

BREVET de TECHNICIEN SUPERIEUR

CONTRÔLE INDUSTRIEL et RÉGULATION AUTOMATIQUE

SCIENCES PHYSIQUES

Physique-Chimie U-31

Physique : Durée conseillée : 1 h 15

Coefficient : 1,5

Chimie : Durée conseillée : 45 minutes

Coefficient : 1

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 9 pages :

- *Physique* : page 1 à page 7
- *Chimie* : pages 8 à 9

*Aucun document autorisé.
Calculatrice réglementaire autorisée.*

ATTENTION : La page 5 est fournie en double exemplaire dont un seul sera à rendre avec la copie.

Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.

PHYSIQUE

Étude des circuits secondaire et de refroidissement d'une centrale nucléaire (tranche 1450 MW)

- L'énoncé comporte 7 pages dont
- deux schémas : de la centrale page 2 et du réfrigérant page 4.
 - le diagramme de Mollier de l'eau (pages 5 et 6) en double exemplaire. Un seul sera rendu avec la copie.
 - un diagramme psychrométrique page 7.

Description des circuits

L'ensemble des valeurs numériques nécessaires se trouve sur les schémas pages 2 et 4.

Dans le circuit secondaire, la vapeur produite par les générateurs entraîne la turbine. L'eau condensée est recyclée après passage dans des réchauffeurs.

La pression dans la partie secondaire des générateurs de vapeur ①¹ est de 71 bars. L'eau peut ainsi bouillir au contact des tubes du générateur de vapeur, eux-mêmes parcourus par l'eau du circuit primaire. Elle en sort à l'état de vapeur saturée sèche.

La vapeur se détend dans la partie haute pression de la turbine ②. La détente de la vapeur en fait baisser la température. Des gouttelettes de condensation apparaissent. Il faut les séparer car leur impact à grande vitesse endommagerait aubes et directrices. Cette opération est faite à la sortie du corps haute pression, dans un « sécheur-surchauffeur » ③. La vapeur se détend ensuite dans les parties moyenne et basse pression de la turbine.

Des prélèvements de vapeur sont effectués à divers niveaux, pour réchauffer les flux retournant à la turbine.

A l'échappement de la turbine, la vapeur se condense sur les tubes du condenseur ④.

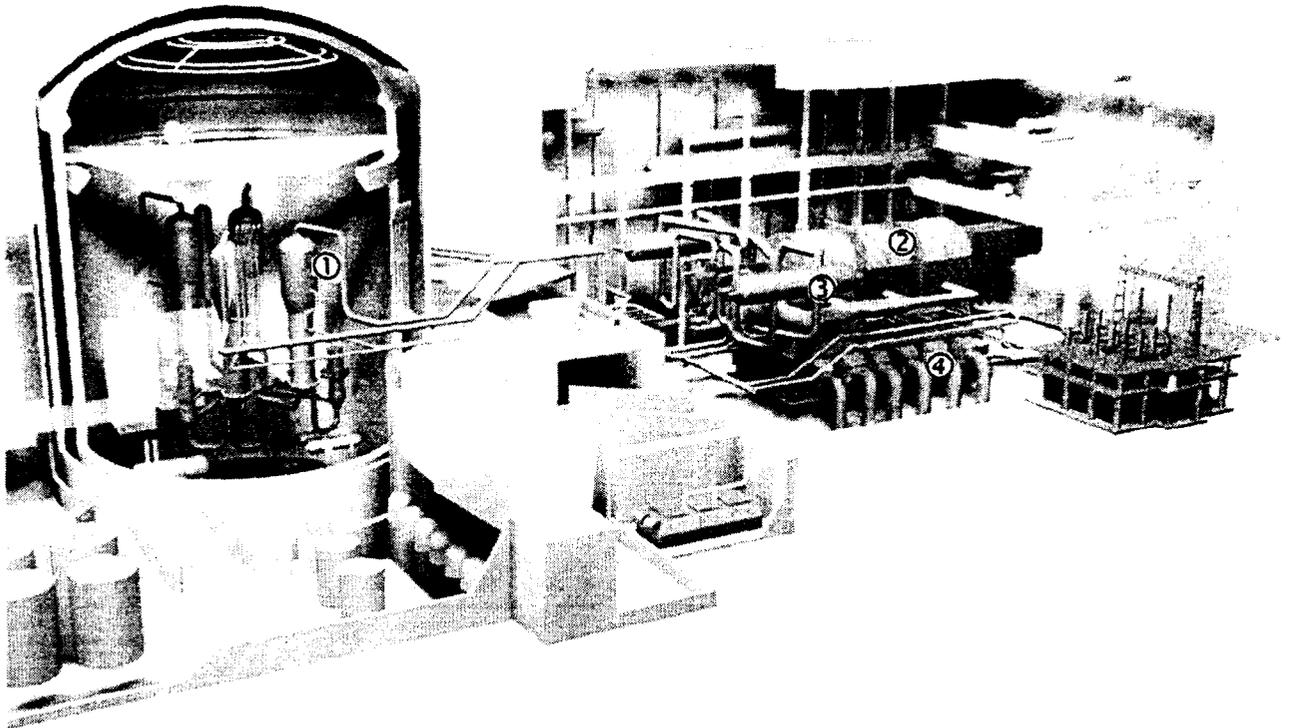
A la sortie du condenseur, l'eau du circuit secondaire est reprise par des pompes d'extraction, placées en contrebas du condenseur, au fond d'un puits de plus de 10 m de profondeur. D'autres pompes font monter la pression jusqu'à celle d'alimentation du générateur de vapeur.

L'eau de refroidissement du circuit secondaire est alors dirigée vers le réfrigérant atmosphérique (⑤ page 4) où elle est dispersée en fines gouttelettes en pluie face à un courant d'air ascendant. Une faible proportion de cette eau est évaporée, cédant ainsi de la chaleur à l'air.

Les deux parties du problème sont indépendantes.

¹ Les numéros font référence à l'éclaté de la centrale page 2

La centrale nucléaire 1450 MW



① Générateur vapeur (x 4)

- hauteur : 21,90 m
- diamètre supérieur : 4,76 m
- diamètre inférieur : 3,70 m
- masse : 421 tonnes

② Turbine « Arabelle »

- longueur : 51,205 m
- largeur (hors tout) : 12,80 m
- masse : 2810 tonnes

③ Sécheur surchauffeur (x2)

- longueur : 24,80 m
- diamètre : 4,70 m
- masse : 370 tonnes
- température : 180°C
- pression : 10 bars

④ Condenseur

- longueur : 37,10 m
- largeur : 21,50 m
- hauteur : 15,49 m
- masse vide : 1893 tonnes
- nombre de tubes : 128856
- surface d'échange : 103227 m²
- débit eau refroidissement : 48,35 m³/s
- temp. entrée eau : 21,5°C
- temp. sortie eau : 35°C

TURBINE « ARABELLE » - CARACTÉRISTIQUES

1 corps haute pression - moyenne pression (HP - MP)

3 corps basse pression (BP)

Caractéristiques de la vapeur :

- Entrée corps HP : 71 bars t = 287°C
Débit = 2176 kg/s
- Entrée corps MP : 10 bars t = 268°C
Débit = 1482 kg/s
- Entrée corps BP : 3,2 bars t = 151°C
Débit = 460 kg/s pour chaque corps
- Vitesse de rotation : 1500 tours/min
- Puissance électrique : 1520 MW

HP MP BP



Source : EdF (extraits de la brochure N4)

I. Étude de la turbine (16 points)

1. Placer sur le diagramme de Mollier le point A correspondant à l'entrée de la vapeur dans le corps HP de la turbine. Relever l'enthalpie massique h_A . Ces données seront récapitulées dans un tableau lors de la question 5.
2. La détente dans le corps HP se fait de manière isentropique. Le mélange eau-vapeur en sort dans les conditions d'entrée dans le sécheur-surchauffeur ③. Placer sur le diagramme le point B (entrée du sécheur-surchauffeur), relever l'enthalpie massique h_B .
3. Le sécheur-surchauffeur élève la température du mélange, en le séchant, jusqu'aux conditions d'entrée dans le corps MP. Placer le point C sur le diagramme, et relever l'enthalpie massique h_C .
4. Dans les corps MP et BP la détente est isentropique. La vapeur sort des corps BP à la pression de 0,2 bar. Placer les points D (sortie de MP) et E (sortie de BP). Relever les enthalpies massiques h_D et h_E , ainsi que le titre massique en vapeur du mélange sortant du corps BP : x_E .
5. Reproduire sur votre copie et compléter le tableau suivant :

Point	Pression	Enthalpie massique	Etat physique
Unité			
A			
B			
C			
D			
E			

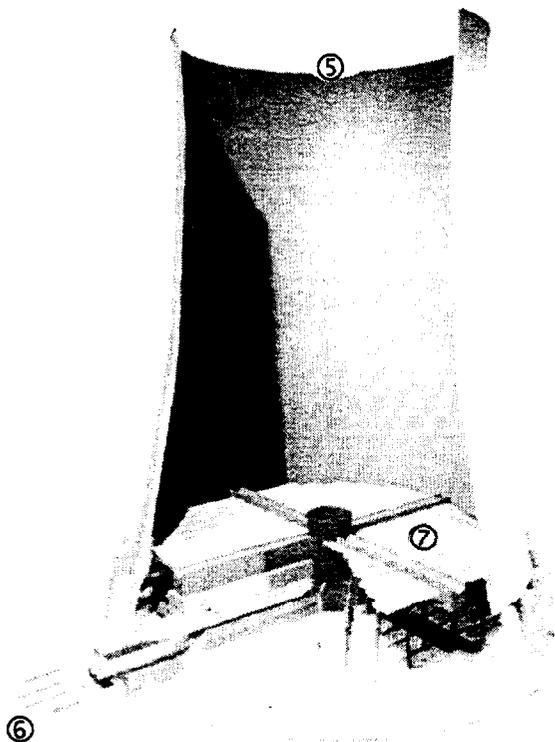
Représenter sur le diagramme, qui sera rendu avec la copie, les transformations précédentes en justifiant les tracés.

6. On souhaite calculer la puissance totale cédée par la vapeur à la turbine. Pour cela on utilise le tableau précédent ainsi que le débit assuré par le corps HP de la turbine.
 - a. Calculer la puissance cédée par la vapeur au corps HP.
 - b. La puissance cédée au corps MP est de $P_2 = 341$ MW, celle cédée aux corps BP est $P_3 = 621$ MW. Calculer la puissance totale cédée par la vapeur à la turbine.
 - c. Comparer cette puissance à la puissance électrique de la turbine. Quelles causes expliquent la différence ?

II. Étude du réfrigérant atmosphérique (14 points)

Données : nom volumique de l'eau liquide $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
 masse volumique de l'air à 18°C $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$

1. La chaleur enlevée au condenseur est évacuée dans le réfrigérant atmosphérique ⑤. Relever sur le schéma ci-dessous le pourcentage et le débit volumique d'eau évaporée. Quel est le débit massique d'eau évaporée ?
2. Nous ferons l'hypothèse d'une arrivée d'air à 18°C et 30 % d'humidité relative. Cet air ressort à 34°C et 100 % d'humidité relative. Relever sur le diagramme psychrométrique les titres massiques en eau de l'air entrant et sortant. En déduire le débit massique de l'air nécessaire pour évacuer l'eau évaporée.
3. Relever sur le diagramme psychrométrique les enthalpies de l'air entrant et sortant, par kg d'air sec. En déduire la puissance évacuée par évaporation dans le réfrigérant atmosphérique.
4. Calculer le débit volumique de l'air (en l'assimilant à de l'air sec) pour un débit massique de $2,42 \cdot 10^4 \text{ kg.s}^{-1}$. Déduire des caractéristiques géométriques du réfrigérant atmosphérique la vitesse de l'air sortant, en m.s^{-1} et en km.h^{-1} .



Le réfrigérant atmosphérique

⑤ Réfrigérant atmosphérique

- diamètre base coque : 134,45 m
- diamètre sortie : 87,83 m
- hauteur entrée d'air : 14,10 m
- hauteur totale : 172 m
- épaisseur de la coque de 1,71 m (base) à 0,27 m (sortie)

⑥ Entrée-sortie d'eau de refroidissement

⑦ Zone d'échange eau/air

- débit d'eau à refroidir : $174000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($48,35 \text{ m}^3/\text{s}$)
- température d'eau chaude (entrée) : 35°C
- température d'eau refroidie (sortie) : 21,5°C
- perte par évaporation : $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (soit 1,5 %)

Source : EdF (extraits de la brochure N4)

Diagramme de Mollier de l'eau

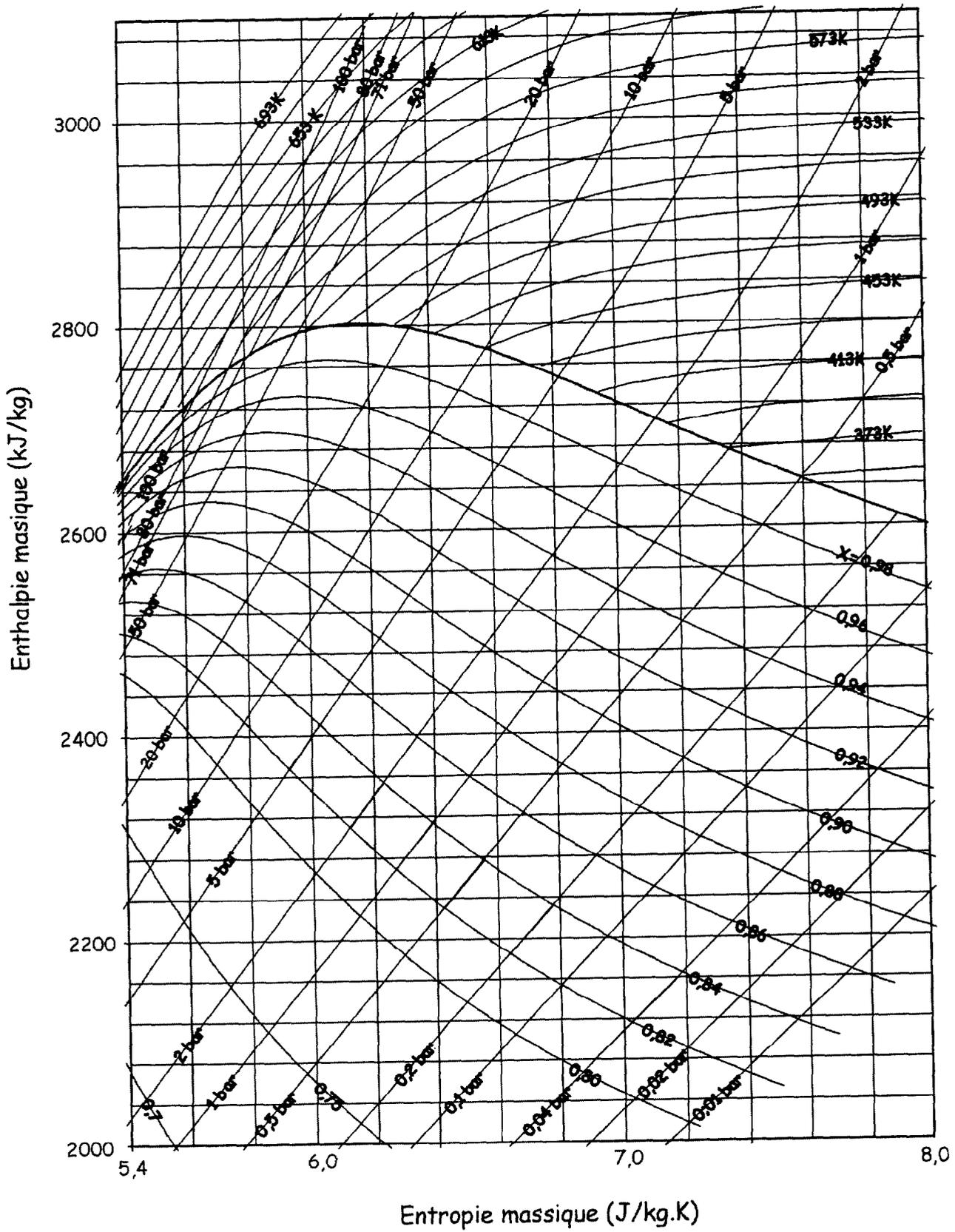


Diagramme de Mollier de l'eau

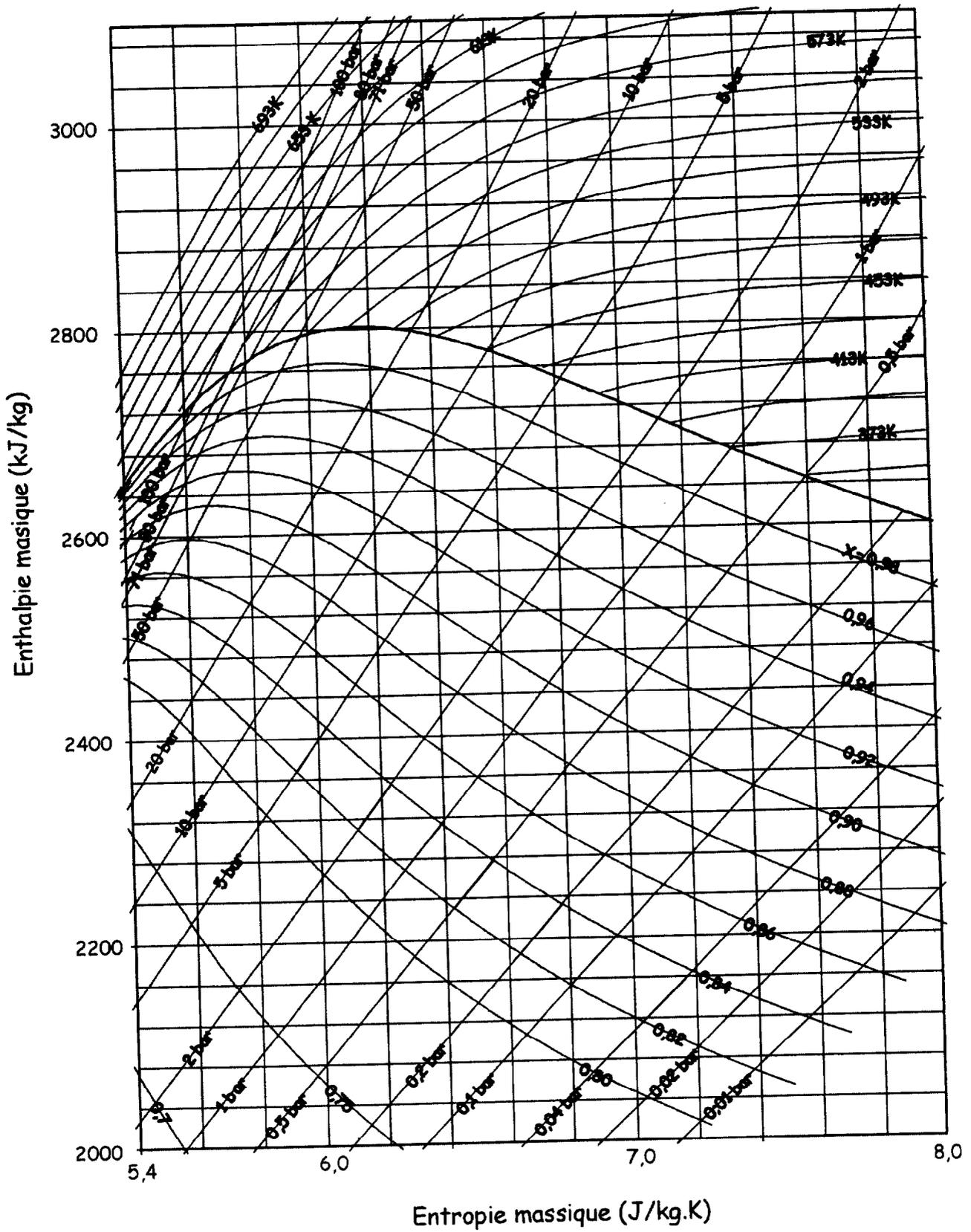
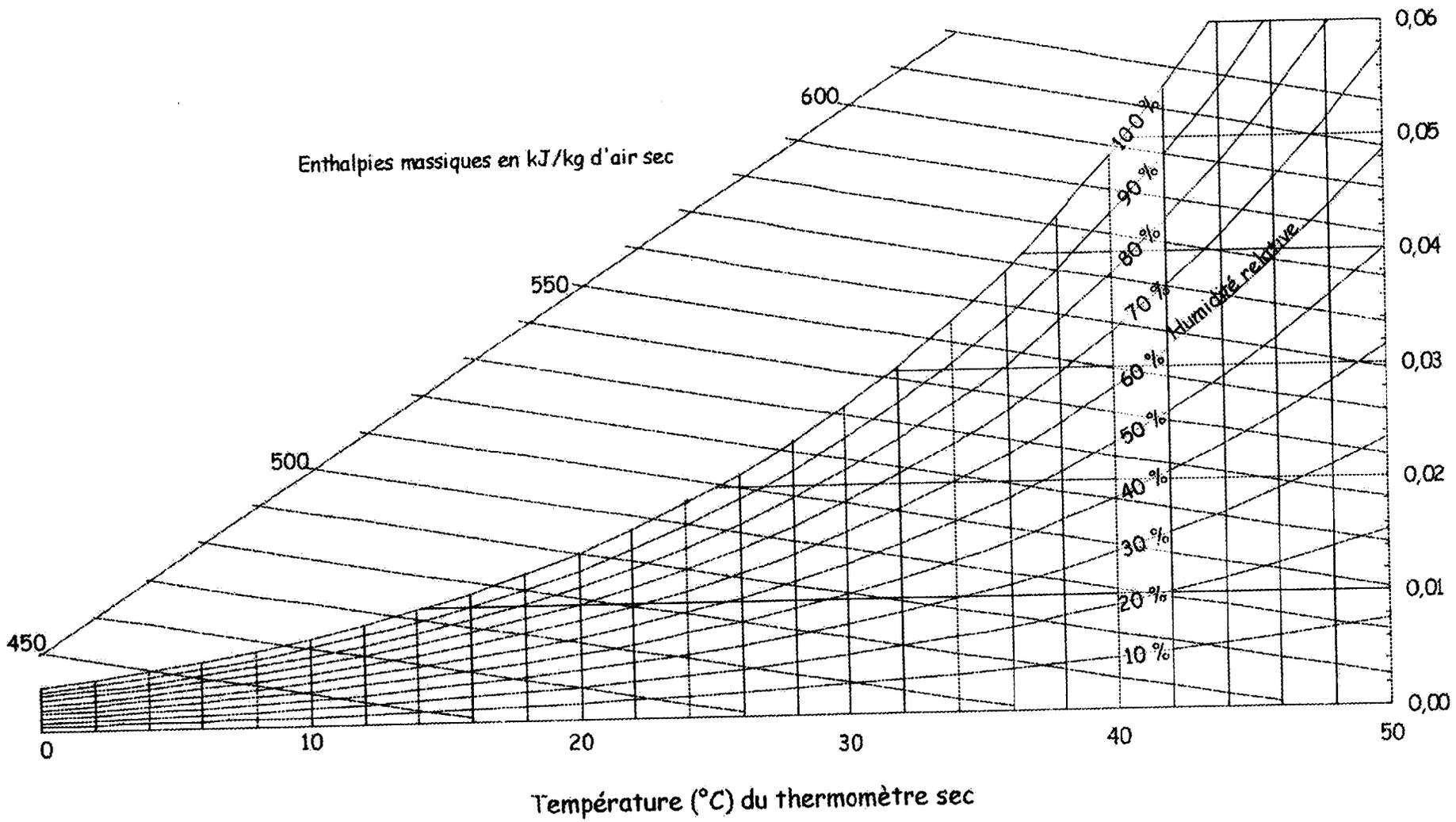


Diagramme psychrométrique

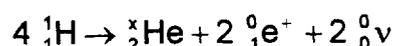


Premier exercice (8 points)

Énergie nucléaire

Dans le soleil et les étoiles, la température et la pression sont assez élevées pour permettre l'existence de réactions de fusion. Le combustible fondamental est constitué de protons, ou noyaux d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$.

Le bilan des réactions nucléaires dans le soleil peut s'écrire :



où 4 noyaux d'hydrogène ont fusionné après un cycle complexe, qui n'est pas étudié ici. Le produit principal est l'hélium, il est accompagné de 2 particules notées ${}^0_1\text{e}^+$ et de deux neutrinos ${}^0_0\nu$ dont le rôle ne sera pas non plus étudié.

1. Quels sont le nom et les caractéristiques des particules notées ${}^0_1\text{e}^+$?
2. En précisant les lois appliquées, déterminer la grandeur notée x.
3. Déterminer, en MeV, l'énergie disponible par noyau d'hélium formé.
4. En déduire l'énergie disponible, en kJ par mole d'hélium formé.

Données :

- unité de masse atomique $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2 = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- célérité de la lumière : $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- masse des particules : $\text{e}^+ : m_{\text{e}^+} = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}$; $\nu : m_{\nu} = 0$;
- masse des noyaux correspondant aux nucléides : $m_{{}^1_1\text{H}} = 1,007\,276 \text{ u}$;
 $m_{{}^4_2\text{He}} = 4,001\,502 \text{ u}$;
- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- nombre d'Avogadro : $N_{\text{A}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

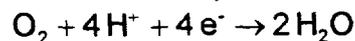
Deuxième exercice (12 points)

Mesure de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) d'une eau usée

Les matières organiques rejetées dans les effluents liquides par les particuliers et les entreprises sont responsables de la baisse du taux de dioxygène contenu dans l'eau, car elles consomment du dioxygène pour leur oxydation.

Pour estimer la teneur en ces matières, on procède à une oxydation par voie chimique. La D.C.O. est le résultat exprimé en mg de dioxygène nécessaire à l'oxydation d'un litre d'effluent.

La demi équation d'oxydoréduction correspondant à la réduction du dioxygène est :



Une oxydation par le dioxygène conduirait à des résultats difficiles à reproduire. Aussi, utilise-t-on un oxydant fort (le dichromate de potassium, par exemple) à la place. Il faut ensuite convertir les résultats.

On porte à ébullition pendant une heure un mélange contenant 10,00 cm³ de l'eau à analyser et 5,00 cm³ de solution de dichromate de potassium (2K⁺, Cr₂O₇²⁻) de concentration 0,060 mol.L⁻¹. On y a ajouté l'acide nécessaire à la réaction, ainsi qu'un catalyseur, sans modifier le volume de 15,00 cm³.

On mesure alors par une méthode spectrophotométrique la concentration de dichromate restant. On trouve 0,016 mol.L⁻¹.

1. Écrire la demi équation d'oxydoréduction mettant en jeu le couple Cr₂O₇²⁻ / Cr³⁺.
2. Déterminer la concentration initiale du dichromate dans le mélange à ébullition.
3. Déterminer la quantité de matière de dichromate ayant réagi.
4. En comparant les demi équations relatives aux couples mettant en jeu les deux oxydants concernés Cr₂O₇²⁻ / Cr³⁺ et O₂/H₂O, justifier que si il faut 1 mole de Cr₂O₇²⁻ pour oxyder une quantité de matière réductrice de l'eau étudiée, il faudrait $\frac{3}{2}$ moles de dioxygène.
5. En déduire le nombre de moles de dioxygène qu'il aurait fallu utiliser.
Calculer la DCO de l'eau étudiée.

Donnée : masse molaire de l'oxygène : M(O) = 16 g.mol⁻¹.