EXERCICE II : UNE « TOUR ÉNERGÉTIQUE » (7,5 points)

Une tour de stockage d'énergie – premier ouvrage de ce type en France – a été inaugurée, le 23 novembre 2016, à Brest. Raccordée au réseau de chaleur brestois, cet énorme ballon d'eau chaude baptisé « Miroir des énergies » sert de chauffage d'appoint pour l'université située à proximité.

La tour permet de stocker 1000 m³ d'eau. La nuit, la tour récupère l'énergie issue de l'usine de valorisation énergétique des déchets située à proximité, ce qui permet de porter la température de l'eau à 98°C. Au matin, on utilise une partie de l'énergie stockée pour chauffer des locaux de l'université.



http://www.brest-bellevue.net D'après : Génie climatique magazine – Thomas Hamon

Ce dispositif permet de diminuer la quantité de gaz naturel consommée pour le chauffage. 2 500 MWh sont ainsi récupérés par an, entrainant une réduction des émissions de CO_2 de la métropole brestoise de 12 700 tonnes sur 20 ans.

1. Chauffage de l'eau durant la nuit

À l'intérieur de la tour, l'eau est stockée dans une cuve unique.

1.1. Donner le nom des trois types de transferts thermiques.

1.2. Indiquer quel type de transfert thermique principal permet à la température de l'eau de devenir homogène.

Dans la suite de l'exercice, on considère que la température de l'eau est homogène.

1.3. Pendant un cycle de chauffage de 24 h des bâtiments, la température de l'eau contenue dans la tour diminue de 98°C à 72°C. La nuit, elle est portée à 98°C.

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4180$ J.kg^{-1}.K^{-1}
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1\,000$ kg.m^{-3}

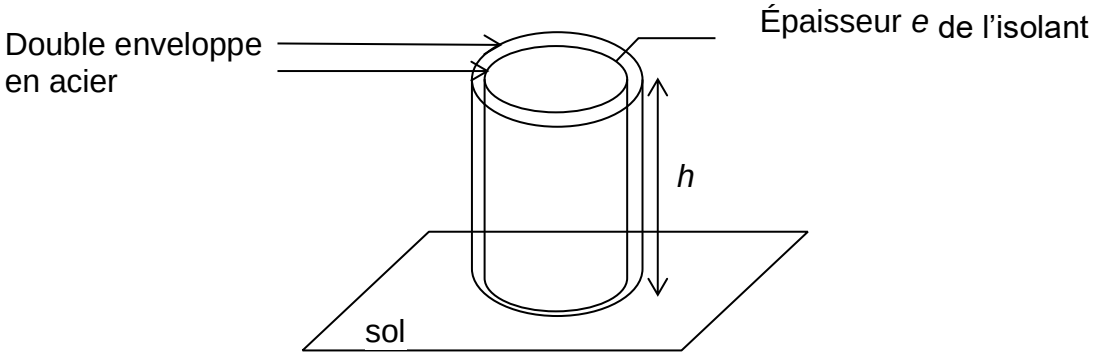
1.3.1. Donner la relation entre la variation d'énergie interne de l'eau à l'intérieur de la cuve et la variation de sa température.

1.3.2. Montrer que la quantité d'énergie Q à fournir pour élever la température de l'eau contenue dans la tour de 72 à 98°C est égale à $1{,}1 \times 10^{11}$ J.

2. Isolation thermique de la tour de stockage

La cuve stockant l'eau est constituée de deux enveloppes en acier séparées d'un isolant de type laine de verre d'épaisseur *e*.

Cette cuve peut être modélisée par un cylindre de hauteur *h* égale à 19,50 m et de diamètre extérieur *d* égal à 9,50 m et d'épaisseur *e*, fermé dans sa partie supérieure par un disque de même diamètre et de même épaisseur.



Données :

- La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane est donnée par la relation :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda . S}$$

où :

e est l'épaisseur de la paroi (en m),
S la surface d'échange en m²,
λ la conductivité thermique (en $W.m^{-1}.K^{-1}$).

- Le flux thermique φ à travers une paroi de résistance thermique R_{th} séparant deux milieux de températures respectives T_1 et T_2 est donné par la relation :

$$\varphi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$

où :

φ est exprimé en *W,*
R_{th} en unité du système international,
T_1 et T_2 en K.

- Conductivité thermique de l'isolant à l'intérieur de la double enveloppe en acier :
$\lambda = 0{,}032\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

2.1. Indiquer le type de transferts thermiques qui n'existe pratiquement plus entre la cuve et le milieu extérieur.

2.2. Schématiser les échanges énergétiques du système {eau de la cuve} sur une durée de 24 h avec l'usine de valorisation des déchets, les locaux de l'université et l'environnement. Préciser le sens des transferts thermiques.

2.3. Isolation de la tour

On néglige le transfert thermique vers le sol.

2.3.1. Montrer que la surface S de la paroi extérieure de la cuve en contact avec l'air est égale à 653 m^2.

2.3.2. Calculer l'épaisseur minimale e de la couche d'isolant nécessaire pour que les pertes thermiques n'excèdent pas 1,0 % de l'énergie reçue de l'usine de valorisation sur 24 h en faisant les hypothèses suivantes :

- les dimensions de la tour sont telles que l'on peut modéliser la résistance thermique de sa paroi par celle d'une paroi plane de même surface S ;
- on considère que la paroi n'est constituée que du matériau isolant ; - la valeur de la température moyenne de l'eau contenue dans la tour de stockage d'énergie thermique est de 90°C ;
- la valeur de la température moyenne extérieure à Brest est de 10°C.

3. Réduction de l'empreinte carbone

La tour de stockage permet de diminuer le recours aux ressources d'énergie fossiles telles que le gaz naturel.

Données

- La combustion complète d'un kg de gaz naturel libère une énergie de 54,0 MJ.
- Masses molaires moléculaires en $g.mol^{-1}$:

  dioxyde de carbone : 44,0

  méthane : 16,0
- 1 MWh = 3 600 MJ

On assimile le gaz naturel à son principal constituant, le méthane.

3.1. Écrire l'équation de combustion complète du méthane CH_4 sachant que les produits de la réaction sont le dioxyde de carbone et l'eau.

3.2. « 2 500 MWh sont ainsi récupérés par an, entrainant une réduction des émissions de CO_2 de la métropole brestoise de 12 700 tonnes sur 20 ans. »

Les données chiffrées de cette affirmation sont-elles cohérentes ?

Le candidat est invité à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.