

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

## SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

### « Génie Électronique »

Session 2011

## 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.*

## Mesure de la température dans un puits géothermique

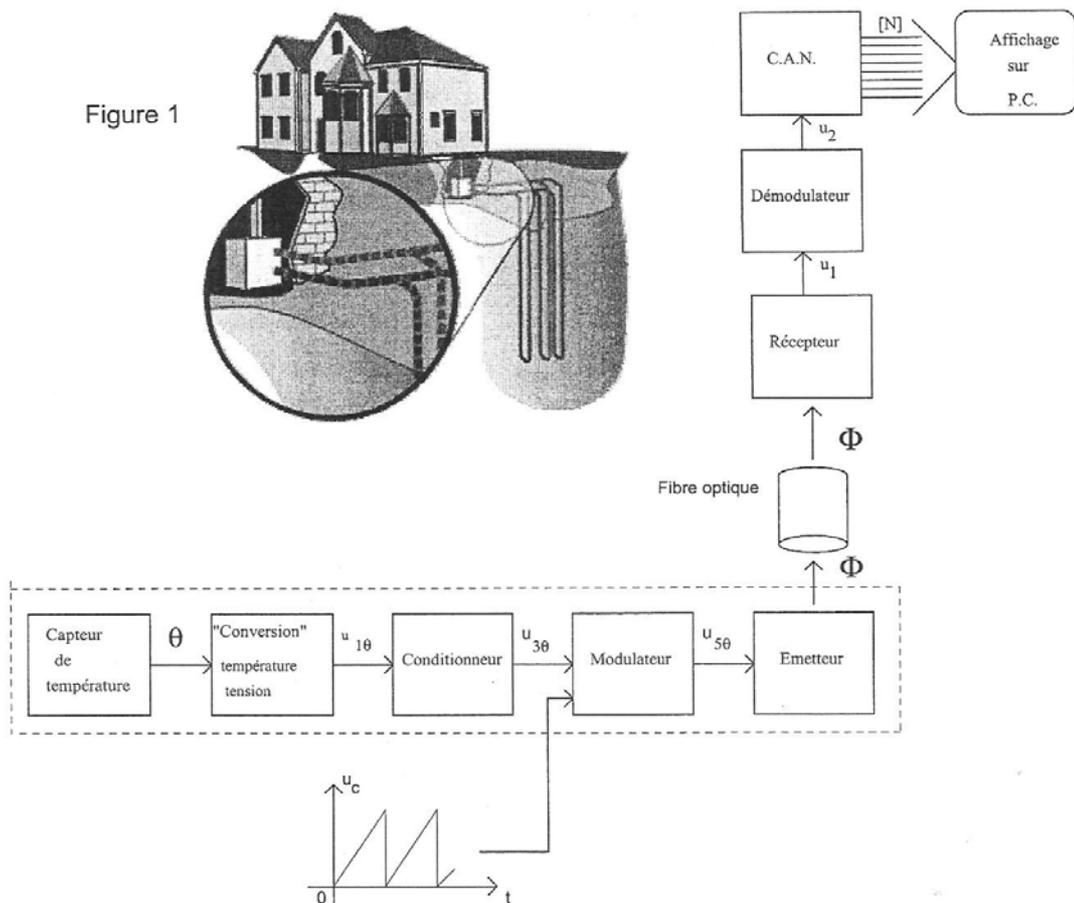
La géothermie est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à les exploiter.

L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude depuis des milliers d'années notamment en Chine et dans la Rome antique. L'augmentation des prix de l'énergie et le besoin d'émettre moins de gaz à effet de serre la rendent maintenant très attrayante.

On ne s'intéressera qu'aux forages « basse énergie », d'une profondeur comprise entre 1000 et 2500 mètres, utilisés pour le chauffage urbain collectif ou pour certaines applications industrielles. A ces profondeurs on peut considérer que les températures sont indépendantes des variations des températures à la surface de la terre.

On étudiera, dans ce sujet, le procédé de mesure de la température dans le puits de forage à diverses profondeurs, ainsi que la transmission de ces informations par fibre optique au poste de contrôle.

La figure 1 illustre le principe d'une chaîne de mesure de température :



Informations générales :

Tous les composants sont considérés comme parfaits.

Les amplificateurs opérationnels (notés A.O.) sont alimentés sous les tensions  $+V_{CC} = +15 \text{ V}$  et  $-V_{CC} = -15 \text{ V}$ . Ils ont une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. Leurs tensions de saturation sont égales à  $+15 \text{ V}$  ou à  $-15 \text{ V}$ .

Les valeurs instantanées des grandeurs variables au cours du temps sont notées :  $v$  pour  $v(t)$ ,  $i$  pour  $i(t)$ , ...

**Les documents réponses placés en fin de sujet sont à rendre avec la copie.**

**1. Etude du capteur de température : Sonde au Platine**

Une sonde résistive au platine est un capteur dont la résistance, notée  $R_s$ , varie en fonction de la température  $\theta$  selon la loi suivante :

$R_s = R_0 (1 + a.\theta)$  avec  $R_0 = 100 \Omega$  et  $a = 3,85 \times 10^{-3}$  : constante de température dont l'unité devra être précisée plus loin.

Dans cette relation,  $\theta$  sera exprimée en  $^{\circ}\text{C}$ .

Cette sonde sera placée à différentes profondeurs.

**1-1** Indiquer l'unité de la constante  $a$ .

**1-2** Pour quelle température a-t-on  $R_s = R_0$  ?

On considère que la température du sous-sol à une profondeur de 100 mètres vaut  $14 \text{ }^{\circ}\text{C}$  et reste constante quelle que soit la saison. Pour le forage étudié, on admet que la température augmente de  $+4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  tous les 100 mètres de profondeur .

**1-3** Compléter les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> lignes du tableau du **document réponse n°1** en calculant la température et la valeur de la résistance  $R_s$  de la sonde pour différentes profondeurs.

## 2. Etude de la conversion température / tension

Le schéma du montage pour cette partie est représenté figure n°2.

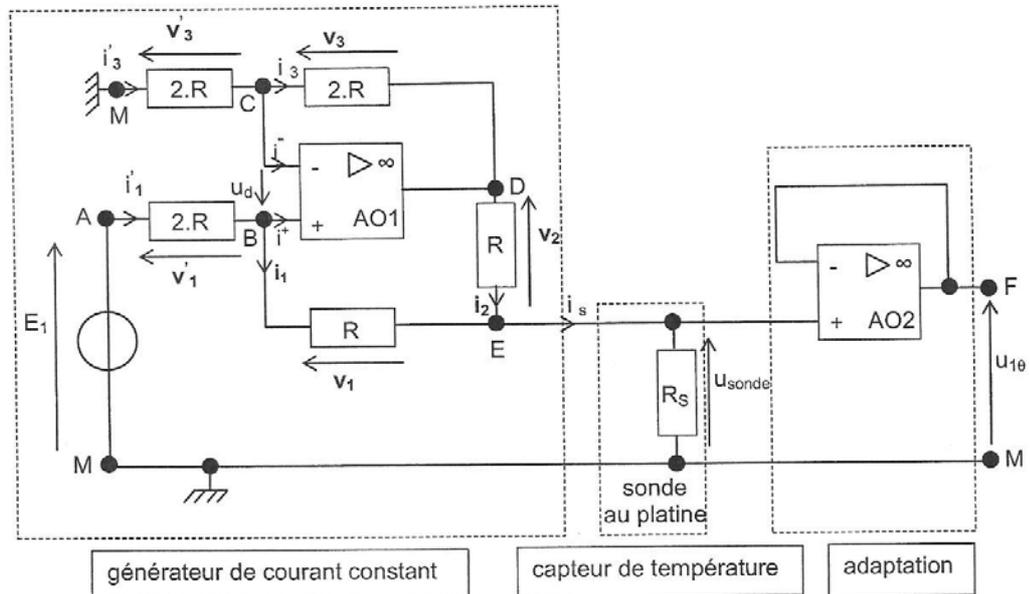


figure n°2

### 2-1 Etude du générateur de courant constant

2-1-1 Exprimer  $i_2$  en fonction de  $i_1$  et  $i_s$  (relation n°1).

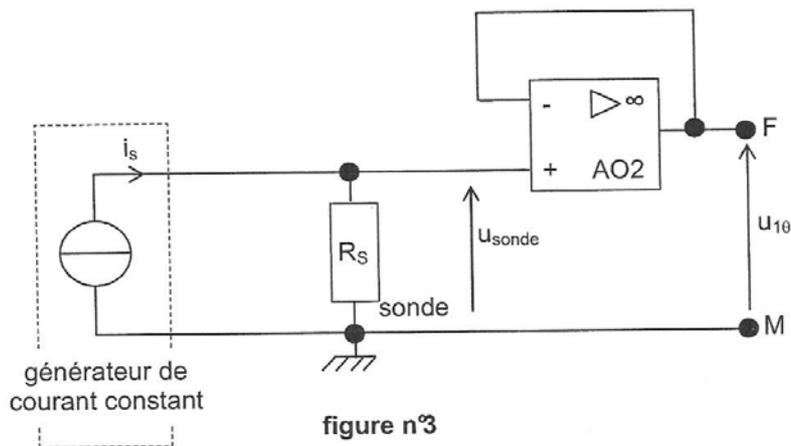
2-1-2 Quelle est la valeur des intensités des courants  $i^-$  et  $i^+$  ?  
En déduire une relation entre  $i_1$  et  $i_1'$  puis entre  $i_3$  et  $i_3'$ .

2-1-3 L'amplificateur opérationnel AO1 fonctionne en régime linéaire.  
Que vaut la tension différentielle  $u_d$  ?  
Ecrire la loi des mailles dans la maille [M, A, B, C, M].  
En déduire l'expression de  $i_3$  en fonction de  $E_1$ ,  $R$  et  $i_1$  (relation n°2).

2-1-4 Recherche de l'expression de  $i_s$  :  
Ecrire la loi des mailles dans la maille [B, C, D, E, B]. En déduire l'expression de  $i_2$  en fonction de  $i_1$  et  $i_3$ .  
Remplacer dans cette équation  $i_2$  et  $i_3$  par les expressions trouvées précédemment (relation n°1 et relation n°2) et montrer que l'intensité du courant  $i_s$  (grandeur de sortie du montage) peut se mettre sous la forme  $i_s = k E_1$ , avec  $k = \frac{1}{R}$ .

### 2-2 Etude du montage complet

Le schéma (modèle) équivalent du montage, à gauche des points F et M, est représenté figure n°3 :



Pour les applications numériques, on prendra  $i_s = 10 \text{ mA}$  et  $E_1 = 10 \text{ V}$ .

**2-2-1** La valeur de  $i_s$  dépend-elle de la résistance  $R_s$  de la sonde au platine ? Justifier.

Calculer la valeur numérique de la résistance  $R$ .

**2-2-2** Exprimer  $u_{\text{sonde}}$  en fonction de  $i_s$  et  $R_s$ . Justifier la réponse.

**2-2-3** Donner la relation entre  $u_{10}$  et  $u_{\text{sonde}}$ . Quelle fonction est réalisée par l'amplificateur opérationnel AO2 ?

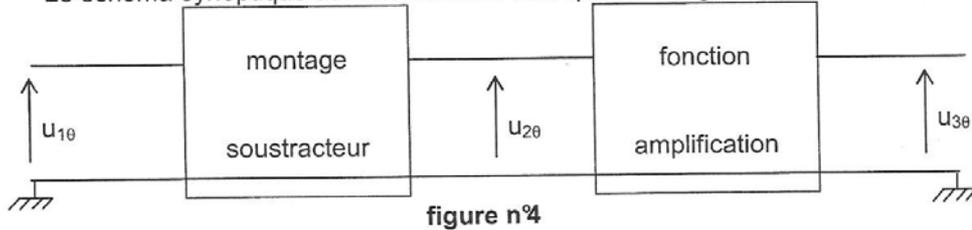
**2-2-4** Compléter la 4<sup>ème</sup> ligne du tableau du **document réponse n°1** en calculant la valeur de  $u_{10}$  aux différentes profondeurs.

**2-2-5** Montrer que  $u_{10}$  peut s'écrire sous la forme  $u_{10} = U_0(1 + a \theta)$  en exprimant  $U_0$  en fonction de  $i_s$  et  $R_0$ . *On rappelle que :  $R_s = R_0(1 + a \theta)$ .*

**2-2-6** Calculer  $U_0$  (on rappelle que  $R_0 = 100 \Omega$ ).

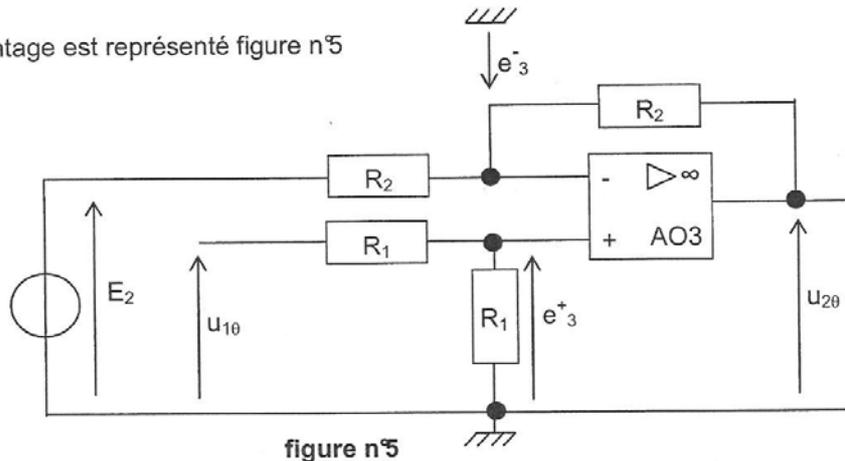
### 3. Etude du conditionneur

Le schéma synoptique de cette fonction est représenté figure n°4.



#### 3-1 Etude du montage soustracteur

Le montage est représenté figure n°5



3-1-1 Exprimer  $e_3^+$  en fonction de  $u_{10}$ .

3-1-2 Exprimer  $e_3^-$  en fonction de  $E_2$  et  $u_{20}$ .

3-1-3 Quelle relation peut-on écrire entre  $e_3^+$  et  $e_3^-$ ? Justifier la réponse.

3-1-4 Montrer que  $u_{20} = u_{10} - E_2$ .

3-1-5 On donne  $E_2 = 1V$ .

Compléter la 5<sup>ème</sup> ligne du tableau du **document réponse n°1** à rendre avec la copie en calculant la valeur de  $u_{20}$  aux diverses profondeurs.

Pour la suite du sujet, la tension  $u_{20}$  évolue en fonction de la température  $\theta$  suivant la relation :  $u_{20} = 3,86 \times 10^{-3} \theta$ .

#### 3-2 Etude de l'amplification en tension

On souhaite amplifier la tension  $u_{20}$ . La caractéristique de transfert de cette fonction est représentée sur le **document réponse n°2** :

3-2-1 Indiquer, sur le **document réponse n°2** à rendre avec la copie, la partie de la caractéristique correspondant au fonctionnement linéaire de l'amplificateur.

3-2-2 Déterminer, pour la zone linéaire, la relation existant entre  $u_{30}$  et  $u_{20}$ .

3-2-3 Montrer que  $u_{3\theta} = 3,86 \times 10^{-2} \theta$ .

3-2-4 Compléter la 6<sup>ème</sup> ligne du tableau du **document réponse n°1** en calculant la valeur de  $u_{3\theta}$  aux diverses profondeurs.

#### 4. Etude du modulateur

Le schéma du montage du modulateur est représenté figure n°6.

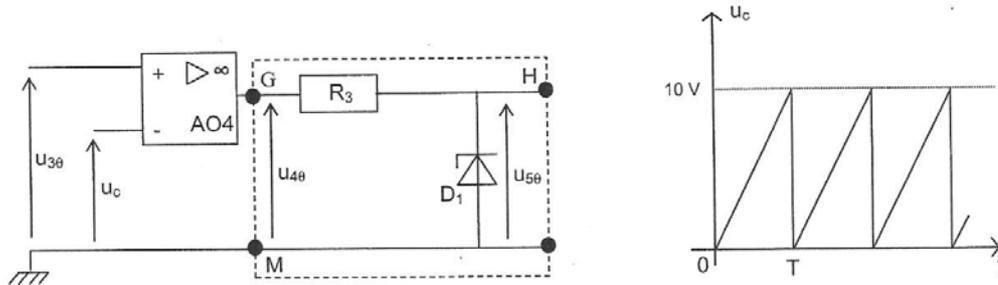


figure n°6

La diode Zener  $D_1$  est idéale (tension de seuil nulle  $U_{\text{seuil } D_1} = 0 \text{ V}$  ; tension Zener  $U_{Z1} = 5 \text{ V}$ ).

On rappelle, pour la suite du problème, que  $u_{3\theta}$  est proportionnelle à la température  $\theta$  selon la relation :  $u_{3\theta} = 3,86 \times 10^{-2} \theta$ .

##### 4-1 Recherche de l'allure de $u_{4\theta}$

4.1.1 Document réponse n°3 à rendre avec la copie. Tracer sur les chronogrammes de  $u_c$ , l'allure de la tension  $u_{3\theta}$ , pour les valeurs de température  $\theta = 50 \text{ °C}$  et  $\theta = 110 \text{ °C}$ .

4.1.2 Représenter, pour les mêmes valeurs de la température  $\theta$ , les chronogrammes de la tension  $u_{4\theta}$ , sur le **document réponse n°3**.

##### 4-2 Recherche de l'allure de $u_{5\theta}$

4-2-1 1<sup>er</sup> cas :  $u_{4\theta} = +V_{cc}$

Quel est l'état de la diode ? En déduire la valeur de  $u_{5\theta}$ .

4-2-2 2<sup>ème</sup> cas :  $u_{4\theta} = -V_{cc}$

Quel est l'état de la diode ? En déduire la valeur de  $u_{5\theta}$ .

4-2-3 Représenter le chronogramme de la tension  $u_{5\theta}$ , sur le **document réponse n°3**, pour  $\theta = 50 \text{ °C}$  puis pour  $\theta = 110 \text{ °C}$ .

4-2-4 Quelle caractéristique de la tension  $u_{5\theta}$  la température  $\theta$  fait-elle varier ?

## 5. Etude de la transmission Optique

Le support de transmission est une fibre optique.

L'émetteur est réalisé autour d'une diode électroluminescente (D.E.L.)  $D_2$ . Le détecteur est constitué d'une photodiode  $D_3$ , comme le montre la **figure n°7**.

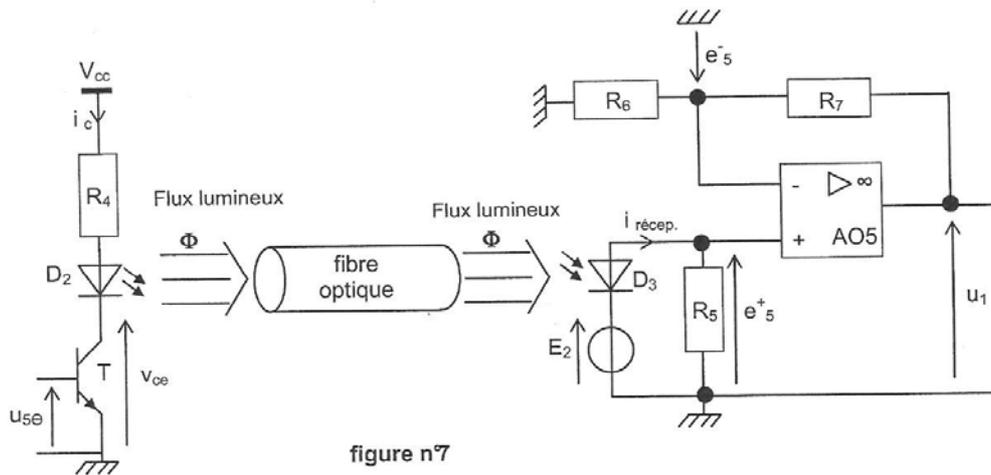


figure n°7

Le transistor bipolaire T fonctionne en commutation :

- Lorsque  $u_{5\theta} = 0$  : le transistor T est bloqué,  $i_c = 0$  A
- Lorsque  $u_{5\theta} = +5$  V : le transistor T est saturé,  $v_{ce} = 0$  V

La tension de seuil de la DEL  $D_2$  vaut : 2 V.

On rappelle que  $V_{cc} = 15$  V. L'amplificateur opérationnel AO5 fonctionne en régime linéaire.

On néglige l'atténuation que subit l'intensité lumineuse dans la fibre optique.

La transmission optique est du type « tout ou rien », on a alors :

|                          |               |                            |               |                |               |  |
|--------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------|---------------|--|
| $D_2$ bloquée (éteinte)  | $\rightarrow$ | $\Phi = 0$                 | $\rightarrow$ | $D_3$ bloquée  | $\rightarrow$ | $i_{\text{récep.}} = 0$ A  |
| $D_2$ passante (allumée) | $\rightarrow$ | $\Phi = \Phi_{\text{max}}$ | $\rightarrow$ | $D_3$ passante | $\rightarrow$ | $i_{\text{récep.}} = 250$ $\mu$ A (courant inverse de la photodiode) |

5-1 Citez l'un des avantages d'une transmission par voie optique.

5-2 On souhaite limiter l'intensité du courant dans la DEL  $D_2$  à la valeur 20 mA lorsqu'elle est passante.

Calculer la valeur à donner à la résistance  $R_4$  pour assurer cette condition.

5-3 Donner le nom du montage réalisé avec AO5,  $R_6$  et  $R_7$ .

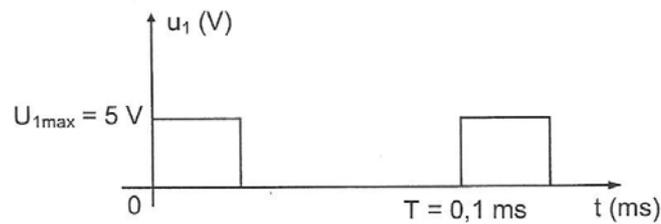
#### 5-4 Synthèse :

On donne  $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$  et  $R_6 = R_7 = 1 \text{ k}\Omega$ . On admet que  $u_1 = R_5 \frac{R_6 + R_7}{R_6} i_{\text{récep}}$ .

Compléter le tableau du **document réponse n°4**.

### 6. Etude du démodulateur

#### 6-1 Analyse harmonique du signal $u_1$



La tension  $u_1$ , de fréquence  $F$ , admet la décomposition harmonique suivante, limitée aux 4 premiers termes :

$$u_1(t) = 1,25 + 2,25 \sin(2\pi F t + \varphi_1) + 1,59 \sin(4\pi F t + \varphi_2) + 0,75 \sin(6\pi F t + \varphi_3)$$

**6-1-1** Que représente la constante de valeur 1,25 V dans l'expression de  $u_1(t)$  ?

On souhaite mesurer cette grandeur avec un voltmètre numérique.

Indiquer le réglage de l'appareil de mesure (AC, AC+DC ou DC).

**6-1-2** Préciser la valeur de la fréquence du fondamental de la tension  $u_1(t)$  ?

**6-1-3** Représenter, sur le **document réponse n°5**, l'allure du spectre en amplitude (valeur crête) de  $u_1(t)$  - pour des fréquences  $f$  comprises entre 0 Hz et 30 kHz - en précisant les grandeurs, les unités et l'échelle.

## 6-2 Etude du filtre

Le schéma fonctionnel du filtre est représenté figure n°8 .

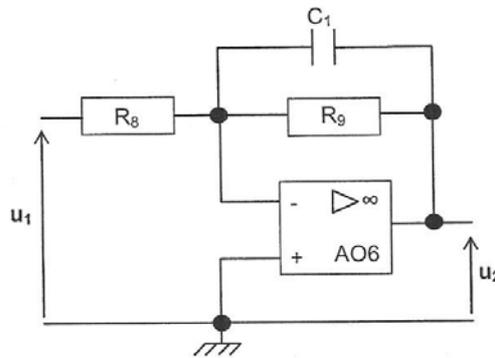


figure n°8

L'étude sera faite en régime sinusoïdal de pulsation  $\omega$ .

On associe la grandeur complexe  $\underline{U}_1$  à la tension  $u_1$  et la grandeur complexe  $\underline{U}_2$  à la tension  $u_2$  de sortie du filtre.

On définit la fonction de transfert du filtre :  $\underline{T} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ .

### 6-2-1 Expression de la fonction de transfert complexe

- Rappeler l'expression de l'admittance complexe  $\underline{Y}_C$  d'un condensateur parfait de capacité  $C$ , puis celle de l'admittance complexe  $\underline{Y}_R$  d'une résistance  $R$ .
- Déterminer l'expression de l'admittance complexe  $\underline{Y}_1$  du dipôle équivalent à l'association de  $R_9$  et de  $C_1$  en fonction  $R_9$ ,  $C_1$  et  $\omega$ .
- Montrer que la fonction de transfert du montage peut se mettre sous la forme :

$$\underline{T} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{-R_9}{R_8(1 + jR_9C_1\omega)}$$

- On souhaite avoir une amplification en tension en régime continu égale à  $-4$ . Quelle valeur faut-il donner à  $R_9$ , sachant que  $R_8 = 10 \text{ k}\Omega$  ?

### 6-2-2 Module de la fonction de transfert

- Déterminer l'expression du module noté  $T$  de la fonction de transfert  $\underline{T}$  en fonction de  $R_8$ ,  $R_9$ ,  $C_1$  et  $\omega$ .
- Donner la valeur limite de  $T$  en très basses fréquences ( $f \rightarrow 0 \text{ Hz}$ ), puis sa valeur limite en très hautes fréquences ( $f \rightarrow \infty$ ). En déduire la nature du filtre.

### 6-2-3 Courbe de gain

- a- À partir de la courbe de gain du circuit (se référer au **document réponse n°6**), déterminer la valeur de la fréquence de coupure  $f_c$  du filtre. Indiquer clairement la méthode utilisée.
- b- Sachant que l'expression de la pulsation de coupure à -3 dB est  $\omega_c = \frac{1}{R_9 C_1}$ , déterminer la valeur de la capacité du condensateur  $C_1$ .
- c- Pour  $f = 1$  kHz, que vaut le gain en tension du montage ? En déduire l'amplification en tension pour cette fréquence.
- d- On rappelle que l'amplification en tension en régime continu vaut : - 4.  
Dans le cas où  $u_1 = 1,25$  V, calculer  $u_2$ .
- e- Pour une fréquence de 10 kHz, l'amplification en tension vaut  $-4 \times 10^{-5}$ .  
Dans le cas où  $u_1(t) = 2,25 \sin(2\pi \cdot 10000 \cdot t)$ , calculer l'ordre de grandeur de l'amplitude de  $u_2$ .  
*On considérera comme nulle une tension pour laquelle l'amplitude est inférieure à 1 mV.*

### 6-2-4 Synthèse de la partie « étude du filtre »

Déduire des questions précédentes l'expression de la tension  $u_2$  dans le cas où la tension  $u_1$  est celle exprimée en 6-1.  
Quel est le rôle de ce montage ?

## 7. Etude du convertisseur Analogique / Numérique

Afin d'afficher la tension  $u_2$  (image de la température  $\theta$ ), on insère dans le montage un échantillonneur bloqueur et un convertisseur analogique numérique (CAN) simple rampe 8 bits.

**Pour la suite du problème, on admettra que  $u_2 = -7,7 \times 10^{-2} \theta$ .**

Le schéma synoptique de cette fonction est représenté **figure n°9**.

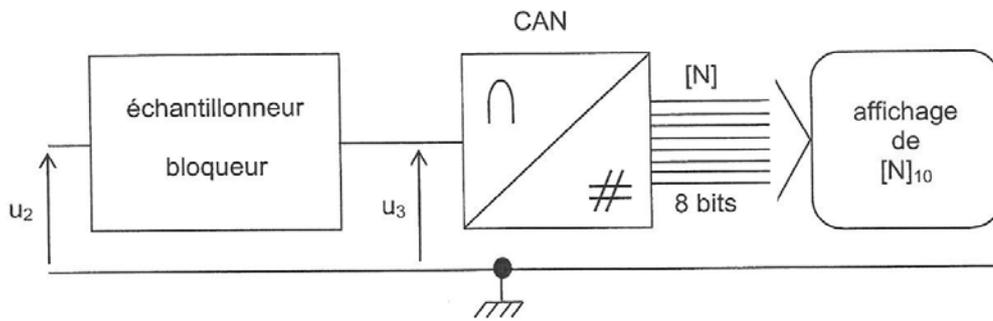
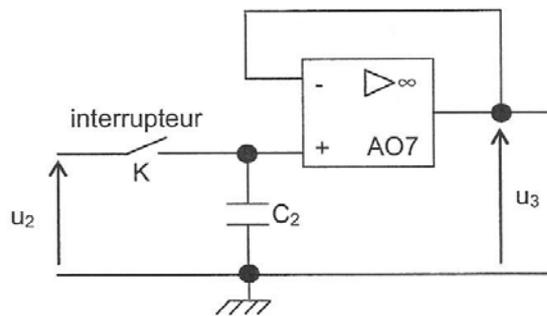


figure n°9

### 7-1 Etude d'un échantillonneur bloqueur

Le schéma de principe est présenté figure n°10 .



Le montage comporte un interrupteur idéal K commandé périodiquement. Le CAN a une résistance d'entrée infinie.

- 7-1-1 A  $t = 0$  s, on ferme K.  
Exprimer  $u_3$  en fonction de  $u_2$  lorsque l'interrupteur est fermé.
- 7-1-2 A  $t = t_1$ , on ouvre K. Comment évolue alors la tension  $u_3$  sachant que le CAN a une résistance d'entrée infinie ? Justifier la réponse.
- 7-1-3 Quel est le rôle d'un tel montage en amont d'un CAN ?

## 7-2 Etude du Convertisseur Analogique Numérique.

On notera  $[N]$  la valeur binaire du mot numérique de sortie du CAN et  $[N]_{10}$  sa valeur décimale. La caractéristique de transfert du CAN,  $[N]_{10} = f(u_3)$  se présente comme une succession de paliers s'appuyant sur une droite D comme le montre la **figure n°11**.

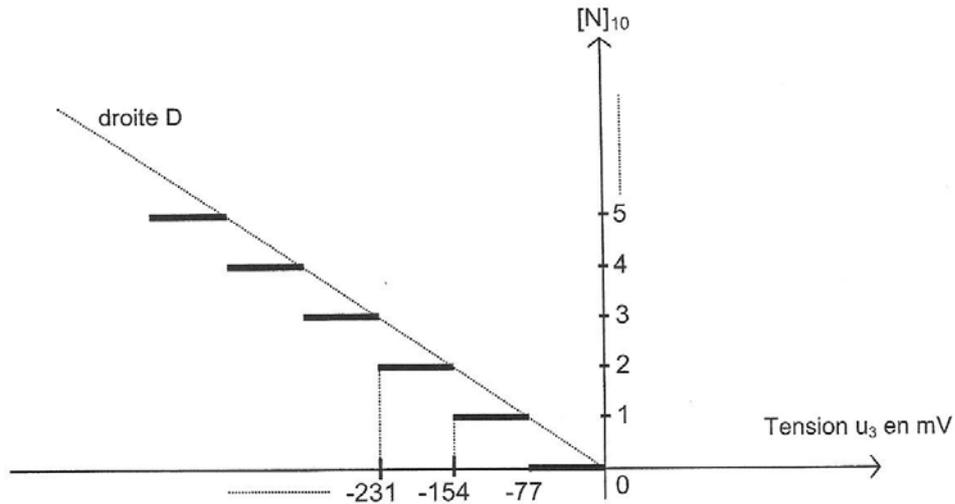


figure n°11

7-2-1 Quel est l'intérêt d'avoir un nombre de bits important ?

7-2-2 Calculer le nombre de combinaisons possibles pour  $[N]$ .

7-2-3 Déterminer  $[N_{MAX}]$  et  $[N_{MAX}]_{10}$ .

7-2-4 Déterminer la valeur du quantum  $q$ .

En déduire la valeur de la température maximale, notée  $\theta_{max}$ , que l'on peut afficher. Est-elle compatible avec les températures rencontrées lors de ce type de forage ?

7-2-5 Synthèse CAN

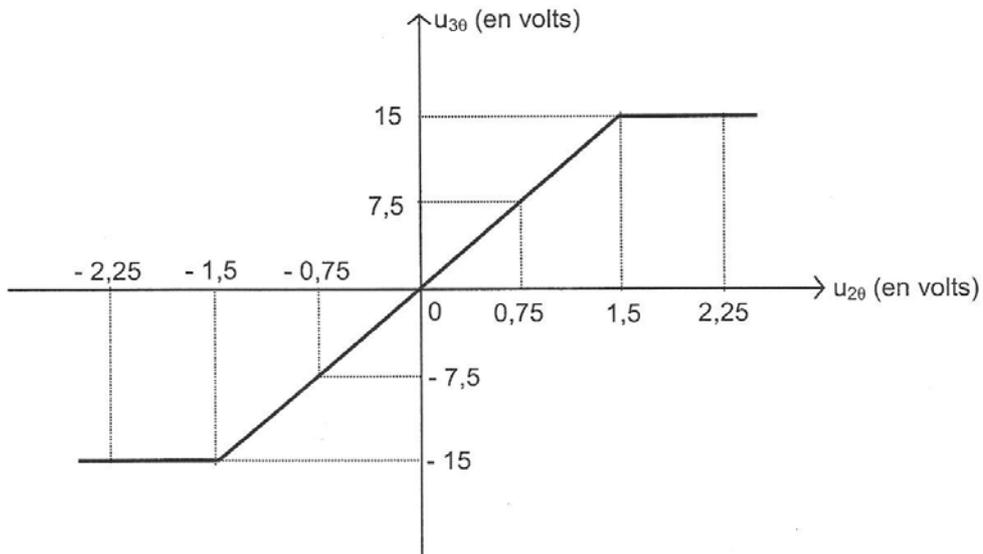
Compléter la 7<sup>ème</sup> ligne du **tableau du document réponse n°1** en calculant la valeur de  $[N]_{10}$  aux diverses profondeurs.

**Documents réponses (à rendre avec la copie)**

**Document réponse n°1**

|                | Profondeur du forage (en m)      | $P_1 = 1\ 000\ m$ | $P_2 = 2\ 000\ m$ | $P_3 = 2\ 500\ m$ |
|----------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Question 1-3   | Température (en °C)              | $\theta_1 =$      | $\theta_2 =$      | $\theta_3 =$      |
| Question 1-3   | $R_s$ (en $\Omega$ )             | $R_s =$           | $R_s =$           | $R_s =$           |
| Question 2-2-4 | Tension $u_{1\theta}$ (en volts) | $u_{1\theta} =$   | $u_{1\theta} =$   | $u_{1\theta} =$   |
| Question 3-1-5 | Tension $u_{2\theta}$ (en volts) | $u_{2\theta} =$   | $u_{2\theta} =$   | $u_{2\theta} =$   |
| Question 3-2-4 | Tension $u_{3\theta}$ (en volts) | $u_{3\theta} =$   | $u_{3\theta} =$   | $u_{3\theta} =$   |
| Question 7-2-5 | $[N]_{10}$ en base décimale      | $[N]_{10} =$      | $[N]_{10} =$      | $[N]_{10} =$      |

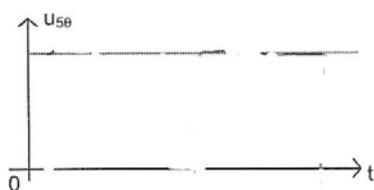
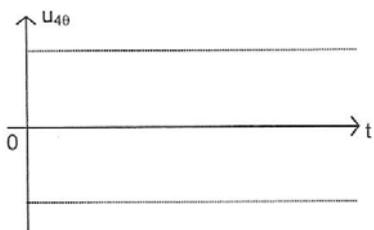
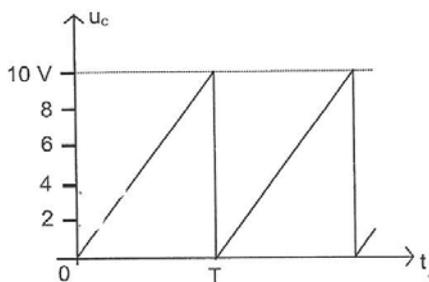
**Document réponse n°2**



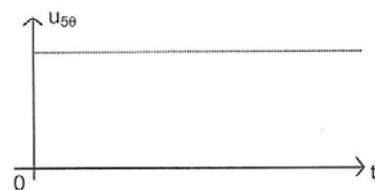
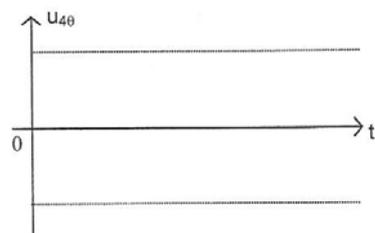
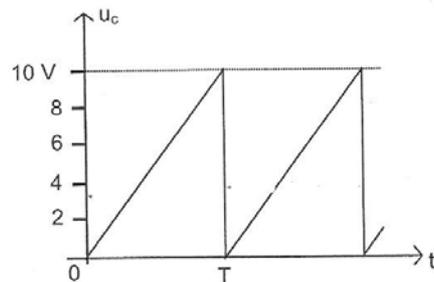
## Documents réponses (à rendre avec la copie)

### Document réponse n°3

Pour une température de 50 °C



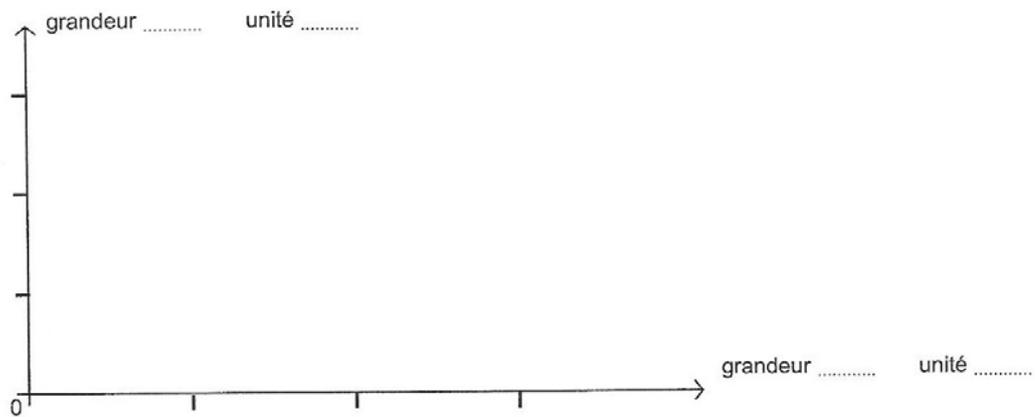
Pour une température de 110 °C



Document réponse n°4 à rendre avec la copie (question 5-4)

|              | $U_{50}$ | $D_2$<br>(allumée ou éteinte) | $\Phi$<br>(0 ou $\Phi_{max}$ ) | $i_{récep}$<br>(valeur) | $u_1$<br>(valeur) |
|--------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Question 5-4 | 0 V      |                               |                                |                         |                   |
| Question 5-4 | 5 V      |                               |                                |                         |                   |

Document réponse n°5 à rendre avec la copie (question 6-1-3)  
Représentation du spectre de la tension  $u_1$



Document réponse n° à rendre avec la copie (question 6-2-3 a)

### courbe de gain en fonction de la fréquence

