

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

E-3 SCIENCES PHYSIQUES

**U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES**

**Durée : 2 heures**

**Coefficient : 2,5**

	Durée conseillée
Chimie industrielle	40 minutes
Physique industrielle	1h 15

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 7 pages numérotées de 1/7 à 7/7.*

- **Chimie industrielle** : page 2 à page 3
- **Physique industrielle** : page 4 à page 7

**ATTENTION :**

**L'ANNEXE 1 (pages 6/7 et 7/7) est fourni en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

**Aucun document autorisé.**  
**Calculatrice réglementaire autorisée.**  
**Tout autre matériel est interdit.**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

# CHIMIE INDUSTRIELLE

## Premier exercice : Réaction de fusion du réacteur ITER (10 points)

Le réacteur ITER (réacteur expérimental thermonucléaire international) en construction à Cadarache dans le sud de la France doit réaliser une réaction de fusion nucléaire.

Ce réacteur sera alimenté en noyaux de deutérium ( ${}^2_1\text{H}$ ) et en noyaux de lithium ( ${}^b_a\text{Li}$ ).

**Question 1)** Le lithium doit fournir des noyaux de tritium ( ${}^3_1\text{H}$ ) nécessaires à la réaction de fusion.

Il se transforme dans le réacteur suivant l'équation :  ${}^b_a\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ .

1.a) En énonçant les lois utilisées, déterminer a et b.

1.b) Qualifier le lien qui relie les noyaux de tritium et de deutérium ?

**Question 2)** La réaction entre les noyaux de deutérium et de tritium doit fournir l'énergie du réacteur, son équation s'écrit :  ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ .

2.a) Calculer, en unité de masse atomique, la perte de masse  $\Delta m$  qui accompagne cette réaction.

2.b) Vérifier que l'énergie E dégagée est de 17,7 MeV par noyau de tritium.

**Question 3)** La production mondiale annuelle énergétique est actuellement d'environ 12 milliards de TEP.

Quelles sont les masses en tonnes de tritium et de deutérium qu'il faudrait pour produire cette énergie ?

**Question 4)** Les réserves mondiales de deutérium dans les océans sont estimées à  $4,6 \cdot 10^{13}$  tonnes. Calculer le nombre d'années de consommation énergétique mondiale correspondante si l'on fait l'hypothèse que la totalité de la production d'énergie est fournie par des réacteurs à fusion.

(En réalité, les réserves de lithium qui sont moins importantes limitent sensiblement cette durée).

### Données :

Masses atomiques :  $m({}^3_1\text{H}) = 3,016 \text{ u}$      $m({}^2_1\text{H}) = 2,013 \text{ u}$      $m({}^4_2\text{He}) = 4,001 \text{ u}$   
 $m({}^1_0\text{n}) = 1,009 \text{ u}$      $m({}^b_a\text{Li}) = 6,015 \text{ u}$

$1 \text{ u} = 931,4 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$      $1 \text{ TEP} = 4,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$      $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

**Deuxième exercice : L'eau semi-lourde source de deutérium (10 points)**

Lorsque les deux atomes d'hydrogène de l'eau sont remplacés par deux atomes de deutérium, on obtient de l'eau lourde. Lorsqu'un seul atome d'hydrogène de l'eau est remplacé par un atome de deutérium, on parle alors d'eau semi-lourde.

**Question 1)** Comme l'eau normale, l'eau lourde subit une transformation naturelle d'autoprotolyse dont l'équation peut s'écrire :  $2 \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HO}^-$

À 25 °C, la constante de cet équilibre a pour valeur  $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+].[\text{HO}^-] = 1,35.10^{-15}$   
Calculer la valeur du pH de l'eau lourde quand il y a autant d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{HO}^-$ .

**Question 2)** L'enthalpie de formation de l'eau lourde est légèrement différente de celle de l'eau normale et vaut :  $\Delta H_f^\circ = -249,20 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

2.a) Écrire et équilibrer l'équation de décomposition de l'eau en dihydrogène ( $\text{H}_2$ ) et en dioxygène ( $\text{O}_2$ ).

2.b) Vérifier que l'énergie E nécessaire pour décomposer 1 kg d'eau lourde est de 12,5 MJ.

2.c) Déterminer en  $\text{m}^3$  les volumes gazeux formés dans les Conditions Normales de Température et de Pression pour 1 kg d'eau lourde.

**Question 3)** On suppose que le deutérium présent dans les océans ( $4,6.10^{13}$  tonnes) l'est sous forme d'eau semi-lourde.

3.a) Calculer la teneur massique en deutérium dans l'eau de mer (exprimée en  $\text{g.m}^{-3}$ ).

3.b) Calculer la concentration en eau semi lourde dans l'eau de mer (exprimée en  $\text{mol.m}^{-3}$ ).

**Données :**

$$\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+])$$

$$M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{Deutérium}) = 2 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$V(\text{océans}) = 1,4.10^9 \text{ km}^3$$

$$\text{masse volumique } \rho \text{ eau} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\text{volume molaire des gaz} = 2,24.10^{-2} \text{ m}^3.\text{mol}^{-1}$$

# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

## Premier exercice : Refroidissement d'ITER et alimentation en eau (10 points)

Le réacteur I.T.E.R. ne produira pas d'électricité. Le but de ce réacteur est d'étudier et de mettre en œuvre la réaction de fusion. Un des objectifs est de pouvoir produire 500 MW de chaleur pendant 400 secondes.

Afin de dissiper cette chaleur produite, on amène de l'eau qui sera transformée en vapeur.

- Question 1)** Quelle est la valeur de l'énergie thermique  $Q$  fournie par ITER pendant les 400 secondes prévues de production.
- Question 2)** Quelle masse d'eau initialement à  $15^\circ\text{C}$  faut-il vaporiser à  $100^\circ\text{C}$  pour dissiper cette chaleur ?
- Question 3)** Montrer que le débit volumique d'eau  $Q_v$  nécessaire est d'environ  $700 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .
- Question 4)** On suppose qu'une canalisation droite et horizontale de diamètre  $D = 500 \text{ mm}$  et de longueur  $L = 1 \text{ km}$  est traversée par un débit d'eau  $Q_v = 700 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .
- 4.a)** Calculer la vitesse moyenne  $v$  d'écoulement de cette eau en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ?
- 4.b)** Quelle est la valeur du nombre de REYNOLDS  $Re$  associé à cet écoulement ?
- 4.c)** L'écoulement est-il laminaire ou turbulent ? Justifier.
- Question 5)** Calculer la perte de charge  $J$  de la canalisation à l'aide de la formule de LECHAPT et CALMON donnée ci-dessous.
- Question 6)** Montrer que la différence de pression entre les extrémités de la canalisation est de 133 hPa si le régime d'écoulement est permanent.

**Données :**

$C_{\text{eau}} = 4\,186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\eta_{\text{eau}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
$L_{v \text{ eau}} = 2\,256 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
$\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	

**Nombre de REYNOLDS :**

$$Re = (\rho \cdot v \cdot D) / \eta$$

Avec  $\rho$  en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;  $v$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $D$  en  $\text{m}$  ;  $\eta$  en  $\text{Pa} \cdot \text{s}$

**Formule de LECHAPT et CALMON :**

$$J = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot (Q_v)^2 \cdot D^{-5} \cdot L$$

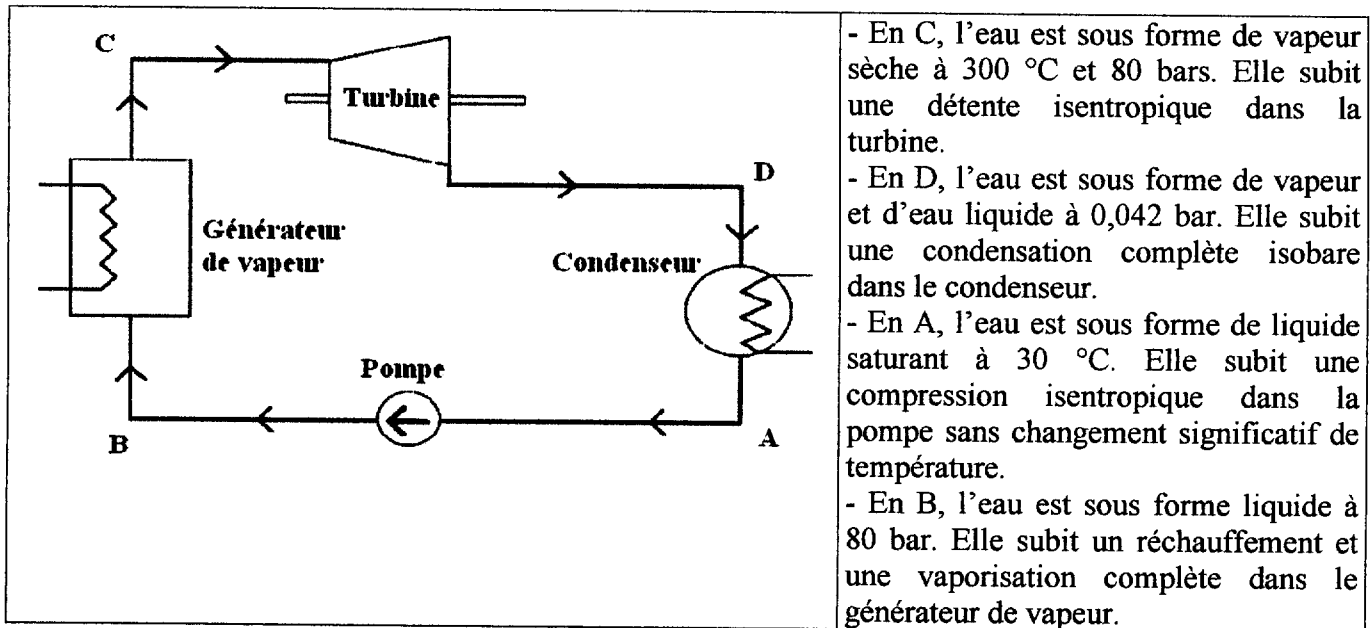
Avec  $Q_v$  en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $D$  en  $\text{m}$  ;  $L$  en  $\text{m}$  ;  $J$  en  $\text{m}$

**Deuxième exercice : Production d'électricité du réacteur DEMO (10 points)**

Pour produire de l'électricité il faut une source de chaleur stable. Le réacteur DEMO qui succédera à ITER devra fournir de façon continue une puissance thermique de 2 GW par fusion nucléaire.

**Question 1)** Le rendement de la conversion de l'énergie thermique en énergie électrique est de 30%. En déduire la puissance électrique  $P_{elec}$  du réacteur DEMO.

**Question 2)** La chaleur produite par un réacteur peut être transformée en électricité par l'intermédiaire d'un circuit d'eau/vapeur. Le cycle suivi par l'eau est schématisé ci-dessous :



- 2.a) Quelle est la valeur  $s_D$  de l'entropie massique du point D ?
- 2.b) Donner l'expression du titre massique en vapeur  $x_M$  en un point M quelconque en fonction des entropies massiques  $s_G$ (vapeur saturante)  $s_L$ (liquide saturant) et  $s_M$ .
- 2.c) Vérifier que le titre massique en vapeur  $x_D$  au point D est d'environ 67 %.
- 2.d) Montrer que la valeur  $h_D$  de l'enthalpie massique du point D est d'environ 1 750 kJ.kg<sup>-1</sup>.
- 2.e) Placer les points A, B, C, D et G sur le diagramme T(s) de l'eau (ANNEXE 1).

**Question 3)** On souhaite calculer le rendement théorique du cycle.

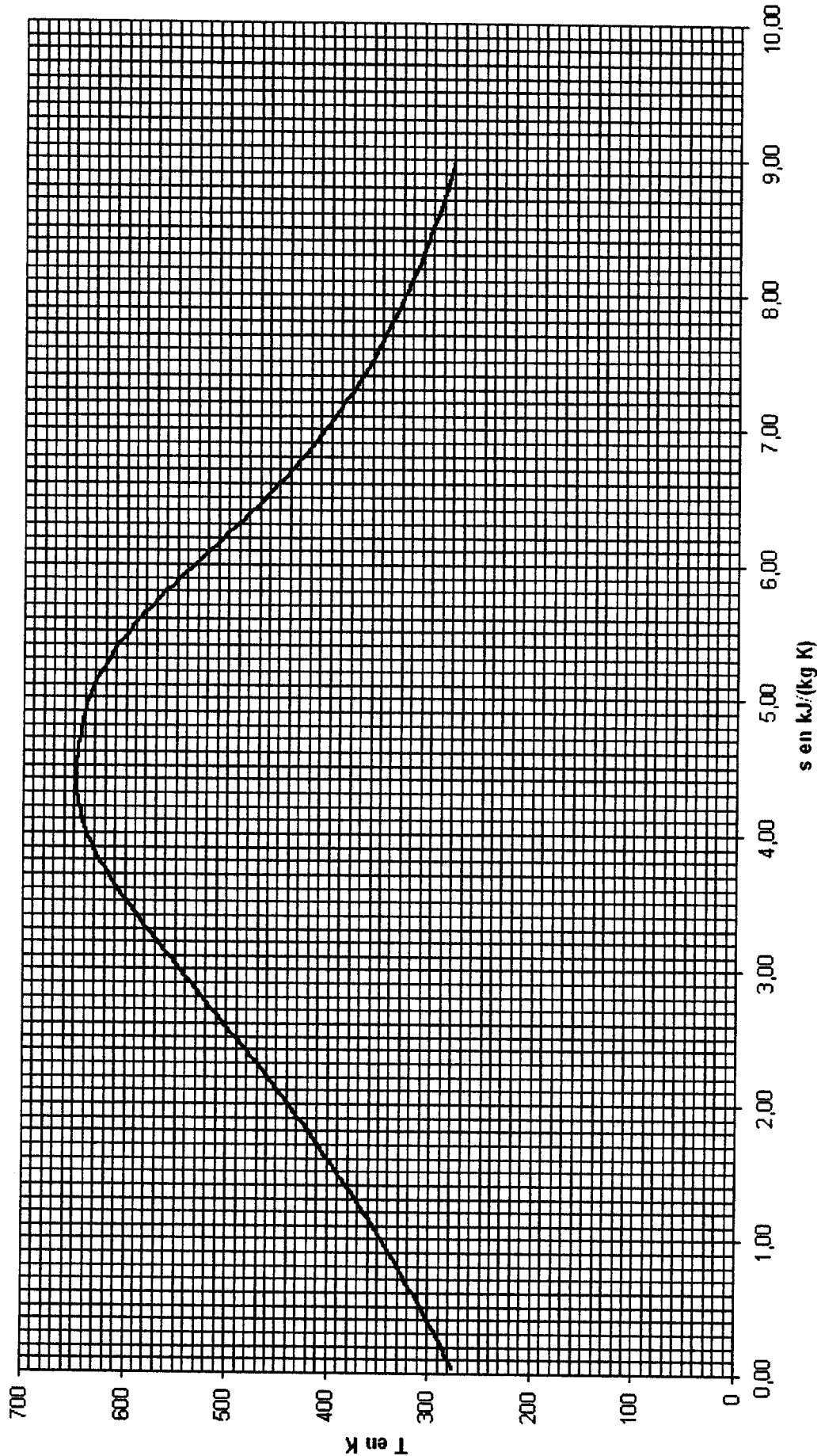
- 3.a) Calculer la valeur du travail massique avec transvasement  $w_t$  fournit à la turbine.
- 3.b) Calculer la valeur de la chaleur massique  $q$  consommée par le cycle dans le générateur de vapeur.
- 3.c) Déduire des résultats précédents le rendement théorique du cycle.

**Données :**

$h(C) = 2\,786 \text{ kJ.kg}^{-1}$	$s(C) = 5,8 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
$G = \text{point de vapeur saturante à } 30^\circ\text{C}$	
$h(G) = 2\,555 \text{ kJ.kg}^{-1}$	$s(G) = 8,5 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
$h(A) = 125 \text{ kJ.kg}^{-1}$	$s(A) = 0,4 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
$h(B) = 132 \text{ kJ.kg}^{-1}$	

ANNEXE I

Diagramme T(s) de l'eau



ANNEXE I

Diagramme T(s) de l'eau

