1\ \text{m}^3$ de biogaz contient $0{,}6\ \text{m}^3$ de méthane : les documents 1 et 4 sont cohérents.

COMPRENDRE

Le dioxyde de carbone est déjà un produit de combustion : il ne brûle pas. L'apport du sulfure d'hydrogène, présent en très faible proportion, est négligé.

MÉTHODE

« Vérifier la cohérence » : extraire une valeur de chaque document, les ramener à la même grandeur (ici un volume de méthane par mètre cube de biogaz), puis conclure par une phrase.

2.1 Calculer en MW·h l'énergie libérée en un an par la combustion du biogaz, puis l'ordre de grandeur du volume de biogaz correspondant.

Données utiles document 3 : $E_{th} = 860$ MWh, $E_{el} = 830$ MWh, rendement global $\eta = 70\ \%$; document 4 : 1 m³ de méthane fournit 10 kWh ; 1 m³ de biogaz équivaut à 0,6 m³ de méthane

Énergie totale produite par le cogénérateur en un an : $E_{prod} = E_{th} + E_{el} = 860 + 830 = 1690\ \text{MWh}$.

Le rendement global est $\eta = \dfrac{E_{prod}}{E_{comb}}$, donc

$$E_{comb} = \frac{E_{prod}}{\eta} = \frac{1690}{0{,}70} = 2{,}4 \times 10^3\ \text{MWh}$$

Énergie fournie par $1\ \text{m}^3$ de biogaz : $0{,}6 \times 10 = 6\ \text{kWh}$.

$$V_{biogaz} = \frac{E_{comb}}{6\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}} = \frac{2{,}4 \times 10^6\ \text{kWh}}{6\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}} = 4 \times 10^5\ \text{m}^3$$

$E_{comb} = 2{,}4 \times 10^3$ MWh par an ; $V_{biogaz} \approx 4 \times 10^5\ \text{m}^3$, soit un ordre de grandeur de $10^5\ \text{m}^3$.

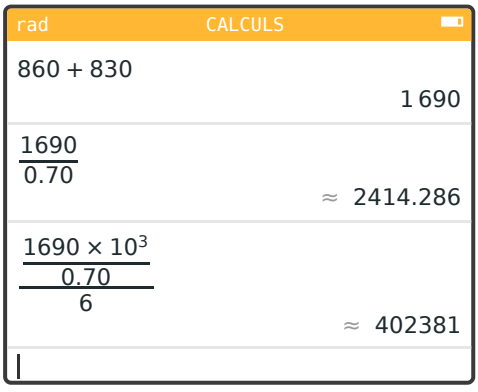
PIÈGE

Répondre 1690 MWh : c'est l'énergie produite par le cogénérateur, pas celle libérée par la combustion. Il faut diviser par le rendement, et non multiplier : l'énergie de combustion est la plus grande des deux.

COMPRENDRE

Le rendement 70 % a deux chiffres significatifs : on écrit $2{,}4 \times 10^3$ MWh. L'ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche : 4×10^5 est inférieur à 5×10^5, donc 10^5.

À LA CALCULATRICE



2.2 Déterminer, en m³, le volume d'eau qui peut être chauffé de 10 °C à 70 °C chaque année grâce à l'énergie thermique produite. Justifier que cette eau chaude suffit à la salle de traite et à plusieurs usagers.

Données utiles $E_{th} = 860$ MWh ; $c_{eau} = 4180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\rho_{eau} = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; 1 kWh = 3600 kJ ; salle de traite : 200 L par jour

L'énergie thermique reçue par une masse m d'eau dont la température passe de θ_i à θ_f est

$$E_{th} = m\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i) = \rho_{eau}\, V_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)$$

Conversion : $E_{th} = 860 \times 10^3\ \text{kWh} = 860 \times 10^3 \times 3600 \times 10^3\ \text{J} = 3{,}10 \times 10^{12}\ \text{J}$.

Écart de température : $\theta_f - \theta_i = 70 - 10 = 60\ ^\circ\text{C} = 60\ \text{K}$.

$$V_{eau} = \frac{E_{th}}{\rho_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)} = \frac{3{,}10 \times 10^{12}}{1000 \times 4180 \times 60} = 1{,}2 \times 10^4\ \text{m}^3$$

Besoin annuel de la salle de traite : $200 \times 365 = 7{,}3 \times 10^4\ \text{L} = 73\ \text{m}^3$.

Ce besoin est environ 170 fois plus petit que le volume d'eau chaude disponible : il reste largement de quoi alimenter le réseau de chaleur des autres usagers.

$V_{eau} = 1{,}2 \times 10^4\ \text{m}^3$ par an, très supérieur aux $73\ \text{m}^3$ de la salle de traite.

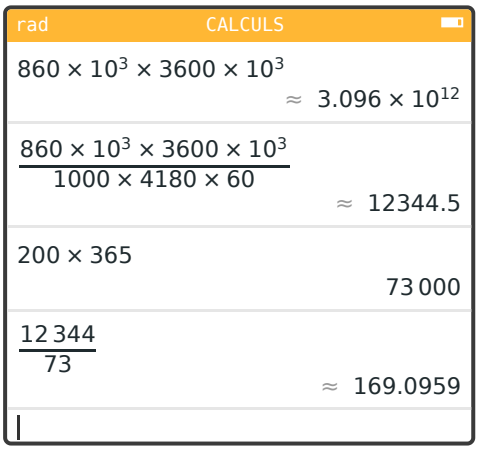
PIÈGE

Garder l'énergie en MWh ou en kJ alors que c_{eau} est en joules. Tout convertir en joules : 1 kWh = $3{,}6 \times 10^6$ J. Comparer aussi dans la même unité : 200 L par jour, c'est 73 m³ par an.

COMPRENDRE

Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273. Le résultat est un maximum : une partie de la chaleur sert à maintenir le digesteur à 37 °C (document 2).

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer l'énergie électrique annuelle produite par le cogénérateur à partir de sa puissance électrique. Comparer à une autre donnée du document 3 et interpréter l'écart.

Données utiles $P = 104$ kW ; document 3 : production électrique annuelle de 830 MWh

Pour un fonctionnement à puissance constante pendant une durée Δt : $E = P\,\Delta t$.

Durée d'une année : $\Delta t = 365 \times 24 = 8760$ h.

$$E = 104 \times 8760 = 9{,}11 \times 10^5 \text{ kWh} = 911 \text{ MWh}$$

Le document 3 annonce une production électrique annuelle de 830 MWh, inférieure d'environ 9 % à la valeur calculée.

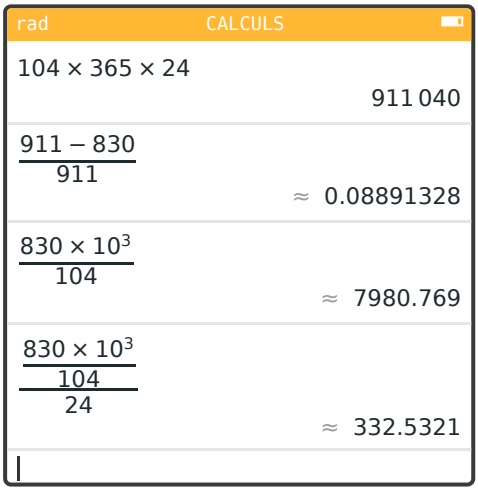
Interprétation : le calcul suppose un fonctionnement permanent à pleine puissance. En réalité, le cogénérateur est parfois arrêté (entretien, pannes) ou tourne à puissance réduite quand la production de biogaz est insuffisante. La production de 830 MWh correspond à $\dfrac{830 \times 10^3}{104} \approx 8{,}0 \times 10^3$ h à pleine puissance, soit environ 330 jours.

$E = 911$ MWh, contre 830 MWh annoncés : le cogénérateur ne fonctionne pas toute l'année à pleine puissance.

PIÈGE
S'arrêter après le calcul. La question demande trois choses : calculer, comparer (avec un écart chiffré), interpréter.

MÉTHODE
Avec une puissance en kW et une durée en heures, le produit donne directement des kWh : aucun passage par les joules n'est nécessaire.

À LA CALCULATRICE



3 Donner deux arguments montrant l'intérêt environnemental d'un dispositif méthanisation-cogénération dans une exploitation agricole.

Deux arguments parmi les suivants :

- Valorisation des déchets : 3200 tonnes de matière organique par an (fumier, résidus végétaux) deviennent une ressource énergétique au lieu d'être simplement stockées ou éliminées.
- Moins de gaz à effet de serre : l'installation évite l'émission d'environ 420 tonnes de $\mathrm{CO_2}$ par an.
- Énergie produite sur place à partir d'une ressource renouvelable : 830 MWh d'électricité et 860 MWh de chaleur par an (eau chaude pour environ $1{,}2 \times 10^4\ \mathrm{m^3}$, question 2.2) qui ne sont pas demandés à des combustibles fossiles.
- Le digestat sert d'engrais par épandage, ce qui limite le recours aux engrais de synthèse.

Deux arguments chiffrés, par exemple : 3200 t de déchets organiques valorisées par an et environ 420 t de $\mathrm{CO_2}$ économisées par an.

MÉTHODE

« En prenant appui sur les documents » : chaque argument s'accompagne d'une valeur ou d'un élément précis tiré d'un document. Deux arguments sont demandés : en rédiger deux nettement distincts.