

# **BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE**

## **SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES**

### **« Génie Électronique »**

**Session 2008**

### **Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE**

**Durée de l'épreuve : 4 heures**

**Coefficient : 5**

*L'usage d'une calculatrice est autorisé.*

*Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.*

### **Indications :**

Le sujet se compose de deux parties distinctes qui peuvent être traitées indépendamment l'une de l'autre.

- Les valeurs instantanées des grandeurs variables au cours du temps sont notées  $v$  pour  $v(t)$ ,  $i$  pour  $i(t)$ , ...
- Tous les composants sont considérés comme parfaits :
  - les circuits intégrés ont une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle ;
  - les tensions de saturation des amplificateurs opérationnels **A1** à **A6** sont confondues avec les tensions d'alimentation.

## **QUALITE DE L'AIR : SURVEILLER ET INFORMER**

La qualité de l'air dépend de plusieurs facteurs : la concentration de l'ozone et la vitesse des vents. Nous nous intéresserons successivement dans la première partie du sujet à la mesure de la concentration de l'ozone et dans la seconde partie à la mesure de la vitesse des vents.

### **PARTIE 1 - Mesure de la concentration d'ozone**

L'indice ATMO est un indicateur de la qualité de l'air qui repose sur la concentration de 4 polluants (dioxyde d'azote, particules de diamètre inférieur à 10  $\mu\text{m}$ , ozone, dioxyde de soufre).

Cet indice permet de disposer d'une information synthétique sur la pollution atmosphérique urbaine. Il est calculé chaque jour dans les agglomérations de plus de 100000 habitants.

Un bulletin quotidien rapporte l'ensemble des informations sur une carte de France. Les agglomérations sont repérées par une couleur en fonction de la qualité de l'air estimée :

- excellente à assez bonne : vert ;
- moyenne à très médiocre : orange ;
- mauvaise à exécration : rouge.

L'étude porte sur le fonctionnement d'un dispositif de mesure de la concentration du polluant ozone et de l'affichage du niveau de pollution basé sur trois couleurs.

Le système se décompose de la manière suivante :

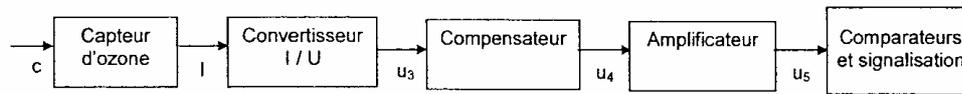


Figure 1

Pour cette première partie, tous les amplificateurs opérationnels du système de la première partie sont alimentés par des tensions considérées constantes :  $\pm V_{cc} = \pm 15 \text{ V}$

### 1 Capteur d'ozone.

Le capteur d'ozone est formé d'une photodiode sensible aux rayonnements ultraviolets (UV) et polarisée en inverse.

L'intensité du courant inverse  $I$  qui traverse la photodiode est une fonction affine de la concentration d'ozone  $c$  selon la loi :

$$I = I_0 (1 - c \times 10^{-4}) \text{ avec :}$$

$I_0 = 100 \mu\text{A}$  : intensité du courant lorsque l'air ne contient aucune molécule d'ozone;

$c$  : concentration d'ozone en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

1.1 Déterminer les valeurs de l'intensité du courant  $I$  pour les concentrations  $c = c_0 = 0$  et  $c = 360 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

1.2 Donner le sens de variation de l'intensité du courant  $I$  en fonction de la concentration d'ozone  $c$ .

### 2 Mise en forme

Les amplificateurs opérationnels A1, A2 et A3 fonctionnent en régime linéaire.

Le capteur est modélisé par un générateur de courant idéal d'intensité  $I$ .

L'information issue du capteur d'ozone est mise en forme de la manière suivante :

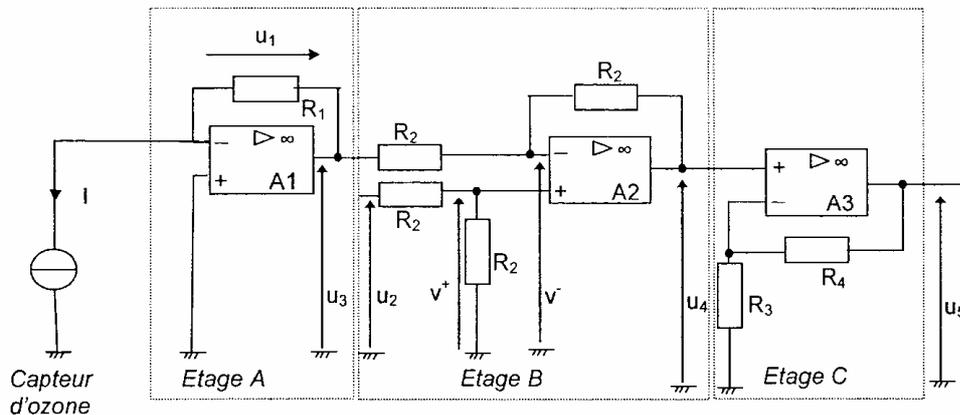


Figure 2

## 2.1 Etage A

2.1.1 Montrer que la tension  $u_1$  peut s'écrire sous la forme :  $u_1 = -a \times c + u_0$ .

On donne  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ .

2.1.2 Calculer les valeurs de  $a$  et  $u_0$ . Précisez les unités de  $a$  et  $u_0$

2.1.3 Déterminer la relation entre la tension  $u_3$  et la tension  $u_1$ .

2.1.4 Identifier la fonction de l'étage A à partir du schéma de la **figure 1**.

## 2.2 Etage B

$u_2$  est une tension de référence interne au montage.

2.2.1 Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel **A2** ? Justifier la réponse.

2.2.2 Exprimer le potentiel  $v^+$  en fonction de la tension  $u_2$ .

2.2.3 Exprimer le potentiel  $v^-$  en fonction des tensions  $u_3$  et  $u_4$ .

2.2.4 En déduire l'expression de la tension  $u_4$  en fonction des tensions  $u_2$  et  $u_1$ .

2.2.5 Quelle est la fonction mathématique réalisée par l'étage B ?

On donne la tension  $u_2 = 10 \text{ V}$ .

2.2.6 Montrer que la tension  $u_4$  peut s'écrire sous la forme  $u_4 = k \times c$ .

2.2.7 Quelle est la valeur de  $k$  ? Préciser son unité.

## 2.3 Etage C

2.3.1 Exprimer la tension  $u_5$  en fonction des résistances  $R_3$  et  $R_4$  et de la tension  $u_4$ .

On donne  $R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$ .

On souhaite obtenir une tension  $u_5 = 1,8 \text{ V}$  lorsque la concentration maximale en ozone est  $c_{\text{max}} = 360 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

2.3.2 Calculer la résistance  $R_4$ .

2.3.3 Tracer, sur la copie, l'allure de la tension  $u_5$  en fonction de la concentration d'ozone  $c$ .

Faire apparaître sur le graphique les points correspondant à  $c = 90 \mu\text{g.m}^{-3}$  et  $c = 180 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

## 3 Dispositif de signalisation

### Principe de fonctionnement

Le dispositif de signalisation est destiné à visualiser les zones correspondant à trois niveaux de qualité de l'air : excellente à assez bonne, moyenne à très médiocre, mauvaise à exécration.

La signalisation est assurée par trois diodes électroluminescentes de couleur : verte, orange et rouge :

| Qualité de l'air         | Concentration $c$ ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) | Signalisation lumineuse |
|--------------------------|--|-------------------------|
| Excellente à assez bonne | 0 à 90                                     | Verte                   |
| Moyenne à très médiocre  | 91 à 180                                   | Orange                  |
| Mauvaise à exécration    | $c > 180$                                  | Rouge                   |

Le schéma structurel du dispositif est représenté figure 3.

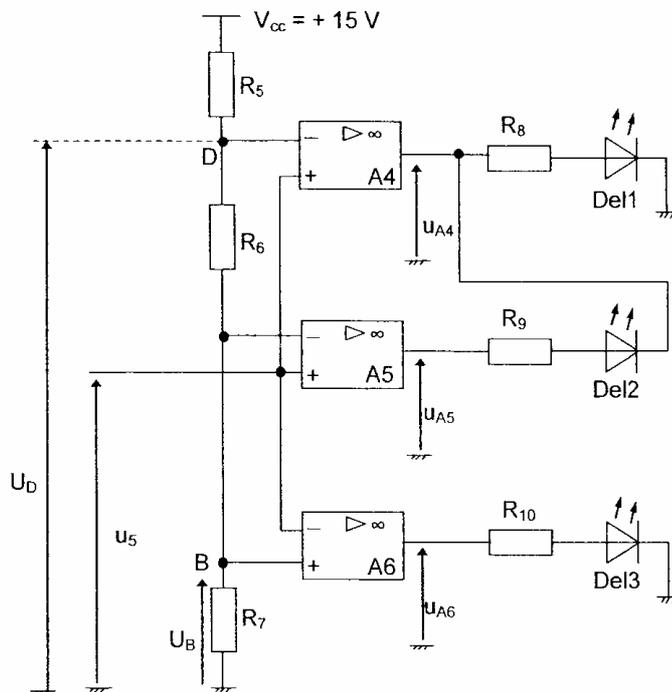


Figure 3

La tension  $u_5$  de l'étage C précédent est comparée à deux tensions de seuil  $U_D$  et  $U_B$ .

### 3.1 Détermination des seuils

Les tensions de seuils sont élaborées par l'ensemble des résistances  $R_5$ ,  $R_6$  et  $R_7$ .

$R_6 = R_7 = 4,7 \text{ k}\Omega$ ,  $R_5$  est à déterminer.

On désire obtenir une tension  $U_D = 0,9 \text{ V}$ .

3.1.1 Calculer la valeur de la résistance  $R_5$ .

3.1.2 En déduire la valeur de la tension  $U_B$ .

### 3.2 Etage de comparaison

Déterminer les valeurs des tensions de sortie  $u_{A4}$ ,  $u_{A5}$  et  $u_{A6}$  dans les différentes conditions présentées dans le tableau du document réponse n°1.

### 3.3 Signalisation

Trois diodes électroluminescentes **Del1**, **Del2** et **Del3** indiquent les zones correspondantes aux trois niveaux de qualité de l'air.

3.3.1 Déterminer l'état des diodes électroluminescentes **Del1**, **Del2** et **Del3** en fonction des tensions de sortie  $u_{A4}$ ,  $u_{A5}$  et  $u_{A6}$  des circuits **A4**, **A5** et **A6** en complétant le tableau du document réponse n°1.

3.3.2 En déduire la couleur à utiliser pour les diodes **Del 1**, **Del 2** et **Del 3** (document réponse n°1).

## PARTIE 2 - Mesure de la vitesse des vents

Cette deuxième partie est totalement indépendante de la précédente.  
Les tensions notées  $u_1, u_2, \dots$  et les résistances notées  $R_1, R_2, \dots$  n'ont aucun lien avec les tensions ou les composants portant les mêmes symboles dans la première partie.

Le schéma fonctionnel du dispositif est représenté figure 4

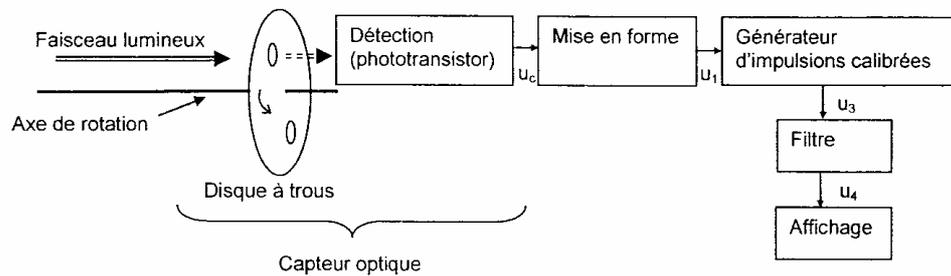


Figure 4

### 1 Capteur optique

Le rotor tourne sous l'action du vent à une fréquence de rotation notée  $n$ . L'axe du rotor est solidaire d'un disque percé de **deux trous**. Le phototransistor détecte le signal lumineux produit par le passage d'un trou devant le faisceau.

Le constructeur du capteur indique une relation entre la vitesse du vent  $v$  en  $\text{km.h}^{-1}$  et la fréquence de rotation du disque  $n$  en  $\text{tr.s}^{-1}$ .

$$v = 3 + 7,308 n$$

**1.1** La vitesse du vent maximale admissible  $v_{\text{max}}$  est de  $180 \text{ km.h}^{-1}$ . Déterminer la fréquence de rotation maximale du disque  $n_{\text{max}}$ .

**1.2** Déterminer, en  $\text{km.h}^{-1}$ , la vitesse minimale de vent  $v_{\text{min}}$  que peut détecter le capteur.

## 2 Détection

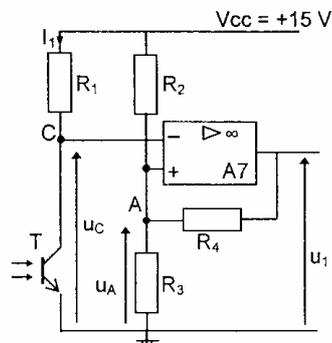


Figure 5

Les tensions d'alimentation de l'amplificateur opérationnel **A7** sont **0 V et +15 V**.

On donne  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ .

Le phototransistor **T** détecte de la lumière lorsqu'un trou est en face du faisceau lumineux.

Dans cette partie, le phototransistor **T** est considéré comme un interrupteur parfait :

- en absence de lumière le phototransistor est bloqué ; il est considéré comme un interrupteur ouvert ;
- en présence de lumière le phototransistor est saturé ; il est considéré comme un interrupteur fermé.

- 2.1 Donner la valeur de la tension  $u_C$  pour les deux modes de fonctionnement du phototransistor.
- 2.2 Lorsque le transistor est saturé, calculer l'intensité  $I_1$  du courant qui traverse la résistance  $R_1$ .
- 2.3 Lorsque le transistor est saturé, calculer la puissance  $P$  dissipée par la résistance  $R_1$ .

### 3 Mise en forme du signal

3.1 A partir de la **figure 5**, préciser le mode de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel **A7**.

Vu de l'entrée non-inverseuse de l'amplificateur opérationnel **A7**, on peut remplacer l'ensemble des résistances **R<sub>2</sub>** et **R<sub>3</sub>** avec la source de tension **V<sub>cc</sub>** (**figure 5**) par leur modèle équivalent de Thévenin **{E<sub>th</sub> ; R<sub>th</sub>}** schématisé **figure 6**.

3.2 Justifier que :

$$E_{th} = V_{cc} \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad \text{et} \quad R_{th} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

3.3 Calculer les valeur de **E<sub>th</sub>** et **R<sub>th</sub>**

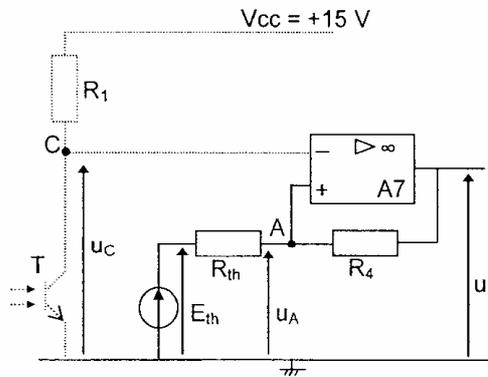


Figure 6

- 3.4 Exprimer la tension **u<sub>A</sub>** en fonction des résistances **R<sub>th</sub>**, **R<sub>4</sub>** et des tensions **E<sub>th</sub>** et **u<sub>1</sub>**.
- 3.5 Calculer la valeur **V<sub>H</sub>** (seuil haut) de la tension **u<sub>A</sub>** quand la tension **u<sub>1</sub>** est égale à **+15 V**.
- 3.6 Calculer la valeur **V<sub>B</sub>** (seuil bas) de la tension **u<sub>A</sub>** quand la tension **u<sub>1</sub>** est égale à **0 V**.
- 3.7 Tracer sur le **document réponse 2** la caractéristique **u<sub>1</sub> = f(u<sub>C</sub>)** et justifier son allure.
- 3.8 Indiquer le sens de parcours du cycle sur le **document réponse 2**.

Dans la réalité le transistor n'est pas parfait, on donne sur le **document réponse 3** l'évolution de la tension **u<sub>C</sub>** en fonction du temps.

3.9 Sur ce document :

- indiquer l'état **bloqué** ou **saturé** du phototransistor **T**;
- tracer les niveaux de commutation sur le graphique **u<sub>C</sub>(t)** ;
- tracer l'allure de la tension **u<sub>1</sub>** en fonction du temps.

*u<sub>1</sub>(t)*

#### 4 Générateur d'impulsions calibrées.

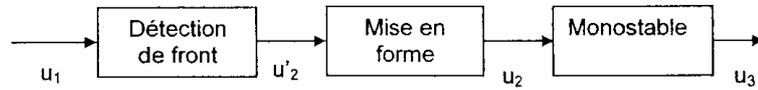


Figure 7

On utilise un monostable qui délivre une impulsion d'amplitude **15 V** de durée **2 ms** à chaque front descendant de  $u_1$ .

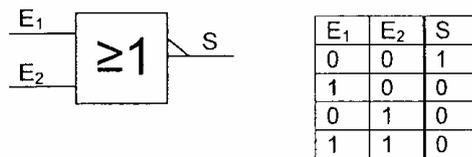
Les circuits de détection de front et de mise en forme ne sont pas étudiés.

##### 4.1 Etude du monostable

Le circuit monostable est réalisé à partir de portes NON OU de technologie CMOS, alimentées en 0V / 15V.

$V_L$  représente la tension de basculement des entrées :  $V_L = V_{DD}/2 = 7,5 V$ .

On rappelle la table de vérité d'une porte NON OU :



##### Schéma structurel du monostable

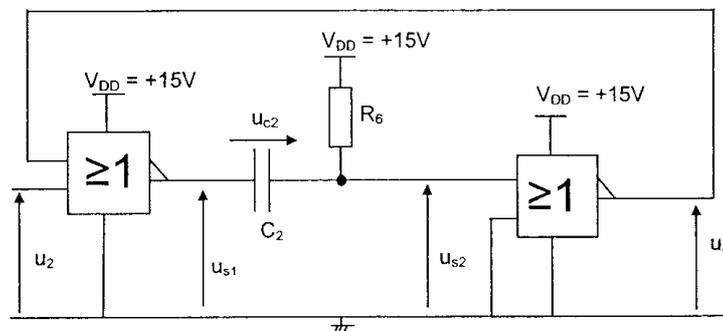


Figure 8

La durée de l'état instable du monostable est donnée par l'expression :  $T_0 = 0,69 R_6 \times C_2$ .

On donne  $C_2 = 47 \text{ nF}$ .

4.1.1 Calculer la valeur de  $R_6$  de manière à obtenir la valeur  $T_0 = 2 \text{ ms}$ .

La tension de commande du monostable  $u_2$  est représentée **document réponse n°3**.

A l'état de repos,  $u_2 = 0 \text{ V}$ .

4.1.2 Déterminer alors la valeur de repos des tensions  $u_{s2}$ ,  $u_3$ ,  $u_{s1}$ , et  $u_{c2}$ .

A un instant  $t = t_0$ , la tension  $u_2$  passe à **+15 V** pendant une durée  $\Delta t$  très brève,  $\Delta t \ll 1 \text{ ms}$ .

4.1.3 Tracer, sur le **document réponse n°3**, l'évolution de la tension  $u_3$  en concordance de temps avec la tension  $u_2$ .

#### 4.2 Etude du filtrage.

Afin d'obtenir une tension continue image de la vitesse, on filtre la tension  $u_3$  issue du monostable.

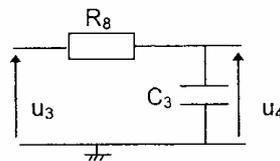


Figure 9

4.2.1 Pour étudier la réponse en fréquence du filtre, on applique à son entrée une tension  $u_3$  sinusoïdale. Aux tensions  $u_3$  et  $u_4$ , on associe les nombres complexes  $\underline{U}_3$  et  $\underline{U}_4$ .

- Déterminer l'expression de la fonction de transfert complexe du filtre  $\underline{T} = \frac{\underline{U}_4}{\underline{U}_3}$  en fonction de  $R_8$ ,  $C_3$  et de la pulsation  $\omega$ .
- Déterminer son module  $T$ .
- Calculer  $T$  pour  $\omega = 0$  et pour  $\omega \rightarrow \infty$ . En déduire la nature du filtre.
- Etablir l'expression de la fréquence de coupure  $f_c$  en fonction des éléments du circuit.
- On souhaite obtenir une fréquence de coupure  $f_c = 0,1 \text{ Hz}$  quand la résistance  $R_8 = 330 \text{ k}\Omega$ . Calculer la valeur de la capacité du condensateur  $C_3$ .

4.2.2 On applique à l'entrée du filtre une tension  $u_3$  dont on donne l'évolution temporelle **figure 10**.

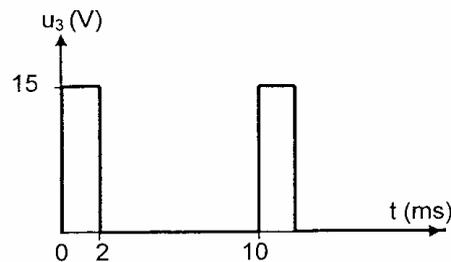


Figure 10

- a Calculer la composante continue  $\langle U_3 \rangle$  du signal  $u_3$ .
- b Déterminer la fréquence de la composante fondamentale du spectre de ce signal.

On suppose que le filtre ne laisse pas passer les harmoniques de la tension  $u_3$  dont la fréquence est supérieure à la fréquence de coupure  $f_c$ .

- c Représenter sur la copie l'allure du spectre d'amplitude de la tension  $u_4$  en fonction de la fréquence.
- d Représenter sur la copie l'allure du signal de sortie du filtre  $u_4$  en fonction du temps.
- e Quel est le rôle du filtre ?

### 5 L'affichage



Figure 11

La tension  $u_4$  issue du filtre dépend de la vitesse du vent  $v$  exprimée en  $\text{km.h}^{-1}$  selon la relation suivante :

$$u_4 = 8,21 \cdot 10^{-3} \times v - 2,46 \cdot 10^{-2}$$

La fonction « mise en forme » permet d'obtenir une tension  $u_5$  liée à  $u_4$  selon la relation :

$$u_5 = u_4 + 2,46 \cdot 10^{-2}$$

**5.1** Exprimer la tension  $u_5$  en fonction de la vitesse du vent  $v$ .

Pour numériser la tension  $u_5$ , on emploie un convertisseur analogique / numérique (CAN). On note  $N$  la valeur décimale du mot numérique codé en binaire naturel. On considère que l'afficheur placé à la suite du CAN indique sur 3 digits la valeur de  $N$ , comme le montre l'exemple suivant :

pour une vitesse maximale de  $180 \text{ km.h}^{-1}$ , la valeur 180 est affichée.

**5.2** Exprimer la tension  $u_5$  en fonction du mot numérique  $N$ .

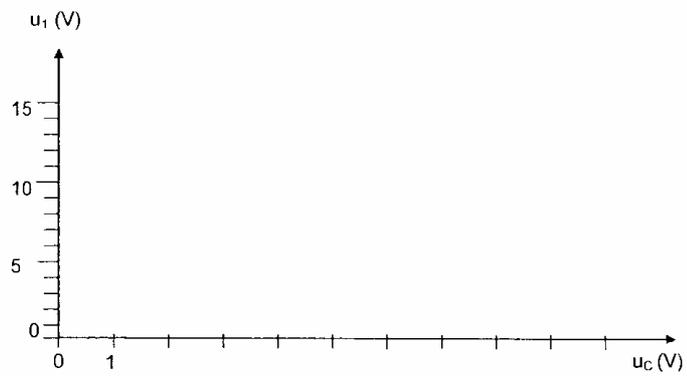
**5.3** En déduire le quantum  $q$  du CAN.

**5.4** Doit-on choisir un CAN à 4 bits ou à 8 bits pour cette application ? Justifier la réponse.

**DOCUMENT REPONSE N° 1**

|                   | $U_{A4}$ (V) | $U_{A5}$ (V) | $U_{A6}$ (V) | Etat des diodes |      |      |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|------|------|
|                   |              |              |              | Del1            | Del2 | Del3 |
| $u_5 < U_B$       |              |              |              |                 |      |      |
| $U_D > u_5 > U_B$ |              |              |              |                 |      |      |
| $u_5 > U_D$       |              |              |              |                 |      |      |
| Couleur des DEL   |              |              |              |                 |      |      |

**DOCUMENT REPONSE N° 2**



DOCUMENT REPONSE N° 3

