

Premier Problème : Principe d'un spectrophotomètre.

Un spectrophotomètre est constitué:

- d'une partie optique: source, monochromateur à réseau, cuve à échantillon
- d'une partie électronique: photodiode, chaîne de traitement du signal et affichage de l'absorbance.

Etude de la partie optique:

Le réseau représenté figure 1 comporte $n = 1000$ traits par millimètre.
Une lentille de distance focale $f = 20$ cm est placée derrière le réseau, son axe principal faisant un angle α de 30° avec la normale au réseau. On place en F' une fente centrée sur cet axe dans le plan focal image.

1. On note i l'angle d'incidence sur le réseau, i' l'angle d'émergence. Les angles sont orientés de la normale au réseau vers le rayon ; le sens positif est le sens trigonométrique.
Etablir, schéma à l'appui, la relation du réseau liant i , i' , l'ordre de diffraction k , n et λ la longueur d'onde de la lumière utilisée : $\sin i' - \sin i = k n \lambda$
2. Le réseau est éclairé sous incidence normale ($i = 0$) et, pour toute cette question, on utilise le spectre d'ordre $k = 1$.
 - a) Pour quelle longueur d'onde λ_0 obtient-on une image au foyer principal F' de la lentille ?
Compléter le schéma de la figure 1 en traçant la marche des trois rayons lumineux de longueur d'onde λ_0 depuis la sortie du réseau jusqu'au plan focal image de la lentille.
 - b) On donne l'expression de la dispersion angulaire $di'/d\lambda$ autour de λ_0 : $di'/d\lambda = n/\cos\alpha$.
Faire l'application numérique.
 - c) Pour une longueur d'onde λ , voisine de λ_0 ($\lambda < \lambda_0$), on obtient une image en un point d'abscisse x (x petit devant f) dans le plan focal de la lentille.
Compléter le schéma 1 en faisant figurer les trois rayons de longueur d'onde λ .
Montrer que : $x = f.n.(\lambda - \lambda_0) / \cos\alpha$
 - d) En fait, l'ensemble des rayons dont la longueur d'onde est comprise entre $\lambda_0 - \Delta\lambda/2$ à $\lambda_0 + \Delta\lambda/2$ passe par la fente F' de largeur $2x$. Calculer la bande passante $\Delta\lambda$ du monochromateur ainsi obtenu pour $x = 1$ mm.

Etude de la partie électronique :

Les amplificateurs opérationnels (AOP) sont considérés comme parfaits :
courants d'entrée : $i_+ = i_- = 0$ et tension différentielle d'entrée : $\varepsilon = 0$

- 3.** Le faisceau de lumière monochromatique issu de la cuve du spectrophotomètre contenant la substance absorbante est reçu par une photodiode dont le courant inverse I_A est proportionnel à la puissance énergétique P (ou flux énergétique) reçue : $I_A = K \cdot P$

On réalise le montage schématisé figure 2

Exprimer la tension U_e aux bornes de la résistance R_A , puis la tension U_s à la sortie du premier amplificateur opérationnel, en fonction de P .

- 4.** On complète le montage de la figure 2 en ajoutant celui de la figure 3. La tension U_s est envoyée à l'entrée d'un deuxième amplificateur opérationnel dont la tension de sortie est U_s' .

La diode à jonction D_2 placée en dérivation entre l'entrée inverseuse et la sortie de cet amplificateur opérationnel a une caractéristique $I = f(U)$ dont l'équation peut se mettre sous la forme $I = I_0 e^{kU}$.

Etablir la relation : $U_s' = -k'' \ln(K \cdot P / I_0)$

- 5.** On mesure la tension $U_s'' = U_s' - U_{ref}$.

La substance de référence étant placée dans la cuve, on règle U_{ref} grâce au potentiomètre R de façon à obtenir $U_s'' = 0$. (la puissance énergétique reçue par le capteur est alors $P = P_0$)

On place l'échantillon étudié dans la cuve, on lit une tension U_s'' non nulle, la puissance reçue par le capteur est alors P .

- a)** Exprimer la tension U_{ref} lorsque le réglage du zéro est effectué, en fonction de P_0 .
- b)** Exprimer U_s'' lorsque l'échantillon est dans la cuve en fonction de P et P_0 .
- c)** Montrer que U_s'' est proportionnelle à l'absorbance A de la solution.
On rappelle que $\ln x = 2,3 \log x$
- d)** Calculer A lorsque $k = 12,9 \text{ mV}^{-1}$ et $U_s'' = 0,170 \text{ mV}$.

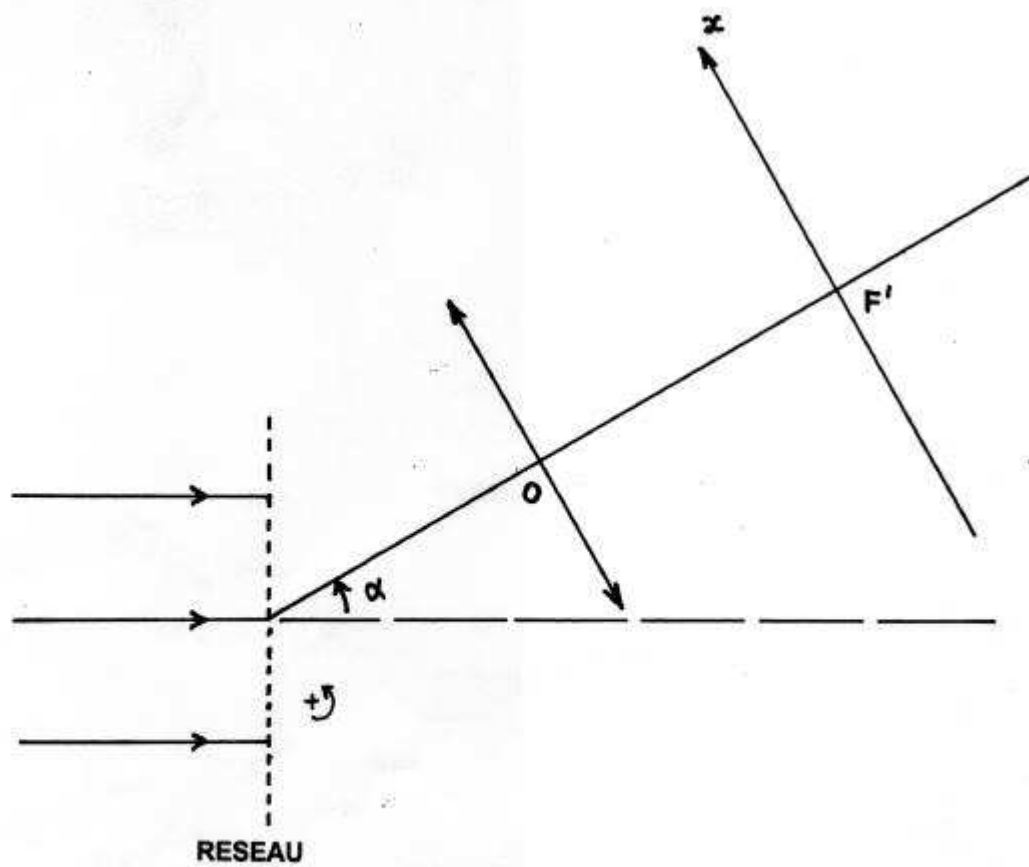


Figure 1

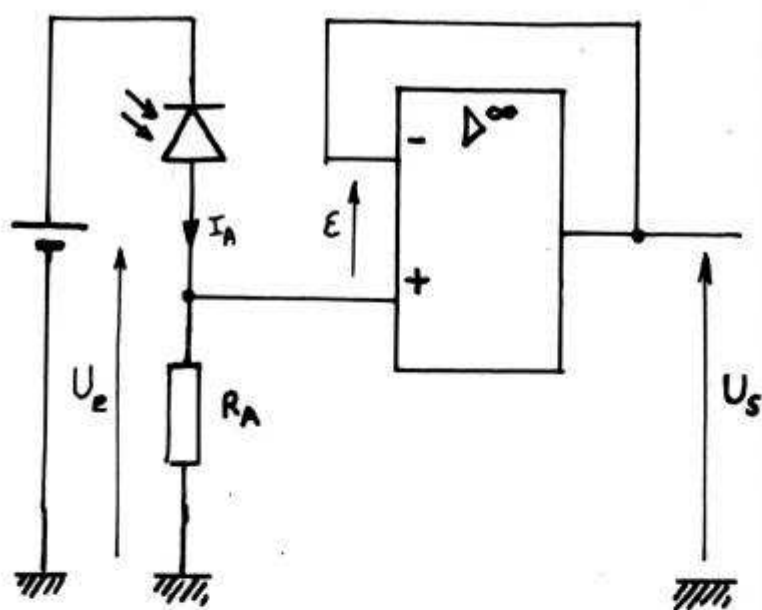


Figure 2

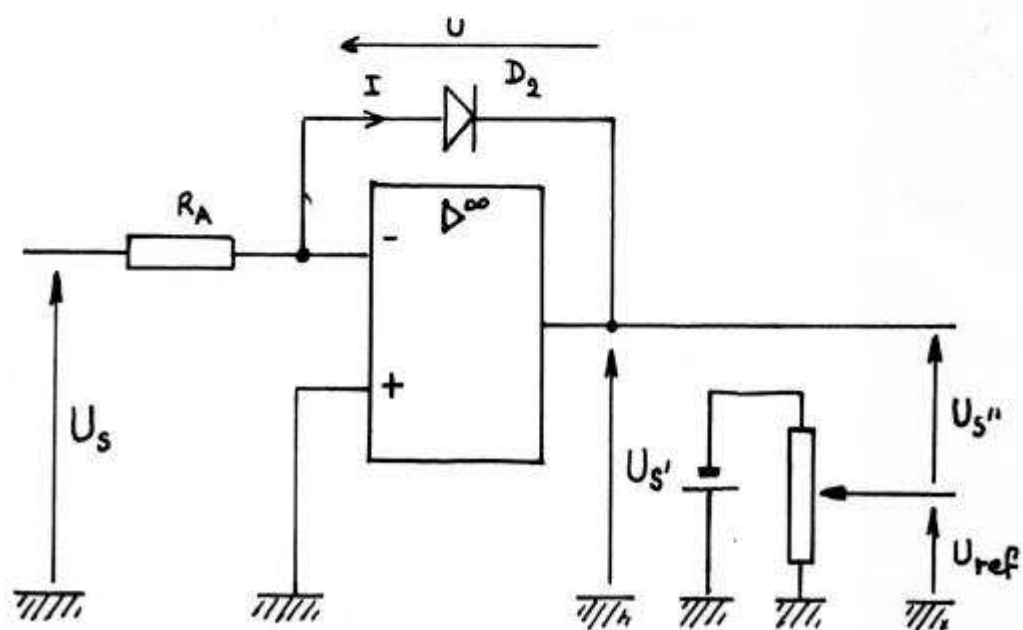


Figure 3

Deuxième Problème : étude d'une machine frigorifique

Le principe d'un réfrigérateur à compression peut être ramené au schéma de la figure 4.

Le système fonctionne selon un cycle réversible et le fluide utilisé est l'ammoniac.

Le cycle est schématisé dans le diagramme entropique de la figure 5, où est représentée en pointillés la courbe de saturation (l'entropie S en abscisse, la température absolue T en ordonnée).

- 1.** Le fluide sort de l'évaporateur dans l'état 1 (température $T_1 = 263 \text{ K}$, pression $P_1 = 2,9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$) sous forme de vapeur saturante. Il passe alors dans le compresseur où il subit une compression adiabatique réversible. Il sort du compresseur (à l'état de vapeur sèche) dans l'état 2 (température T_2 et pression $P_2 = 10,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$). En assimilant l'ammoniac gazeux à un gaz parfait, calculer la température T_2 en fin de compression.
- 2.** De 2 en 2', l'ammoniac se refroidit de manière isobare, de la température T_2 à la température $T_3 = 298 \text{ K}$. Calculer la quantité de chaleur Q_2 échangée par 1 kg de fluide avec le milieu extérieur au cours de ce refroidissement. Commenter son signe.
- 3.** L'ammoniac est dans l'état 2' sous forme de vapeur saturante. Il pénètre alors dans le condenseur où il se liquéfie à la pression $P_3 = P_2$ et à la température T_3 . A la sortie du condenseur en 3, le fluide est à l'état de liquide de saturation. Calculer la quantité de chaleur Q_3 échangée par 1 kg de fluide avec le milieu extérieur au niveau du condenseur. Commenter son signe.
- 4.** Le liquide pénètre alors dans le détendeur. De 3 à 4, il subit une détente adiabatique et réversible, au cours de laquelle une partie du liquide se vaporise. Ainsi, à son entrée en 4 dans l'évaporateur, la masse d'ammoniac sous forme vapeur est égale à 15 % de la masse totale d'ammoniac (liquide + vapeur). La vaporisation du liquide restant va se terminer dans l'évaporateur à la pression P_1 et à la température T_1 .
 - Calculer la masse de liquide qui va se vaporiser, dans l'évaporateur pour 1 kg de fluide.
 - Calculer la quantité de chaleur Q , échangée par 1 kg de fluide avec le milieu extérieur au niveau de l'évaporateur. Commenter son signe.
- 5.** Calculer la quantité de chaleur totale échangée par 1 kg de fluide avec le milieu extérieur au cours du cycle.
- 6.** Dédurre du premier principe le travail W échangé par 1 kg de fluide avec le milieu extérieur au cours du cycle. Commenter son signe.

7. Calculer l'efficacité de la machine frigorifique $\epsilon = Q_1 / W$.
Où doit-on placer le compartiment à refroidir et pourquoi ?

Données :

Capacité thermique massique moyenne de l'ammoniac gazeux, à pression constante, entre les températures T_2 et T_3 : $C_p = 2,12 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

$\gamma = 1,30$ (rapport des capacités thermiques massiques du gaz à pression et volume constants)

enthalpie massique de vaporisation de l'ammoniac à $T_1 = 263 \text{ K}$: $L_1 = 1,30.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$

enthalpie massique de vaporisation de l'ammoniac à $T_3 = 298 \text{ K}$: $L_3 = 1,16.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

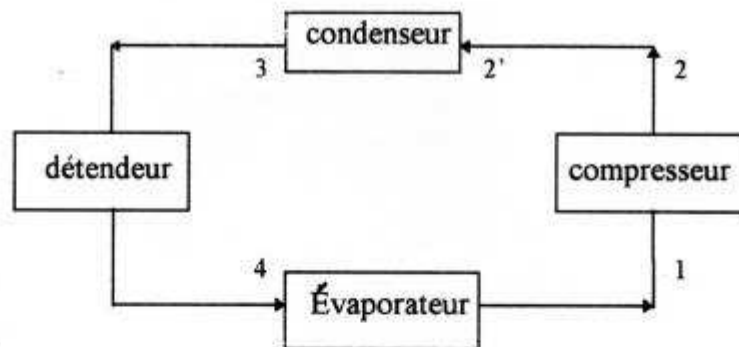


Figure 4

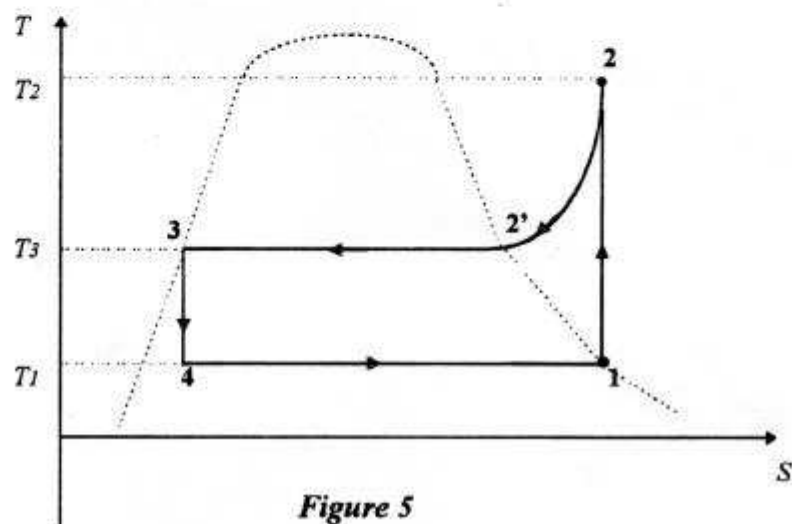


Figure 5