

## ÉLECTRICITÉ (durée conseillée : 1h30) 8 points

**CHAQUE PARTIE PEUT ETRE TRAITÉE DE MANIÈRE INDÉPENDANTE.**

LES RÉSULTATS DES APPLICATIONS NUMÉRIQUES SERONT DONNÉS AVEC DEUX OU TROIS CHIFFRES SIGNIFICATIFS.

### CONDITIONNEUR POUR CAPTEUR D'HUMIDITÉ

Notons  $H_r$  l'humidité relative de l'air :  $0 < H_r < 1$  (sans unité)

On dispose d'un capteur d'humidité capacitif dont la capacité est donnée par l'expression :

$$C = C_0 \cdot (1 + \alpha \cdot H_r) \quad \alpha > 0$$

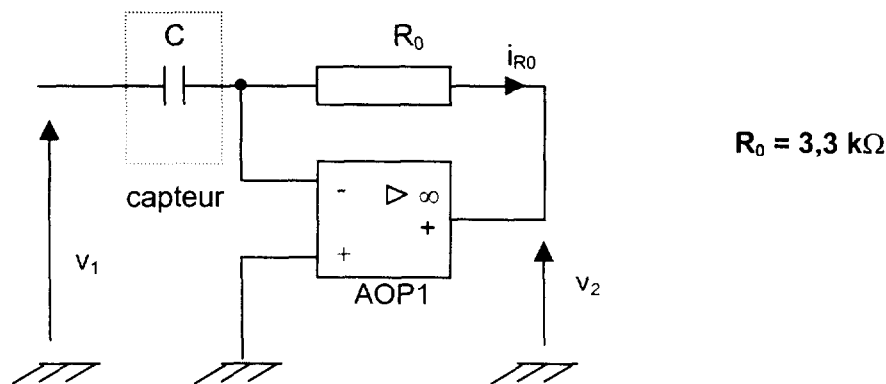
Nous allons étudier un conditionneur pour ce capteur.

Tous les amplificateurs opérationnels seront considérés, sauf indication contraire, comme idéaux. La valeur absolue de la tension de saturation  $V_{\text{sat}}$  est de 14 Volt.

#### 1 - ETUDE DU CAPTEUR :

**1.1** - On donne  $C_0 = 200$  pF et  $C = 300$  pF pour  $H_r = 1$  ( $1$  pF =  $10^{-12}$  F ).  
Calculer la valeur de la constante  $\alpha$ .

**1.2** - Considérons le montage suivant :

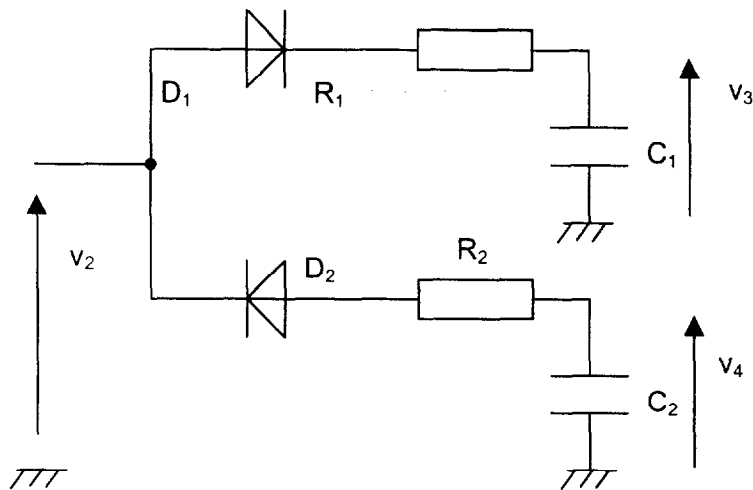


Déterminer l'équation différentielle liant  $v_1$  et  $v_2$  (fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel).

**1.3** - Le signal  $v_1$  est tel que :  $\Delta t = 10$   $\mu$ s et  $T = 80$   $\mu$ s (cf. document réponse).

En utilisant la question précédente, représenter en concordance  $v_2$  pour  $C = 240$  pF ( $H_r = 0,4$ ).

1.4 - Le signal  $v_2$  est ensuite envoyé sur le montage suivant :



Les constantes de temps  $R_1.C_1$  et  $R_2.C_2$  sont très inférieures à  $\Delta t$  et par ailleurs égales ( $R_1 . C_1 = R_2 . C_2$ )

On suppose les diodes idéales (sans seuil) et les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  initialement déchargés :

1.4.1 - Préciser la condition sur  $v_2$  pour que la diode  $D_1$  soit passante.

1.4.2 - Préciser la condition sur  $v_2$  pour que la diode  $D_2$  soit passante.

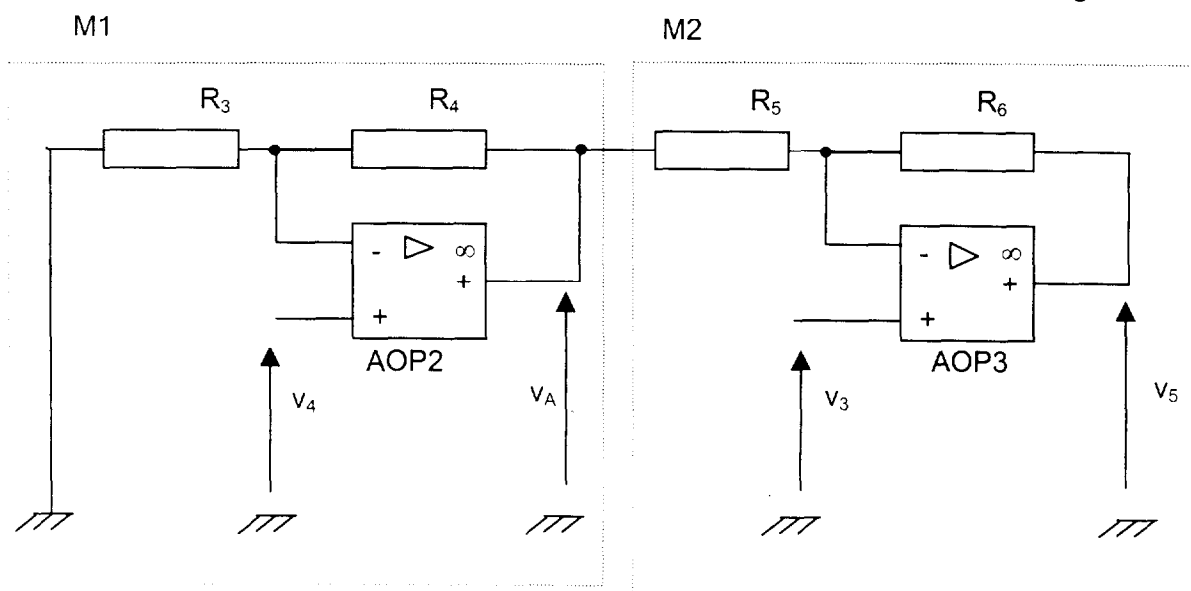
1.4.3 - Représenter  $v_3$  et  $v_4$  sur le document réponse (on supposera que les condensateurs ne se déchargent pas par courant de fuite).

## 2 – MISE EN FORME DES SIGNAUX :

**Seule la dernière question de cette partie ne peut pas être traitée sans avoir traité la partie précédente.**

On désire ensuite obtenir la tension  $v_5$  telle que :  $v_5 = 1,5.(v_3 - v_4)$ .

On utilise pour cela l'amplificateur de différence, résultant de l'association des deux montages suivants.



**2.1** - Montage M1 : exprimer  $v_A$  en fonction de  $v_4$ ,  $R_3$  et  $R_4$ .

**2.2** - Montage M2 : exprimer  $v_5$  en fonction de  $v_3$ ,  $v_A$ ,  $R_5$  et  $R_6$ .

En reliant les montages M1 et M2 on admet que les résultats précédents sont toujours valables.

**2.3** - Montrer que  $v_5 = v_3 \cdot \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) - \frac{R_6}{R_5} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot v_4$ .

**2.4** - On rappelle que  $v_5 = A_D (v_3 - v_4) + A_{MC} \cdot (v_3 + v_4)/2$ .

où  $A_D$  est appelé coefficient d'amplification différentielle et  $A_{MC}$  coefficient d'amplification de mode commun.

**2.4.1** - Déterminer  $v_5$  en fonction de  $v_3$  et des valeurs des résistances, lorsque  $v_3 = v_4$ .

Déduire l'expression de  $A_{MC}$  en fonction de  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  et  $R_6$ .

**2.4.2** - Déterminer  $v_5$  en fonction de  $v_3$  et des valeurs des résistances, lorsque  $v_3 = -v_4$ .

Déduire l'expression de  $A_D$  en fonction de  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  et  $R_6$ .

**2.5** - A quelle condition, portant sur les résistances a-t-on  $A_{MC} = 0$  ?

Que vaut dans ce cas,  $A_D$  ?

**2.6** -  $R_5 = R_4 = 20 \text{ k}\Omega$ . Choisir les résistances  $R_3$  et  $R_6$  pour avoir :

$$v_5 = 1,5 \cdot (v_3 - v_4).$$

**2.7** - En admettant le résultat précédent, représenter  $v_5$  sur le document réponse pour  $C = 240 \text{ pF}$  ( $H_r = 0,4$ ).

### **3 – CHOIX D'UN CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-NUMERIQUE :**

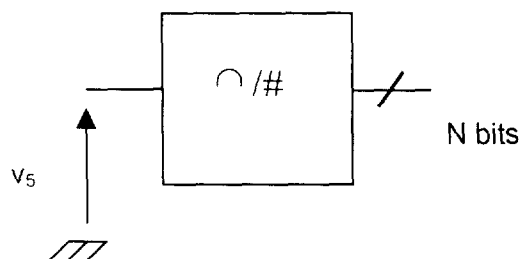
Pour  $t > T$  on a  $v_5 = \text{Constante}$ .

On admet que  $v_5 = 5,54 \cdot (1 + 0,5 \cdot H_r)$  (cette expression, que l'on ne démontrera pas, provient de la synthèse des précédentes parties).

**3.1** - Lorsque  $H_r$  varie entre 0 et 1, quelles sont les limites de variation de  $v_5$  ?

**3.2** - Déterminer la variation,  $\Delta v_5$ , de la tension  $v_5$  correspondant à une variation de 0,5 % sur  $H_r$ .

**3.3** - On envoie le signal  $v_5$  sur un Convertisseur Analogique Numérique (CAN).



On désire choisir le CAN parmi les 5 suivants :

	Tension en entrée	Nombre de bits en sortie
<b>CAN1</b>	-10V/10V	8
<b>CAN2</b>	0/5V	12
<b>CAN3</b>	0/10V	8
<b>CAN4</b>	0/10V	12

Choisir parmi ces CAN celui qui convient sachant que l'on désire une résolution numérique correspondant à 0,5 % d'humidité relative. Justifier votre choix.

**3.4** - Avant de lancer une nouvelle mesure de  $H_r$ , quelles sont les précautions à prendre ?

DANS CE CADRE

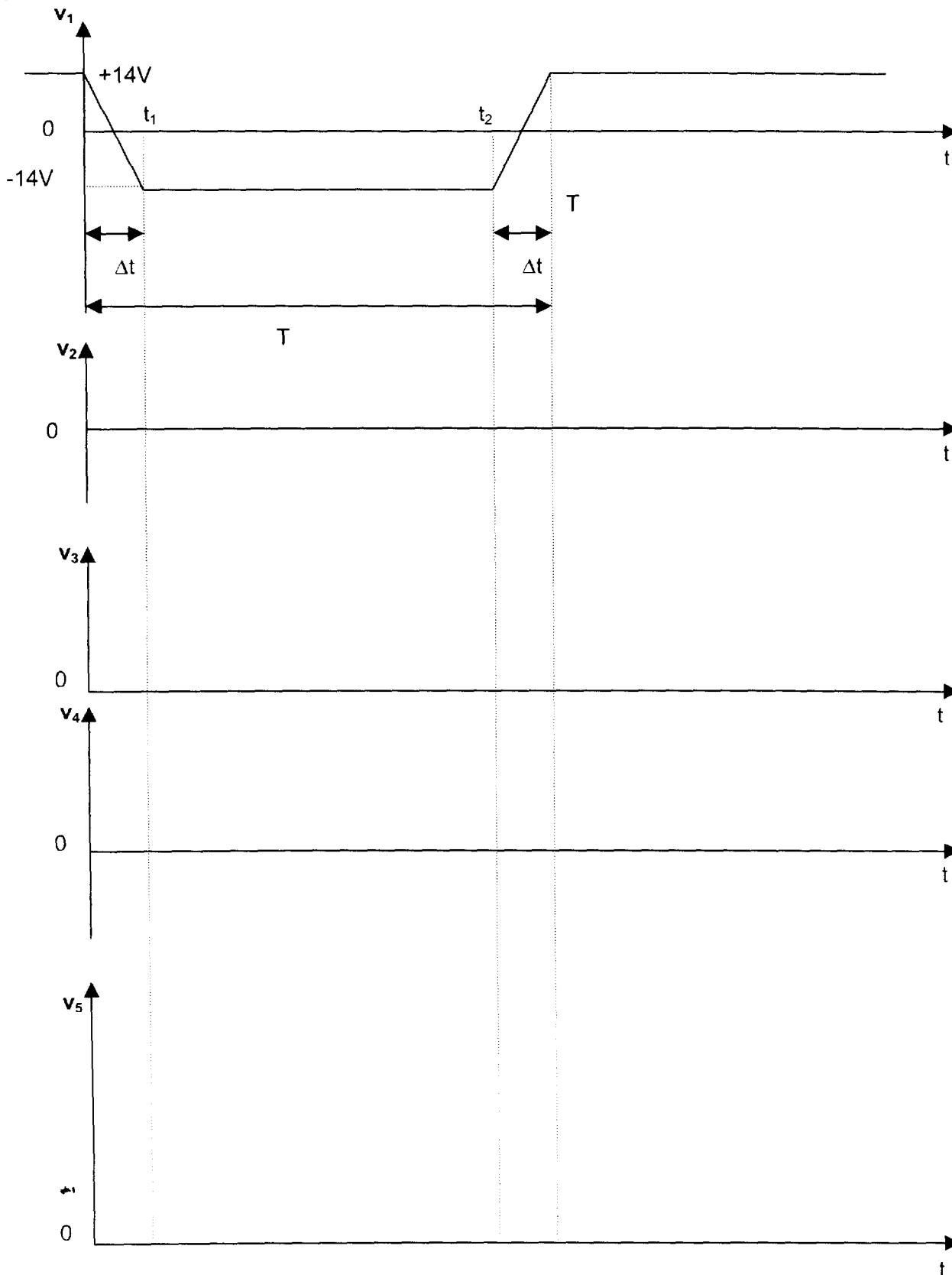
Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_  
Examen ou Concours \_\_\_\_\_ Série\* : \_\_\_\_\_  
Spécialité/option\* : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
Épreuve/sous-épreuve : \_\_\_\_\_  
NOM : \_\_\_\_\_  
*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*  
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat   
Né(e) le : \_\_\_\_\_ (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Repère TPSP

### DOCUMENT RÉPONSE (à rendre avec la copie)

Page : 5/5

Echelle pour  $v_2, v_3, v_4, v_5$  : 1 Volt  $\Leftrightarrow$  0,5 cm



B.T.S. TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

5/12

**Thermodynamique et Mécanique des fluides (durée conseillée : 1h15) 6 points**

L'objet du problème est l'étude, dans la première partie, du contrôle de l'humidité de l'air et, dans la deuxième partie, du système d'alimentation en air sec dans un atelier de fabrication de tapis synthétiques. L'humidité doit être maintenue constante pour assurer la régularité de la fabrication. L'installation est schématisée sur la figure 1 ci-dessous.

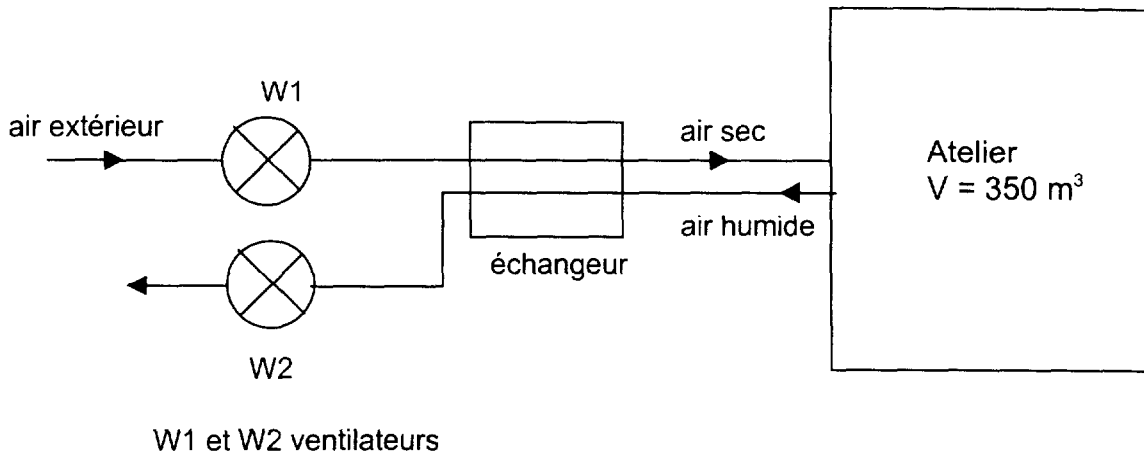


Figure 1

**Les parties I et II sont indépendantes.**

On prendra  $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$  (constante des gaz parfaits).

**I - Étude de l'humidité de l'air**

Dans cette partie on étudie l'hygrométrie de l'air contenu dans l'atelier, de volume  $V = 350 \text{ m}^3$ .

**1 -** Quels sont les deux principaux gaz entrant dans la composition de l'air sec ?

Dans la suite du problème ce mélange est considéré comme un corps pur de masse molaire  $M_{\text{air}} = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ .

**2 -** A l'intérieur de l'atelier la température de  $\theta_1 = 21^\circ\text{C}$ , la pression est  $P = 101,3 \text{ kPa}$ .

**2.1 -** Dans un premier temps on suppose que l'atmosphère de l'atelier ne contient que de l'air sec, considéré comme un gaz parfait.

Donner l'expression littérale et numérique de la masse  $m_{\text{sec}}$  de cet air.

**2.2 -** Dans un deuxième temps on tient compte de l'humidité.

L'air humide est considéré comme un mélange idéal de gaz parfaits, le premier est l'air sec de masse molaire  $M_{\text{air}}$  et le deuxième est la vapeur d'eau de masse molaire  $M_{\text{eau}} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$ .

On définit l'humidité relative  $H_r$  (ou degré hygrométrique) par :

$$H_r = \frac{p_v}{p_s} \quad \text{où } p_v \text{ est la pression partielle de la vapeur d'eau dans le mélange et } p_s \text{ la pression de}$$

vapeur saturante de l'eau à la même température.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau à  $21^\circ\text{C}$  :  $p_s = 2,505 \text{ kPa}$ .

Sachant que l'humidité relative de l'atelier est  $H_r = 0,4$ , calculer littéralement puis numériquement :

**2.2.1** - Les pressions partielles de la vapeur d'eau  $p_v$  et de l'air sec  $p_a$ .

**2.2.2** - Les masses de vapeur d'eau  $m_v$  et d'air sec  $m_a$ .

**2.2.3** - La masse d'air humide  $m_{\text{humide}}$  dans l'atelier.

**3** - Durant la nuit, l'atelier n'étant plus chauffé, la température intérieure descend à  $\theta_2 = 5^\circ\text{C}$ , la pression restant constante.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau à  $5^\circ\text{C}$  :  $p'_s = 0,8721 \text{ kPa}$ .

**3.1** - Si toute l'eau restait sous forme de vapeur, quelle serait la pression  $p'_v$  de la vapeur ?

**3.2** - En réalité la pression partielle de la vapeur d'eau ne peut pas dépasser la valeur  $p'_s$  et il y a donc condensation. Calculer la masse d'eau condensée  $m_e$ .

**3.3** - Quelle est alors l'humidité relative de l'atmosphère de l'atelier à cette température ?

## II - Alimentation de l'atelier en air sec

La présence de personnel dans l'atelier pendant la journée augmente le taux d'humidité de l'atmosphère, et la ventilation se déclenche quand l'humidité relative atteint une valeur seuil.

Pour déshumidifier l'atmosphère il faut apporter de l'air sec et extraire de l'air humide.

L'air sec pris à l'extérieur est filtré et canalisé jusqu'au ventilateur W1, comme l'indique le schéma de la figure 1.

Dans la suite on s'intéresse à la conduite d'aspiration de l'air extérieur, supposée horizontale, schématisée sur la figure 2.

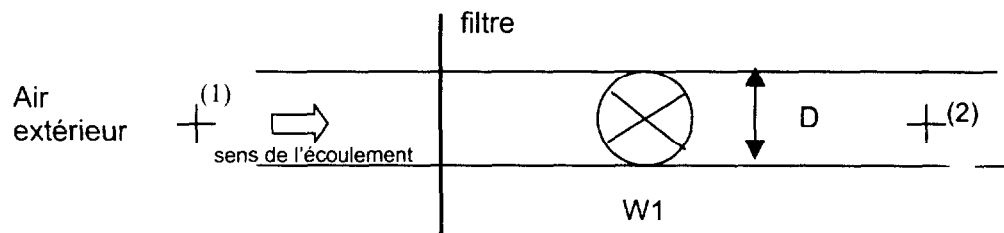


Figure 2

L'air sec est considéré comme un fluide incompressible, de masse volumique  $\rho$  constante dans les conditions de fonctionnement de l'installation ( $\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

Le débit d'air est  $Q = 0,85 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , le diamètre de la canalisation  $D = 12 \text{ cm}$ .

Le ventilateur W1 met le fluide en mouvement et compense les pertes de charge  $\Delta P_c$  dans le filtre. On donne  $\Delta P_c = 300 \text{ Pa}$ . On cherche à calculer la puissance du ventilateur de façon à avoir  $p_1 = p_2$ , avec  $p_1$  et  $p_2$  pressions respectives aux points (1) et (2).

**1** - Calculer la vitesse de l'air au point (2) dans la canalisation.

**2** - Ecrire le théorème de Bernoulli entre les points (1) et (2) en tenant compte des pertes de charge et de la présence du ventilateur.

**3** - En considérant comme nulle la vitesse en (1), calculer l'énergie  $E$  fournie à l'air par le ventilateur par kg de fluide.

**4** - En déduire la puissance  $P_r$  reçue par l'air.

**5** - Le rendement du ventilateur étant  $r = 0,7$  calculer sa puissance électrique absorbée  $P_a$ .

## OPTIQUE (durée conseillée : 1h15) : PRINCIPE D'UN SPECTROPHOTOMÈTRE

### 6 points

Dans un laboratoire de recherche, des mesures de transmission ont été faites avec un spectrophotomètre double faisceau. La figure 1 illustre son principe.

Cet appareil permet de couvrir une gamme de longueurs d'onde allant de 180 nm à 3000 nm. Il comporte une **source** pour l'ultraviolet (lampe à décharge au deutérium) et une source pour le visible et l'infrarouge (lampe à filament de tungstène avec halogène). Il compte aussi deux **détecteurs** : une cellule au sulfure de plomb pour l'infrarouge et un photomultiplicateur pour le visible et l'ultraviolet. Sources et détecteurs sont succinctement étudiés dans la **partie 1-** du problème.

La sélection de la longueur d'onde  $\lambda$  se fait dans l'appareil à l'aide d'un **monochromateur à réseau par réflexion**, dont on se propose d'étudier le principe dans la **partie 2-** du problème.

Pour étudier la transmission à travers des liquides précieux en faibles quantités, le laboratoire utilise des **cuves en silice de très faible épaisseur**. Cette faible épaisseur est à l'origine de phénomènes d'**interférences** décelables dans les spectres de transmission. Ces phénomènes, gênants a priori, permettent néanmoins dans la **partie 3-** du problème une détermination assez précise de l'épaisseur de la cuve.

***Les trois parties peuvent se traiter de façon indépendante.***

### 1 - Sources et détecteurs :

**1.1** - Donner un ordre de grandeur des longueurs d'onde définissant le domaine du visible. En déduire le domaine de l'infrarouge et celui de l'ultraviolet, balayés par ce spectrophotomètre.

**1.2** - Quelle est la couleur correspondant à une longueur d'onde de l'ordre de 550 nm ?

**1.3** -

**1.3.1** - Calculer, en électronvolts, l'énergie d'un photon associé à une onde de longueur d'onde  $\lambda_0 = 546,1$  nm pénétrant dans le photomultiplicateur.

On donne la constante de Planck :  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J·s, la vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m·s<sup>-1</sup>, et  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$  J.

**1.3.2** - Cette longueur d'onde peut-elle créer l'effet photoélectrique sur la cathode du photomultiplicateur recouverte de césium sachant que l'énergie nécessaire pour extraire un électron du césium est de 1,88 eV ?

### 2 - Principe du monochromateur :

La figure 2 fournit un schéma simplifié du monochromateur. Il comporte :

- un réseau plan (R), succession de parties absorbantes et de parties réfléchissantes équidistantes ;
- un collimateur composé d'une lentille achromatique convergente ( $L_1$ ) et d'une fente ( $F_1$ ) ;
- une lentille ( $L_2$ ), identique à ( $L_1$ ), et suivie d'une fente ( $F_2$ ) placée au foyer principal image de ( $L_2$ ).

#### **2.1 - Maxima principaux d'intensité :**

Soit  $i$ , l'angle formé par le rayon incident avec la normale (ON) au réseau, et  $i'$ , l'angle du rayon diffracté avec la normale au réseau. On prendra pour ces angles algébriques, les conventions de signe du cercle trigonométrique (figure 2 et figure 3).



- 2.1.1** - Le réseau compte  $n$  sections réfléchissantes par unité de longueur. Démontrer que la différence de marche  $\delta$  entre les deux ondes diffractées dans la direction  $i'$ , par deux parties réfléchissantes consécutives du réseau, éclairé sous une incidence  $i$ , est :

$$\delta = \frac{\sin i' + \sin i}{n}$$

Cette démonstration doit s'appuyer sur un schéma clair (s'inspirant de la figure 3), mettant en évidence les plans d'onde nécessaires au raisonnement.

- 2.1.2** - En déduire l'expression, en fonction de  $i$ ,  $\lambda$  et  $n$ , des directions  $i'$  correspondant à un maximum principal d'intensité diffractée.

## **2.2 - Position des fentes d'entrée et de sortie :**

Les axes du collimateur et de  $(L_2)$  sont **fixes** et font entre eux un angle  $i_0$  (figure 2), tel que le maximum principal d'ordre 1 pour la longueur d'onde  $\lambda_0 = 546,1$  nm, soit reçu au centre de la fente  $(F_2)$ , quand le réseau  $(R)$  est perpendiculaire à l'axe de  $(L_2)$  (voir figure 2).

Calculer la valeur de l'angle  $i_0$  si  $n = 900$  traits/mm.

## **2.3 - Sélection d'une longueur d'onde $\lambda$ :**

Les fentes  $(F_1)$  et  $(F_2)$  restant fixes, on fait tourner le réseau d'un angle  $\alpha$  autour d'un axe perpendiculaire en O au plan de la figure 3, de telle sorte que les angles deviennent :

$$i = i_0 - \alpha \text{ et } i' = -\alpha.$$

Pour une valeur donnée de cet angle  $\alpha$ , le réseau diffracte sur la fente de sortie  $(F_2)$  la longueur d'onde  $\lambda$  dans l'ordre  $k$ .

On admet que cette longueur d'onde  $\lambda$  est donnée par la formule :

$$\lambda = \frac{1}{k} \cdot \left( \lambda_0 \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \frac{1 + \cos i_0}{n} \right).$$

- 2.3.1** - Calculer, en nm, la valeur numérique  $\lambda_1$  de la longueur d'onde  $\lambda$  sélectionnée dans l'ordre 1 par le monochromateur quand  $\alpha_1 = -7,00^\circ$  et la valeur numérique  $\lambda_2$  de la longueur d'onde  $\lambda$  sélectionnée dans l'ordre 1 par le monochromateur quand  $\alpha_2 = +4,00^\circ$ .

En admettant que pour chaque ordre, la fonction  $\lambda = f(\alpha)$  soit une fonction monotone, vérifier que l'ordre  $k = 1$  permet de sélectionner le domaine du visible pour des rotations  $\alpha$  du réseau dans l'intervalle  $[-7,00^\circ ; +4,00^\circ]$ . (Des filtres permettent d'isoler les différents ordres.)

- 2.3.2** - Pour ces valeurs faibles de  $\alpha$ , et en négligeant les termes du deuxième ordre, la formule proposée peut se « linéariser » sous la forme :

$$\lambda = b - a \cdot \alpha$$

Préciser pour l'ordre  $k = 1$ , les valeurs numériques et les unités des constantes  $a$  et  $b$ , si  $\lambda$  est exprimée en nm et  $\alpha$  en degrés.

- 2.3.3** - Calculer la valeur  $\alpha_D$  de  $\alpha$ , pour la valeur  $\lambda_D = 589,3$  nm, correspondant à la raie jaune du sodium.

### 3 - Etude du spectre d'absorption de la cuve :

La cuve utilisée pour les mesures ultérieures est en silice d'indice pratiquement constant ( $N \cong 1,46$ ) dans le visible. Elle est constituée de deux lames à faces parallèles identiques, séparées par une lame d'air (L) très mince, d'épaisseur  $e$  et d'indice pratiquement égal à 1 (figure 4).

Les faces des lames ne sont pas traitées, de sorte que les interférences observées pourront être interprétées en ne tenant compte que des rayons transmis  $R_1$  et  $R_2$  représentés sur la figure 4.

La figure 5 nous donne la répartition expérimentale de la transmittance  $T$  de cette cuve vide en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ , quand elle est éclairée sous **incidence normale**.

On constate un pic d'absorption entre 2580 nm et 3000 nm, une transmittance pratiquement constante dans le domaine du visible et une succession régulière de maxima et de minima dans la partie centrale de la courbe, phénomène que l'on peut interpréter comme le résultat des **interférences entre les rayons cohérents  $R_1$  et  $R_2$** , qui disparaît avec des cuves plus larges et que nous allons voir plus en détail.

**3.1** - Le pic d'absorption observé (figure 5) a pour coordonnées :  $T = 0,02832$  et  $\lambda = 2720$  nm.

Calculer l'absorbance de la cuve pour  $\lambda = 2720$  nm.

**3.2** - Sachant que le coefficient de réflexion en amplitude pour une réflexion vitreuse air-silice est en incidence normale :

$$r = \frac{1-N}{1+N}$$

Calculer la valeur de ce coefficient, dans le visible, aux points J et K.

**3.3** - Exprimer en fonction de  $e$  et de  $\lambda$ , le déphasage  $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  entre les deux ondes transmises  $R_1$  et  $R_2$ .

**3.4** - Etablir la relation liant  $e$  et  $\lambda$ , quand on observe un minimum de la transmittance  $T$ , dans la région traduisant le phénomène d'interférences.

**3.5** - Les résultats expérimentaux (voir la courbe  $T = f(\lambda)$  de la figure 5) donnent un minimum de transmittance pour  $\lambda_{S1} = 1580$  nm et pour  $\lambda_{S2} = 2100$  nm. On désigne par  $p_2$  l'ordre d'interférence pour  $\lambda_{S2}$  et par  $p_1 = p_2 + \Delta p$  l'ordre d'interférence pour  $\lambda_{S1}$ .

**3.5.1** - Déterminer à l'aide de la figure 5, la différence  $\Delta p = p_1 - p_2$ .

**3.5.2** - Montrer que l'épaisseur  $e$  de la cuve est donnée par la relation :

$$e = \frac{\lambda_{S1} \cdot \lambda_{S2} \cdot \Delta p}{2 \cdot (\lambda_{S2} - \lambda_{S1})}$$

**3.5.3** - Calculer l'épaisseur  $e$  de la cuve.

Figure 1 - Principe du spectrophotomètre double faisceau :

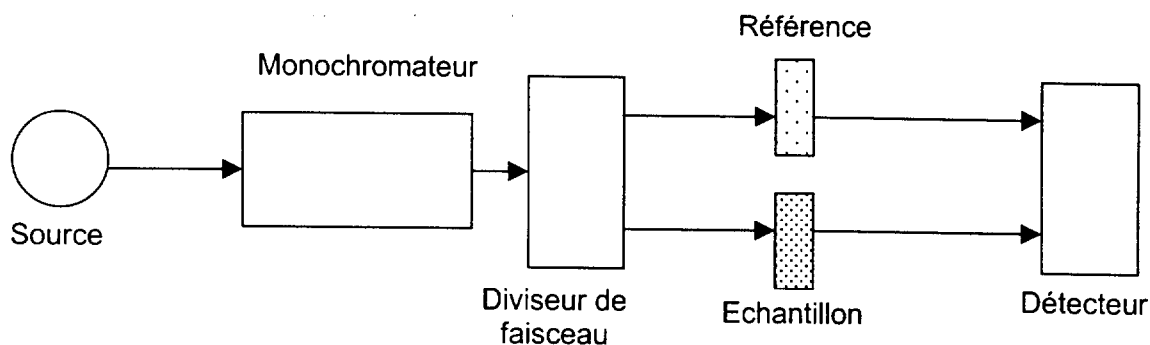


Figure 2 - Principe du monochromateur ( $i = i_0$ ) :

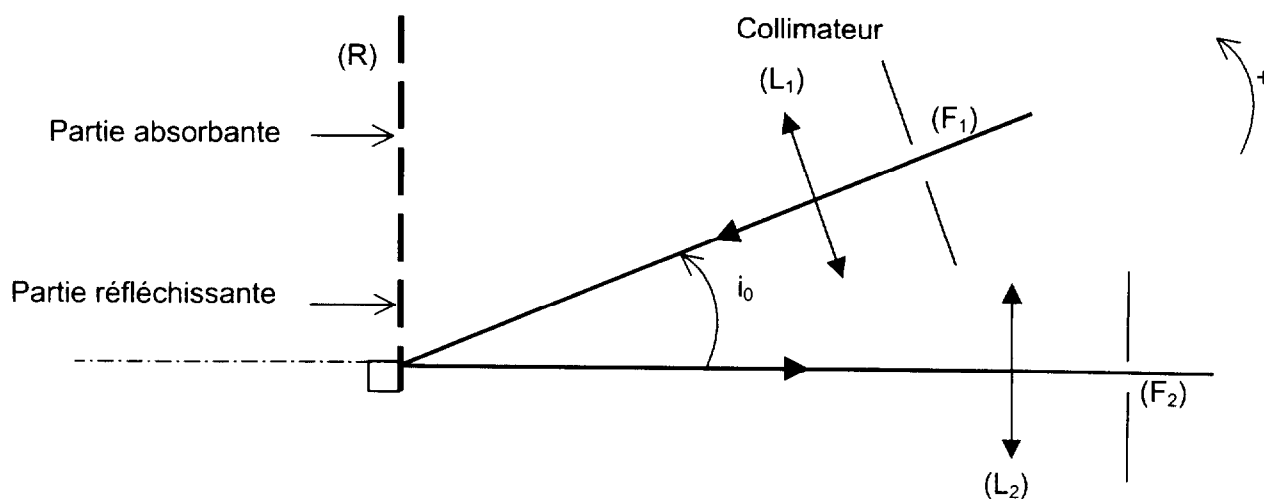


Figure 3 - Principe du monochromateur pour une position quelconque du réseau :

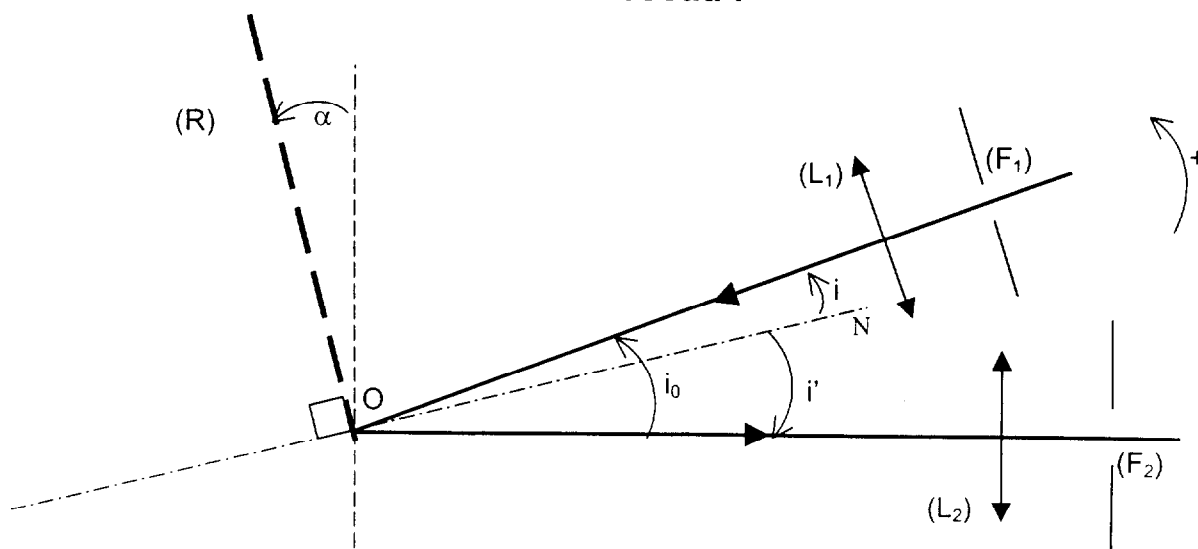


Figure 4 - Marche des rayons à travers la cuve de silice :

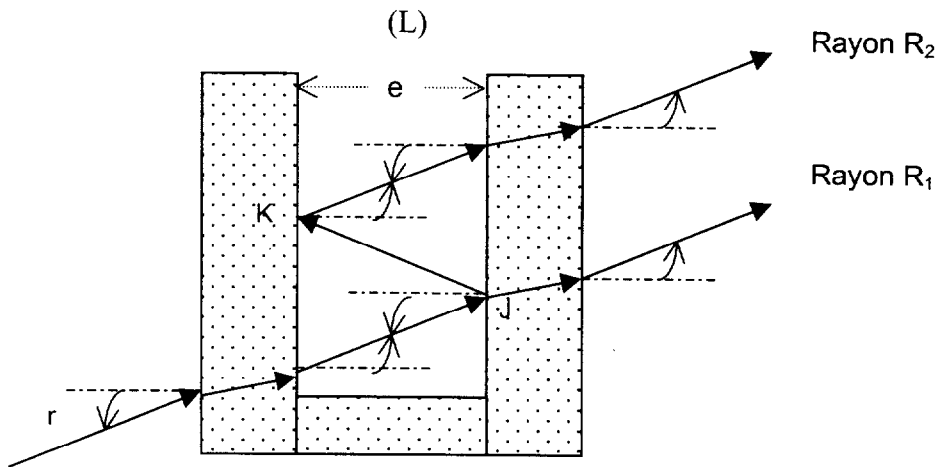


Figure 5 - Variation de la transmittance T de la cuve vide en fonction de la longueur d'onde :

