

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR  
**CONTRÔLE INDUSTRIEL et  
 REGULATION AUTOMATIQUE**

E-3 SCIENCES PHYSIQUES

**U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES**

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2,5*

	<i>Durée conseillée</i>
Chimie industrielle	45 minutes
Physique industrielle	1 h 15

**Matériel autorisé :**

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n° 99-186, 16/11/1999).

**Tout autre matériel est interdit.**

**Aucun document autorisé.**

**Document à rendre avec la copie :**

Le **DOCUMENT RÉPONSE 1** (pages 9/10 et 10/10) est fourni en double exemplaire, un exemplaire étant **à remettre avec la copie**, l'autre servant de brouillon éventuel.



*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.*

*Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10.*

- **Chimie industrielle** : page 2 à page 3
- **Physique industrielle** : page 4 à page 10

**S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera alors clairement et précisément ces hypothèses.**

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2015
CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES	Code : CAE3CI	Page 1/10

## CHAUDIÈRE AU BOIS

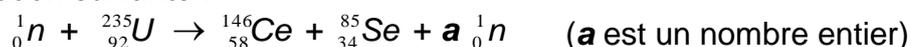
Une ville a fait le choix d'utiliser la filière bois pour produire la chaleur nécessaire pour chauffer la mairie, le théâtre, le stade de foot, et la piscine municipale. Ceci permet de ne pas dépendre du prix du gaz. De plus, le fait d'avoir un bilan carbone neutre évite de payer la taxe carbone.

### CHIMIE INDUSTRIELLE (20 points)

#### PARTIE 1 : équivalence énergétique uranium-bois

On souhaite connaître la masse d'uranium qui aurait été nécessaire pour produire la même énergie que celle fournie par la chaudière à bois choisie.

La production d'énergie dans les centrales nucléaires est due à la fission des noyaux d'uranium 235 selon l'équation suivante :

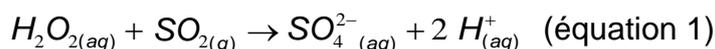


- Q1. Pourquoi cette réaction est une réaction nucléaire ? Pourquoi est-elle appelée réaction de fission nucléaire ?
- Q2. Déterminer la valeur de **a**, en précisant les lois de conservation qui interviennent lors d'une réaction nucléaire.
- Q3. Calculer la variation de masse  $|\Delta m|$  qui accompagne la fission d'un noyau d'atome d'uranium 235.
- Q4. En considérant que cette variation de masse, qui accompagne la fission d'un atome d'uranium 235, est de  $3,0 \times 10^{-28}$  kg, calculer l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'atome uranium 235.
- Q5. Quelle est l'énergie libérée par 1,00 g d'uranium dans ces conditions ?
- Q6. Calculer la masse théorique d'uranium 235 qui permettrait de fournir l'énergie de  $2,0 \times 10^{13}$  J, nécessaire au chauffage de la piscine.
- Q7. Calculer la masse de bois qui fournit la même énergie lors de sa combustion, sachant que le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du bois est 4 000 kWh par tonne. Conclure. (1 kWh = 3 600 kJ)

#### PARTIE 2 : qualité de l'air

On souhaite s'assurer de la qualité de l'air aux environs de la chaudière, en particulier au niveau de la teneur en dioxyde de soufre gazeux  $\text{SO}_{2(g)}$ . La teneur en  $\text{SO}_{2(g)}$  ne doit pas excéder  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

On fait barboter un volume d'air de  $100,0 \text{ m}^3$  prélevé selon un protocole normalisé dans un volume  $V = 0,500 \text{ L}$  de solution de peroxyde d'hydrogène (équation 1). On obtient alors la solution  $\text{S}_1$ .



## CAE3CI

Le volume  $V = 0,500$  L de la solution  $S_1$  est ensuite dosé par une solution d'hydroxyde de sodium en présence d'un indicateur coloré adéquat.

- Q8.** Écrire la demi-équation d'oxydoréduction qui concerne le couple  $H_2O_{2(aq)} / H_2O_{(liq)}$ .
- Q9.** Écrire la demi-équation d'oxydoréduction qui concerne le couple  $SO_4^{2-}{}_{(aq)} / SO_{2(g)}$ .
- Q10.** Montrer que la réaction du dioxyde de soufre avec le peroxyde d'hydrogène se produit selon l'équation 1.

On dose les ions oxonium  $H_{(aq)}^+$  contenus dans le volume  $V = 0,500$  L de la solution  $S_1$  par une solution d'hydroxyde de sodium ( $Na_{(aq)}^+ + OH_{(aq)}^-$ ) de concentration molaire  $C_b = 1,00 \times 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup>. Le virage de l'indicateur coloré se produit pour un volume de soude versé  $V_E = 11,5$  mL.

L'équation de la réaction de dosage est :  $OH_{(aq)}^- + H_{(aq)}^+ \rightarrow H_2O_{(liq)}$ .

- Q11.** Quel est le nom courant de l'hydroxyde de sodium ?
- Q12.** Calculer la quantité de matière d'ions oxonium  $H_{(aq)}^+$  (en mol) contenue dans le volume  $V = 0,500$  L de solution  $S_1$ .
- Q13.** En déduire la quantité de matière de  $SO_{2(g)}$  contenue dans le volume de  $100,0$  m<sup>3</sup> d'air prélevé.
- Q14.** La qualité de l'air est-elle respectée ? Justifier.

### Données :

- Masses molaires :  $M(S) = 32,0$  g.mol<sup>-1</sup>,  $M(O) = 16,0$  g.mol<sup>-1</sup>,  $M(^{235}U) = 235$  g.mol<sup>-1</sup>
- $1\mu\text{g} = 10^{-6}$  g
- $1$  u (unité de masse atomique) =  $1,6606 \times 10^{-27}$  kg
- $1$  u =  $931,50$  MeV.c<sup>-2</sup>
- $1$  MeV =  $1,6 \times 10^{-13}$  J
- $C = 2,9979 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>
- $N_A = 6,0221 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>

Masse de quelques particules		
proton	neutron	électron
$m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg	$m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$ kg	$m_e = 9,1093 \times 10^{-31}$ kg

Masses atomiques				
$m_{\text{neutron}}$	$^{235}_{92}U$	$^{146}_{58}Ce$	$^{85}_{34}Se$	$^2_1H$
1,0086 u	235,04 u	145,91 u	84,922 u	2,0141 u

## PHYSIQUE INDUSTRIELLE (30 points)

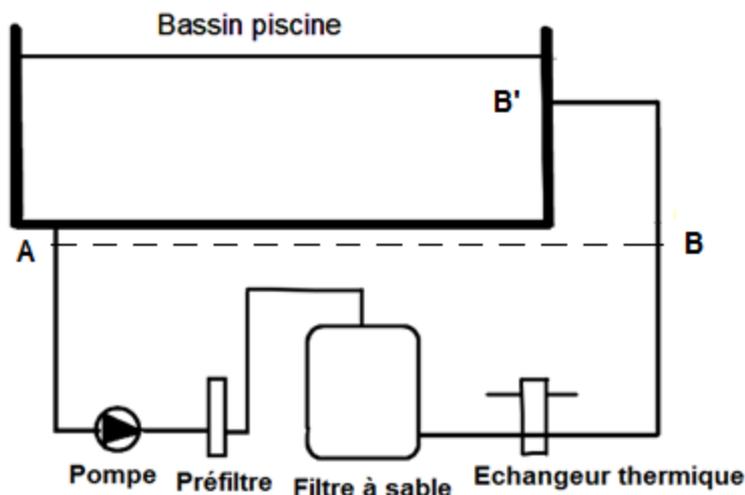
*Certaines questions sont indépendantes.  
Des données nécessaires pour traiter le problème sont rassemblées  
en annexe pages 7/10 et 8/10.*

### PARTIE 1 : étude du complexe aquatique

#### ➤ Étude du circuit de filtration de la piscine

La piscine municipale fait partie du complexe. Elle comporte un grand bassin contenant un volume de  $960 \text{ m}^3$  d'eau, qui est relié à un circuit hydraulique. L'eau de ce bassin est à la température de  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ .

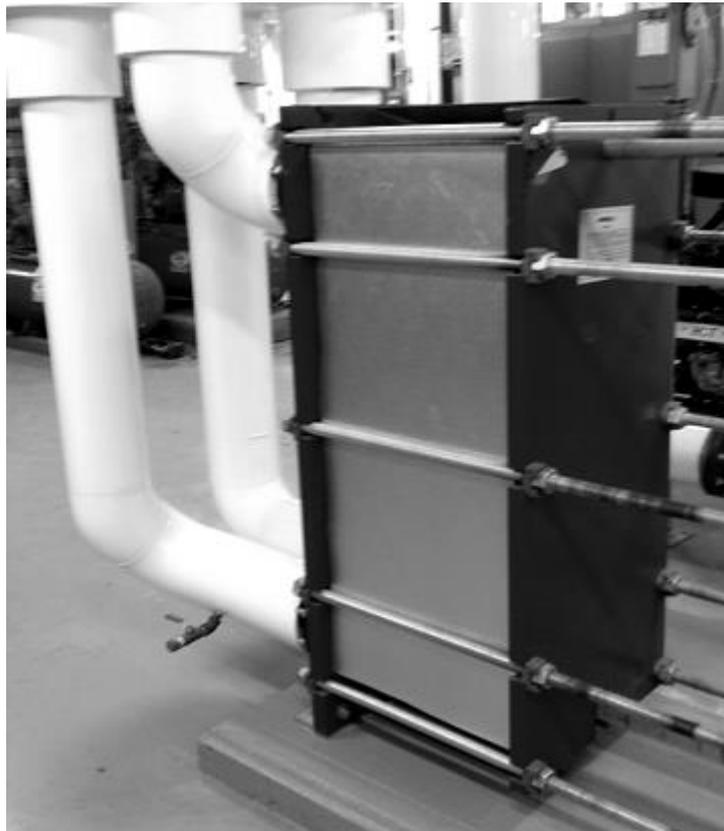
La pompe a un débit volumique  $Q_v = 80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Le diamètre  $D$  des canalisations est de  $160 \text{ mm}$ , la longueur totale  $L$  des canalisations est de  $42 \text{ mètres}$ .



- Q15.** Calculer la vitesse  $V$  de l'eau dans les canalisations.
- Q16.** En déduire le nombre de Reynolds, indiquer la nature de l'écoulement.
- Q17.** Calculer le coefficient de perte de charge  $\lambda$ .
- Q18.** Grâce à la pompe, les pressions sont identiques aux points A et B (les pertes de charge entre B et B' sont supposées négligeables). En appliquant l'équation de Bernoulli entre les points A et B dans le circuit (les données sur les pertes de charge étant fournies en annexe page 7/10), déterminer quelle pompe convient en exploitant le **graphique 1** à la page 8/10.
- Q19.** En déduire la puissance hydraulique fournie par la pompe au liquide.

### ➤ Étude du circuit de chauffage de l'eau de la piscine

La chaudière à bois produit l'eau chaude qui arrive dans l'échangeur thermique à plaques de la piscine avec un débit de  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . L'échangeur est monté à contre courant. L'eau arrive de la chaudière à bois à la température de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  et retourne vers la chaudière à la température de  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . L'eau à réchauffer arrive de la piscine à la température de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  et retourne à la piscine à la température de  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ .



*Photo de l'échangeur à plaques*

**Q20.** Calculer la puissance fournie par le circuit provenant de la chaudière à bois.

On considère que l'échangeur a une puissance de 700 kW.

**Q21.** Calculer la surface d'échange  $S$  de l'échangeur.

**Q22.** En déduire le nombre de plaques, chaque plaque étant assimilée à un rectangle de 1,10 m de longueur et de 0,35 m de largeur.

**PARTIE 2 : étude de la climatisation de la salle de réception du stade de foot**

La salle de réception ayant une grande surface vitrée qui donne sur le stade, il est nécessaire qu'elle soit climatisée. La climatisation a été prévue avec une puissance frigorifique de 30 kW, le fluide frigorigène utilisé est le R410 A.

Le cycle frigorifique réversible, parcouru dans le sens ABCD, est indiqué sur le **document réponse 1, page 10/10 (à rendre avec la copie)**. Chaque petite graduation sur l'axe horizontal du graphique correspond à  $2 \text{ kJ.kg}^{-1}$ . La transformation BC est isentropique.

- Q23.** Remplir les cases du cycle frigorifique du **document réponse 1, page 10/10 (à rendre avec la copie)** avec les termes suivants : détenteur, condenseur, compresseur, évaporateur.
- Q24.** Exprimer, puis calculer le travail massique  $W_{\text{fourni}}$  nécessaire pour comprimer le gaz de 8 bar à 20 bar dans le cycle frigorifique.
- Q25.** Exprimer puis calculer la quantité de chaleur massique reçue par le fluide dans la salle de réception.
- Q26.** Quel doit être le débit massique  $Q_m$  du fluide frigorigène, pour obtenir une puissance frigorifique de 30 kW ?

**Q27.** Calculer l'efficacité de la climatisation  $e = \frac{Q_{\text{reçue}}}{W_{\text{fourni}}}$ .

*Fin de l'énoncé.*

<b>ANNEXE</b>
---------------

**Données :**

- $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- Pression atmosphérique :  $P_{\text{atm}} = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  (dans les conditions expérimentales)
- Capacité thermique massique de l'eau :  $C = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Expression du nombre de Reynolds :  $Re = \frac{\rho.V.D}{\eta}$
- La viscosité dynamique  $\eta$  de l'eau dans les canalisations est de  $8,15 \times 10^{-4} \text{ USI}$
- Perte de charge pour un écoulement laminaire :  $\lambda = \frac{64}{Re}$
- Perte de charge pour un écoulement turbulent :  $\lambda = \frac{0,0432}{\sqrt{D}}$

	Préfiltre	Filtre à sable	Échangeur	Perte de charge totale (singulière et régulière) de la canalisation entre A et B
Perte de charge (bar)	0,10	0,30	0,60	0,30
Perte de charge (mCE)	1,0	3,0	6,0	3,0

Puissance hydraulique :  $P_{\text{hydr}} = Q_v \cdot \Delta P_{\text{pompe}}$  avec  $\Delta P_{\text{pompe}}$  charge de la pompe (Pa)

Échangeur co-courant :

Différence de température moyenne logarithmique :  $\Delta T_{ml} = \frac{(T_E - t_E) - (T_S - t_S)}{\ln\left(\frac{T_E - t_E}{T_S - t_S}\right)}$

$T_E$  : Température d'entrée du liquide chaud

$T_S$  : Température de sortie du fluide chaud

$t_E$  : Température d'entrée du fluide froid

$t_S$  : Température de sortie du fluide froid

Échangeur à contre courant :

Différence de température moyenne logarithmique : 
$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_E - t_S) - (T_S - t_E)}{\ln\left(\frac{T_E - t_S}{T_S - t_E}\right)}$$

$T_E$  : Température d'entrée du liquide chaud

$T_S$  : Température de sortie du fluide chaud

$t_E$  : Température d'entrée du fluide froid

$t_S$  : Température de sortie du fluide froid

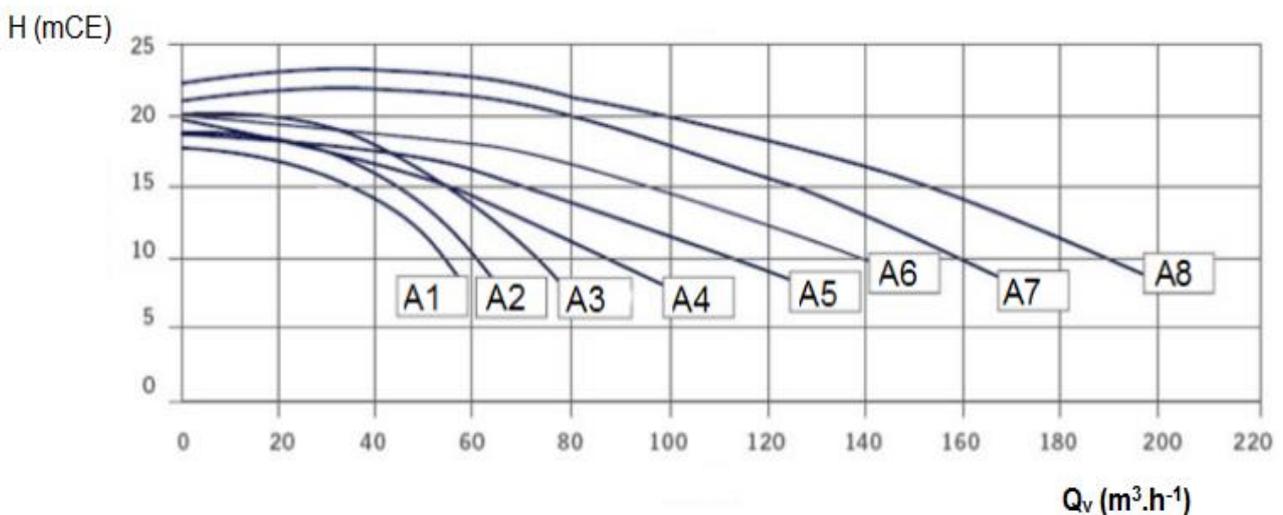
Puissance thermique :  $|P| = Q_v \cdot \rho \cdot C \cdot |\Delta\theta|$  avec  $\Delta\theta$  écart de température pour un fluide

Coefficient total de transmission thermique :  $K = 1\ 200\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Puissance échangée :  $|P| = K \cdot S \cdot \Delta T_{ml}$

Puissance thermique :  $P = Q_m \cdot \Delta h$  avec  $\Delta h$  variation d'enthalpie massique

Pompes série A (modèle A1: A8)  
 Courbe hauteur manométrique totale / Débit



**Graphique 1** : hauteur manométrique H en fonction du débit  $Q_v$  pour différentes pompes

DOCUMENT RÉPONSE 1

Diagramme enthalpique du fluide frigorigène R410 A

