

Ce problème décrit de façon simplifiée le fonctionnement de quelques parties d'une centrale électronucléaire à eau pressurisée (figure 1).

Les parties I, II, III sont indépendantes les unes des autres et peuvent être traitées dans un ordre quelconque.

### I - Etude du circuit primaire

A l'entrée et à la sortie de la cuve du réacteur, ainsi que dans le pressuriseur, la pression est de 155 bars. On relève respectivement à l'entrée et à la sortie de la cuve les températures  $t_3 = 284^\circ\text{C}$  et  $t_4 = 321^\circ\text{C}$ .

1 - On considère le diagramme  $(p_s, t)$  (Annexe 1 qui est à rendre avec la copie) où

- $p_s$  est la pression de vapeur saturante de l'eau en bars
- $t$  est la température de l'eau en degrés Celsius.

a) Indiquer sur ce diagramme le domaine de l'eau liquide et celui de l'eau vapeur en justifiant.

b) Placer, en justifiant, les points 3 et 4 représentant respectivement les états de l'eau à l'entrée et à la sortie de la cuve.

c) Le pressuriseur contient un mélange d'eau liquide et d'eau vapeur. Placer, en justifiant, le point M représentant l'état de l'eau du pressuriseur sur le même diagramme. En déduire la température qui y règne.

2 - Dans les conditions où elle circule dans la cuve, la capacité thermique massique de l'eau est  $c' = 5,8 \text{ kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Calculer la variation d'enthalpie massique de l'eau entre l'entrée et la sortie de la cuve du réacteur.

3 - Calculer la valeur du débit massique  $D_m$  d'eau nécessaire dans le réacteur pour évacuer une puissance thermique  $P_f$  de 2800 MW fournie par la fission.

### II - Détente de la vapeur dans la turbine.

1 - A l'admission dans la turbine, la vapeur est saturante - sèche. Sa pression est  $p_5 = 50$  bars, sa température  $t_5$ .

On suppose que la détente dans la turbine se fait de façon isentropique. A la sortie, la pression  $p_6$  vaut 10 bars et la température est  $t_6$ .

Place, sur le diagramme entropique de l'eau (annexe 2 à rendre avec la copie) les points 5 et 6 en justifiant leurs positions.

Utiliser le diagramme pour déterminer

- les valeurs de  $t_5$  et  $t_6$
- l'état de l'eau à la sortie de la turbine.

2 - On veut déterminer la température  $t_{5'}$  jusqu'à laquelle il faudrait surchauffer la vapeur, sous la pression  $p_5$ , pour que, après détente isentropique dans la turbine de la pression  $p_5$  à la pression  $p_6$ , cette vapeur soit saturante sèche (état 6').

- a) Placer sur le diagramme, en justifiant, les points 5' et 6'. En déduire la valeur de la température  $t_{5'}$ .
- b) En considérant que la vapeur entre les états 5' et 6' se comporte comme un gaz parfait pour lequel  $\gamma = 1,3$ , calculer la valeur de  $t_{5'}$ . Comparer avec la valeur lue sur le diagramme.

### III - Etude générale du rendement.

La centrale (sans l'alternateur) peut être considérée comme un moteur thermique où l'eau décrit un cycle entre deux sources (figure 2)

La source chaude  $\Sigma_1$  qui est le cœur du réacteur, de température constante  $t_1 = 325^\circ\text{C}$ .

La source froide  $\Sigma_2$  qui est un réfrigérant de température constante  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ .

L'eau échange un travail total  $W$  avec les parties mobiles du système.

Selon la convention habituelle, les énergies sont comptées positivement quand le système considéré les reçoit.

1 - Préciser les signes des chaleurs  $Q_1$  et  $Q_2$  que l'eau échange avec les sources et le signe du travail  $W$ .

2 - Donner la définition du rendement thermodynamique  $r$  du cycle en fonction de  $W$  et de l'une des chaleurs et trouver son expression, en fonction de  $Q_1$  et  $Q_2$ .

3 - En fonctionnement réel, le rendement vaut  $r = 0,33$ . Le travail total échangé avec les parties mobiles pendant chaque seconde est égal, en valeur absolue, à la puissance électrique de la centrale, soit 925 MW.

a) Calculer la valeur de la puissance thermique  $P_1$  échangée par le fluide avec la source chaude, cœur du réacteur.

b) Calculer la valeur de la puissance thermique  $P_2$  échangée par le fluide avec la source froide.

Le réfrigérant est l'eau d'un fleuve. Sa température n'est qu'en moyenne égale à  $15^\circ\text{C}$ . Calculer la valeur du débit massique  $D_m$  dans le circuit de refroidissement quand la température de l'eau du fleuve augmente de  $10^\circ\text{C}$  entre l'entrée et la sortie.

On donne : capacité thermique massique de l'eau au voisinage de  $15^\circ\text{C}$  :  $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

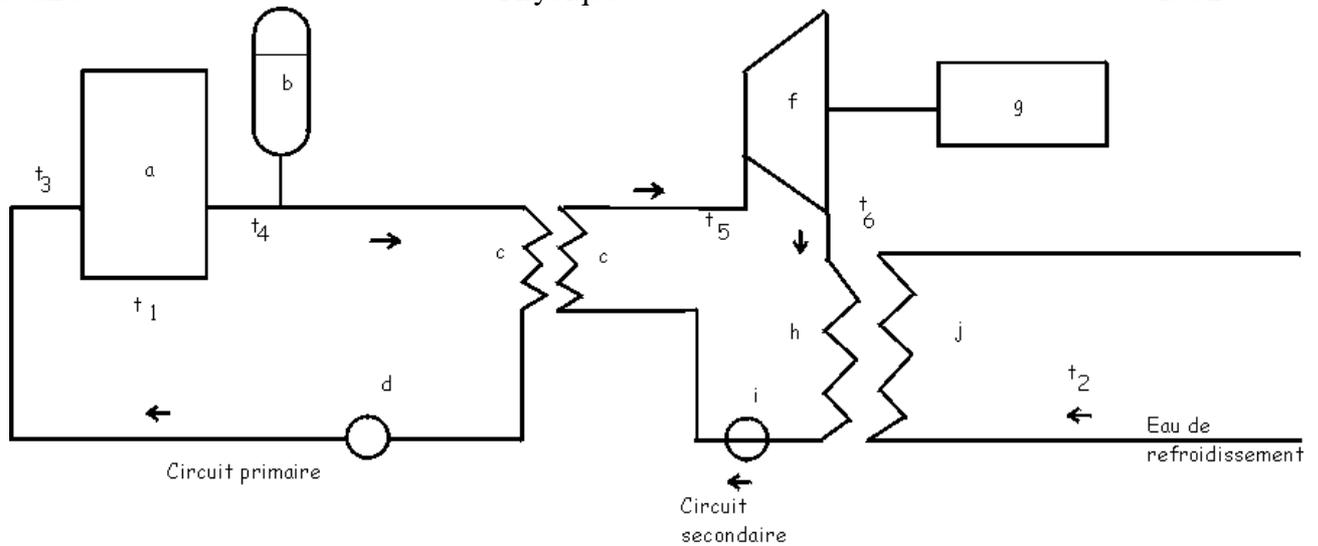


Figure 1

Circuit primaire

- a : cuve du réacteur = source chaude  $\Sigma_1$
- b : pressuriseur
- c : générateur de vapeur (branche du circuit primaire)
- d : motopompe primaire de circulation d'eau liquide

Circuit secondaire :

- e : générateur de vapeur (branche du circuit secondaire)
- f : turbine
- g : alternateur
- h : condenseur
- i : motopompe secondaire de circulation d'eau liquide
- j : circuit du réfrigérant : source froide  $\Sigma_2$

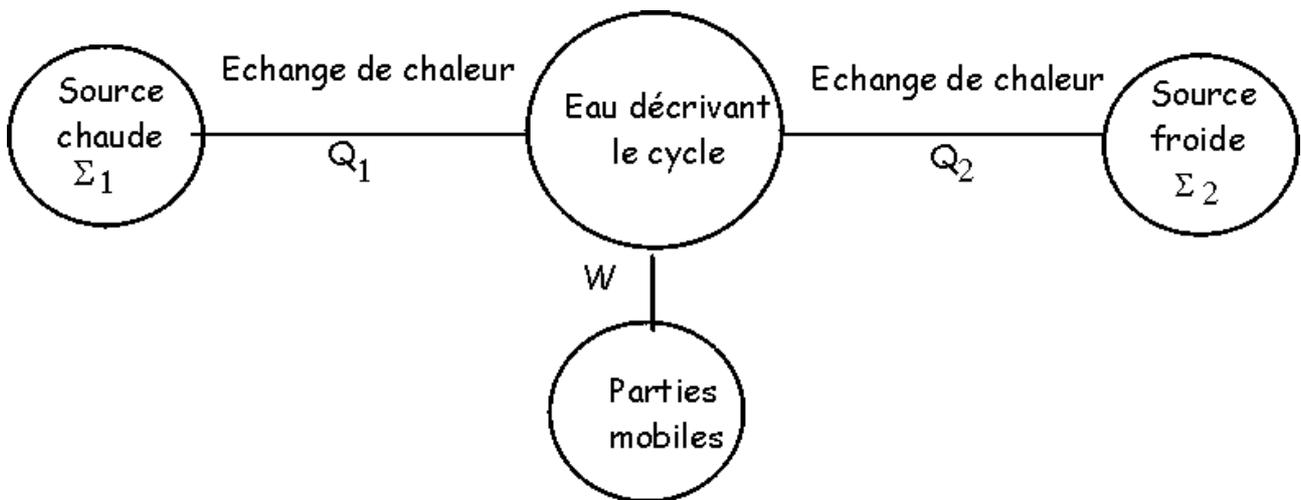
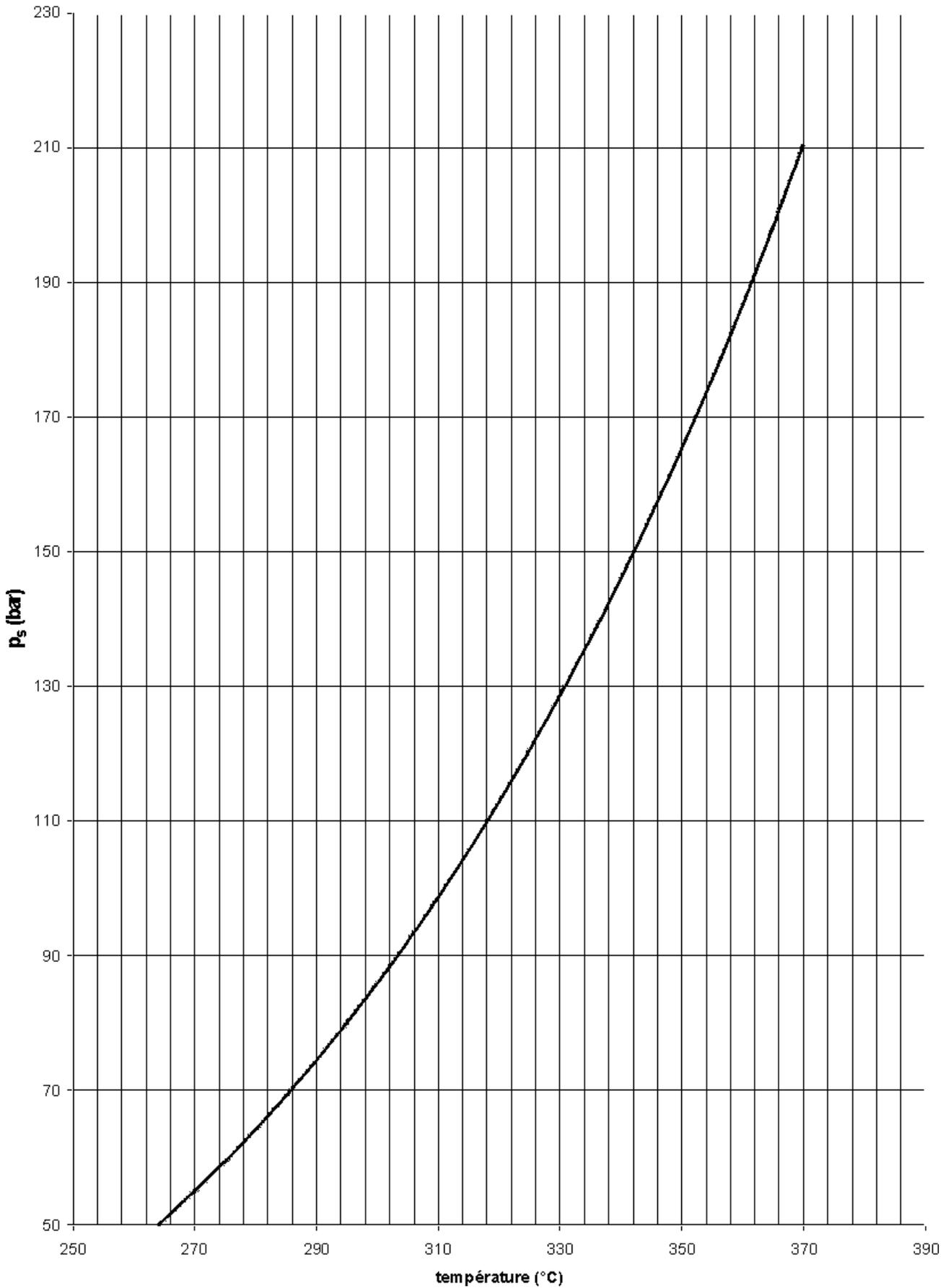
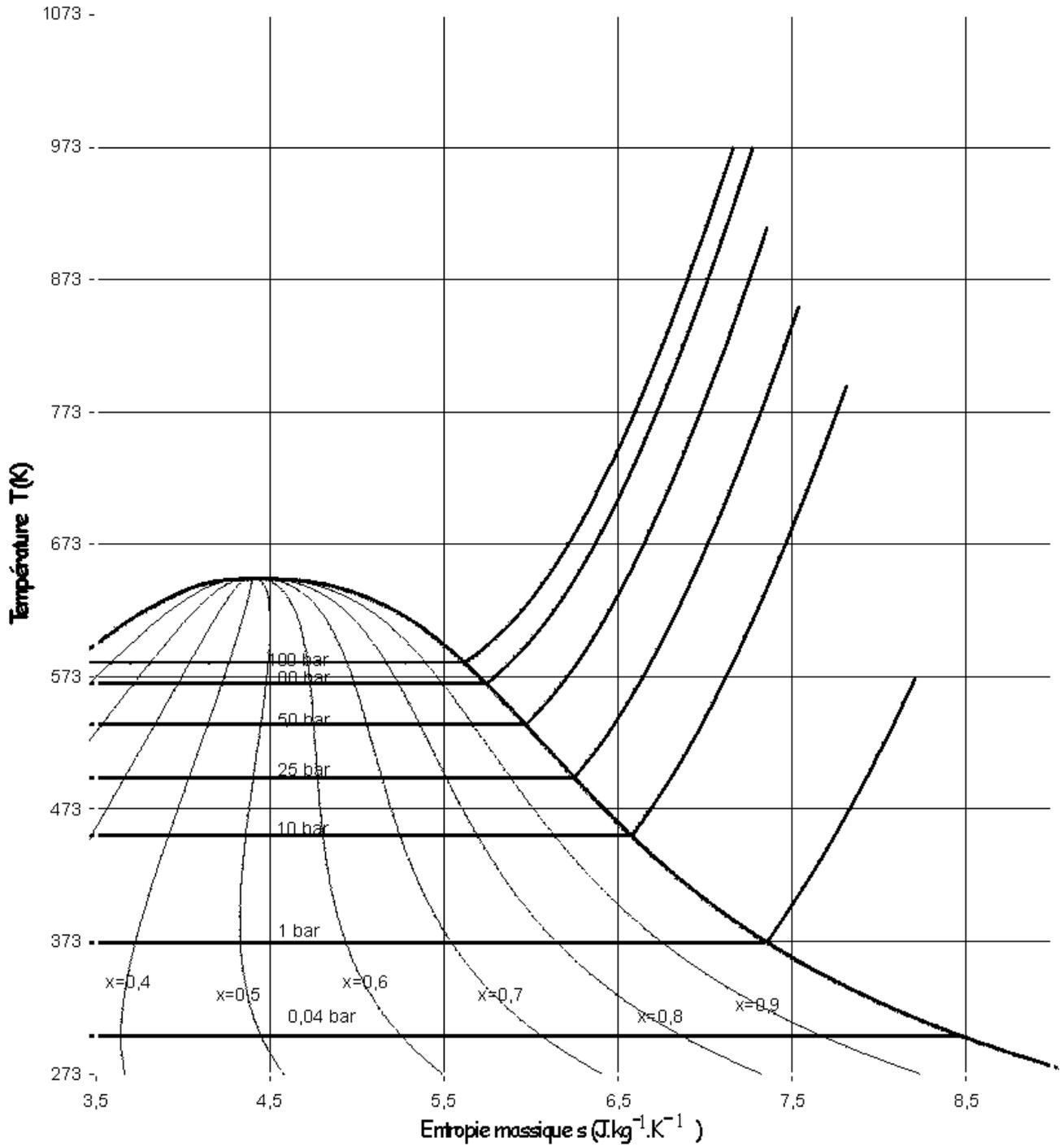


Figure 2



Annexe 2

Diagramme entropique de l'eau



**Premier exercice**

Le brûleur d'une chaudière est alimenté par du propane ( $C_3H_8$ ).

1 - Ecrire l'équation de combustion complète du propane dans le dioxygène  $O_2$ .

2 - L'air contient 20 % en volume de dioxygène. Calculer le débit d'air nécessaire à la combustion complète lorsque le débit du propane arrivant au brûleur est  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , les débits étant mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression.

3 - On appelle pouvoir calorifique inférieur (PCI), la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète à pression constante d'un normo-mètre cube de gaz (un mètre cube pris à  $0^\circ\text{C}$  sous la pression de 101300 Pa), l'eau formée étant sous forme vapeur.

Calculer le PCI du propane sachant que l'enthalpie de sa combustion a pour valeur

$\Delta H = -2210 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  si l'eau formée est sous forme de vapeur.

4 - On appelle pouvoir calorifique supérieur (PCS), la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète à pression constante d'un normo-mètre cube de gaz, l'eau formée étant sous forme condensée.

Calculer le PCS du propane sachant que la chaleur latente de vaporisation de l'eau a pour valeur  $2500 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

5 - La chaudière est du type à condensation, c'est-à-dire que l'eau de combustion des fumées est condensée.

Calculer les débits volumique et massique du propane nécessaire pour obtenir une puissance de 925 MW.

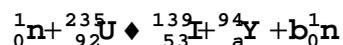
Données pour l'exercice :

Masses molaires atomiques : H :  $1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; O :  $16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; C :  $12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Deuxième exercice.**

Une réaction de fission nucléaire de l'uranium réalisée dans une centrale nucléaire peut s'écrire :



où n est un neutron, U le symbole de l'uranium, I celui de l'iode et Y celui de l'yttrium.

1 - a) En énonçant les lois que vous utilisez, déterminez a et b.

b) Calculez la perte de masse concernant cette réaction en unité de masse atomique.

Vérifiez que l'énergie dégagée est de 200 MeV par atome d'uranium.

Données : masses  ${}^{235}\text{U}$ : 235,044 u  ${}^{139}\text{I}$ : 138,905 u

${}^{94}\text{Y}$ : 93,906 u  ${}_0^1\text{n}$ : 1,009 u

u est l'unité de masse atomique:  $u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

2 - Calculer le nombre d'atomes nécessaires pour obtenir une énergie égale à 925 MJ. En déduire le nombre de moles d'uranium et la masse d'uranium correspondantes.

Données :

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  ;  $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $U$ :  $235 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$