

**Question de cours : (12 pts)**

1- Définir un capteur fidèle ? (2 pts)

2- Définir un capteur juste ? (2 pts)

3- Définir un capteur précis ? (2 pts)

4- On souhaite acquérir le signal suivant :  $s(t) = S_{max} \sin(2\pi f t)$  avec  $S_{max} = 5V$

et  $f = 2\text{kHz}$  avec une carte d'acquisition National Instruments. Le cahier des charges est le suivant : acquérir 50 points par période, afficher 5 périodes et avoir une résolution de 1 mV.

4.1 – Calculer la fréquence d'échantillonnage. **(2 pts)**

4.2 – Calculer la taille du buffer d'entrée. **(2 pts)**

4.3 – Quel doit être le nombre minimale N du convertisseur analogique numérique. **(2 pts)**

**Problème 1 : (44,5 pts)**

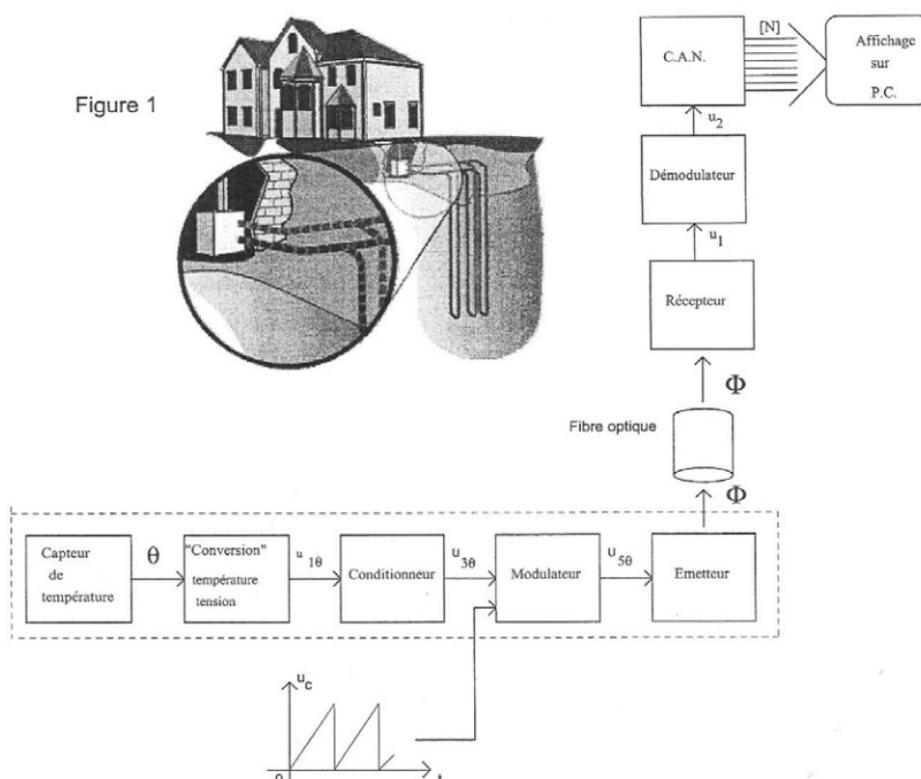
La géothermie est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à les exploiter.

L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau 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 mètres et 2500 mètres, utilisées pour le chauffage urbain collectif ou pour certaines applications industrielles. A ces profondeurs on peut considérer que les températures sont indépendantes des variations de températures à la surface de la terre.

On étudiera, dans ce problème, 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.

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 (noté AO) 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  $+15\text{ V}$  et  $-15\text{ V}$ .

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

**Partie 1 : Étude du capteur de température : sonde au Platine (2,5 pts)**

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  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Cette sonde sera placée à différentes profondeurs.

1- Indiquer l'unité de  $a$  ? **(0,5 pts)**

2 - Pour quelle température a-t-on  $R_s = R_0$  ? **(0,5 pts)**

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

3- Compléter les 2ème et 3ème ligne du tableau document réponse n°1 en calculant la température et la valeur de la résistance  $R_s$  de la sonde pour différentes profondeurs. **(1,5 pts)**

**Partie 2 : Étude de la conversion température / tension**

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

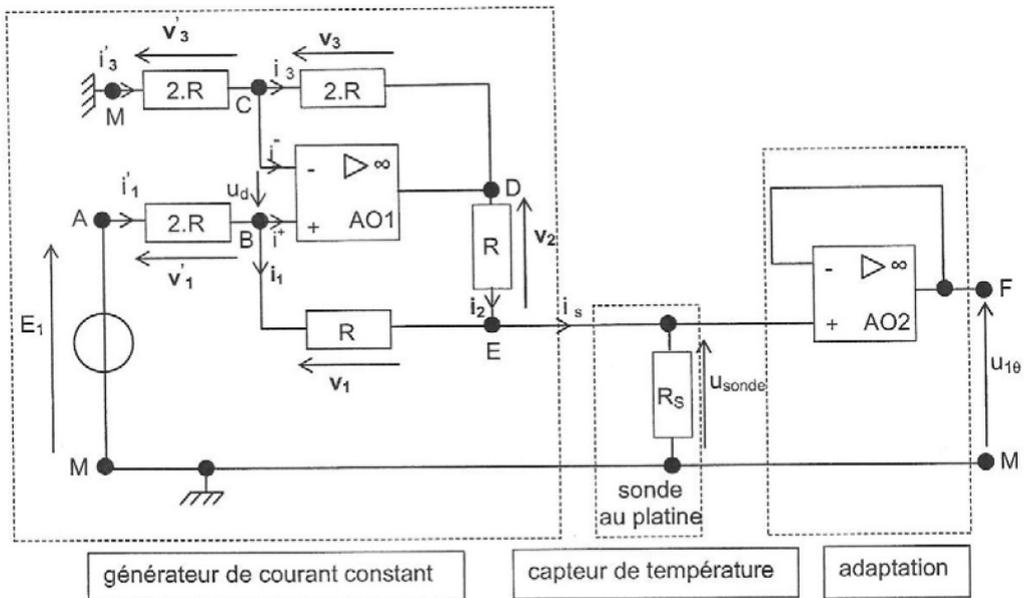


figure n°2

• Étude du générateur de courant constant (9,5 pts)

L'amplificateur opérationnel AO1 fonctionne en régime linéaire.

1- Exprimer  $i_2$  en fonction de  $i_1$  et  $i_s$  . (1 pts)

2- Exprimer une relation entre  $i_1$  et  $i_1'$  . (0,5 pts)

3- Exprimer une relation entre  $i_3$  et  $i_3'$  . (0,5 pts)

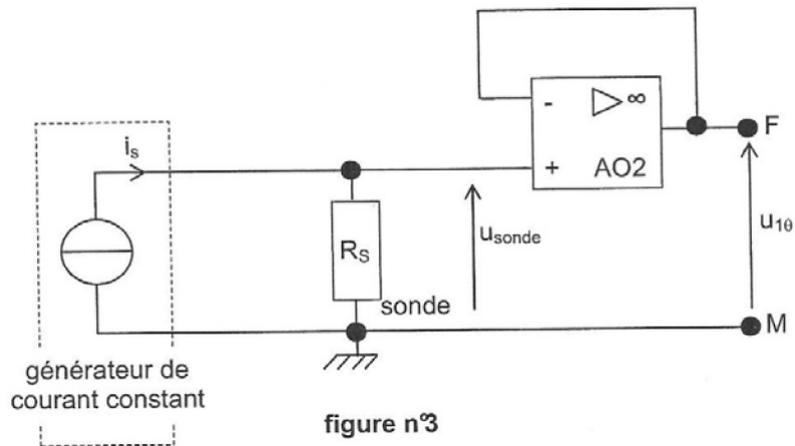
4- En utilisant la maille [M,A,B,C,M], exprimer  $i_3$  en fonction de  $E_1, R$  et  $i_1$  .(3 pts)

5- En utilisant la maille [B,C,D,E,B], exprimer  $i_2$  en fonction de  $i_1$  et  $i_3$  .(3 pts)

6- En déduire que le courant  $i_s$  peut se mettre sous la forme  $i_s = \frac{E_1}{R}$  . (1,5 pts)

- **Étude du montage complet (6 pts)**

Le schéma (modèle) équivalent du montage, à gauche des points F et M, est représentée figure n°3. Pour les applications numériques, on prendra  $i_s = 10 \text{ mA}$  et  $E_1 = 10 \text{ V}$  .



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. **(0,5 pts)**

2- Exprimer  $u_{sonde}$  en fonction de  $i_s$  et  $R_s$ . Justifier la réponse. **(1 pts)**

3- Donner la relation entre  $u_{10}$  et  $u_{sonde}$ . Quelle fonction est réalisée par l'amplificateur opérationnel AO2 ? **(1 pts)**

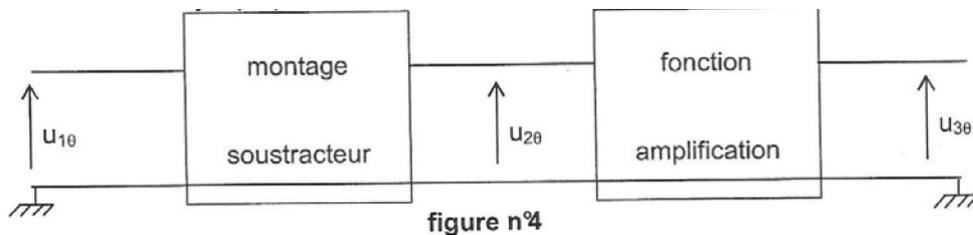
4- Compléter la 4ème ligne du tableau du document réponse n°1 en calculant la valeur de  $u_{1\theta}$  aux différentes profondeurs. **(1,5 pts)**

5- Montrer que  $u_{1\theta}$  peut s'écrire sous la forme  $u_{1\theta} = U_0(1 + a\theta)$  . **(1 pts)**

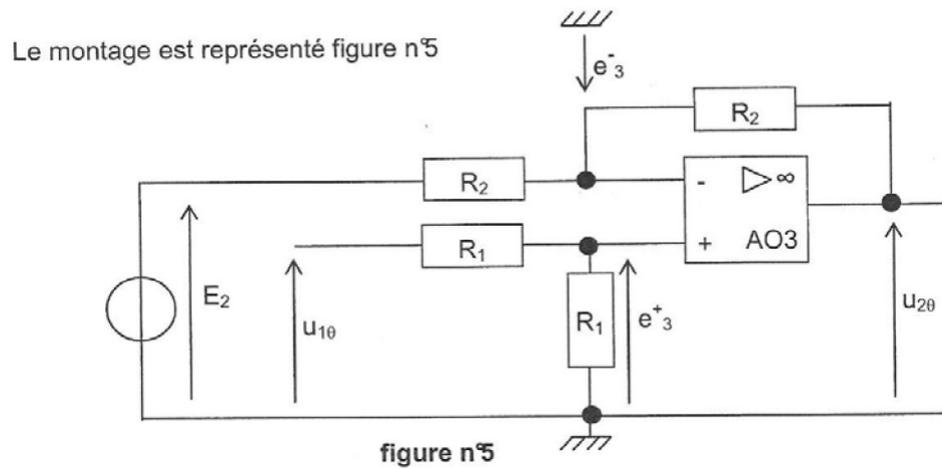
6- Calculer  $U_0$  . **(1 pts)**

**Partie 3 : Étude du conditionneur**

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



- **Étude du montage soustracteur (5 pts)**



1- Exprimer  $e_3^+$  et  $e_3^-$  . (1,5 pts)

2- Montrer que  $u_{2\theta} = u_{1\theta} - E_2$  . (2 pts)

3- On donne  $E_2 = 1 \text{ V}$  . Compléter la 5ème ligne du tableau du document réponse n°1 à rendre avec la copie en calculant la valeur de  $u_{2\theta}$  aux diverses profondeurs. (1,5 pts)

Pour la suite du sujet, le tension  $u_{2\theta}$  évolue en fonction de la température  $\theta$  suivant la relation :  $u_{2\theta} = 3,86 \times 10^{-3} \theta$  .

- **Étude de l'amplification en tension (5 pts)**

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

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

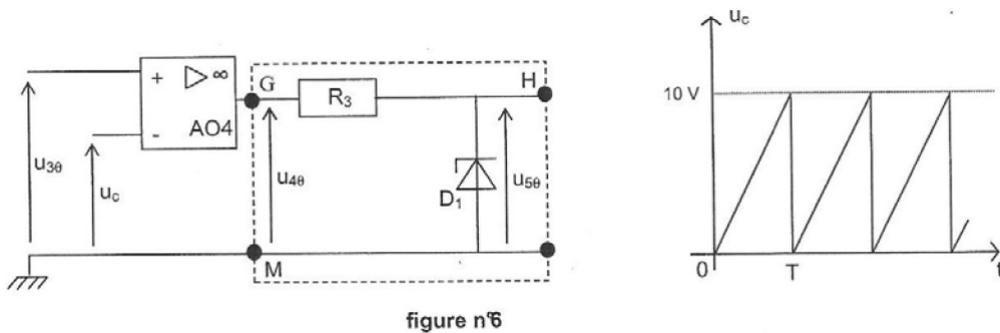
2- Déterminer, pour la zone linéaire, la relation existant entre  $u_{3\theta}$  et  $u_{2\theta}$  . **(1 pts)**

3- Montrer que  $u_{3\theta} = 3,86 \times 10^{-2} \theta$  . **(1,5 pts)**

4- Compléter la 6ème ligne du tableau du document réponse n°1 en calculant la valeur de  $u_{3\theta}$  aux diverses profondeurs. **(015 pts)**

**Partie 4 : Étude du modulateur**

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



La diode Zener  $D_1$  est idéale (tension de seuil nulle  $U_{seuil D_1} = 0 \text{ V}$  ; 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 :  $u_{3\theta} = 3,86 \times 10^{-2} \theta$  .

• **Recherche de l'allure de  $u_{4\theta}$  . (2 pts)**

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  $\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $\theta = 110 \text{ }^\circ\text{C}$  . **(1 pts)**

2- Représenter, pour les mêmes valeurs de la température  $\theta$ , les chronogrammes de la tension  $u_{4\theta}$  , sur le document réponse n°3. **(1 pts)**

- **Recherche de l'allure de  $u_{5\theta}$  . (5 pts)**

1- 1<sup>er</sup> cas :  $u_{4\theta} = +V_{CC}$  . Quel est l'état de la diode ? En déduire la valeur de  $u_{5\theta}$  . **(1 pts)**

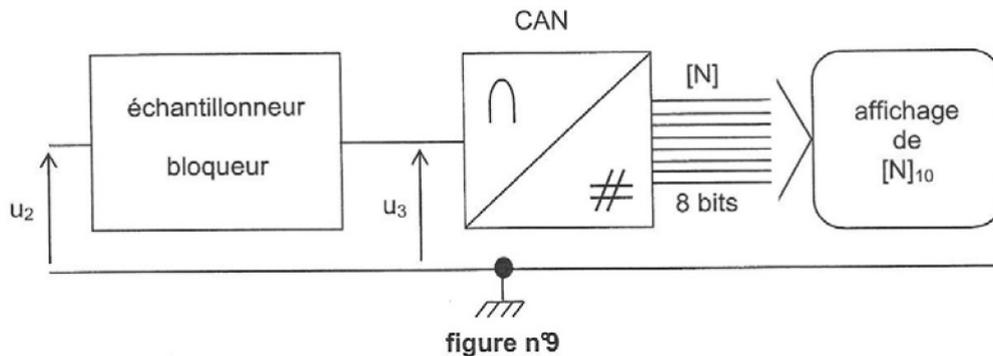
2- 2<sup>ème</sup> cas :  $u_{4\theta} = -V_{CC}$  . Quel est l'état de la diode ? En déduire la valeur de  $u_{5\theta}$  . **(1 pts)**

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

4- Quelle est la caractéristique de la tension  $u_{5\theta}$  la température  $\theta$  fait-elle varier ? **(1 pts)**

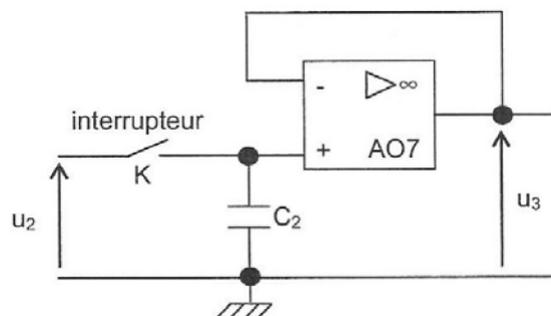
**Partie 5 : Étude du convertisseur Analogique / Numérique**

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.



• **Étude d'un échantillonneur bloqueur (3 pts)**

Le schéma de principe est représenté n°10 ci-après.



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

1- A  $t=0$  s, on ferme K. Exprimer  $u_3$  en fonction de  $u_2$  lorsque l'interrupteur est fermé. **(1 pts)**

2- A  $t=t_1$  s, on ouvre K. Comment évolue alors la tension  $u_3$  sachant que le CAN a une résistance d'entrée infinie ? Justifier la réponse. (1 pts)

3- Quel est le rôle d'un tel montage d'un CAN ? (1 pts)

- **Étude du convertisseur Analogique Numérique (5 pts)**

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.

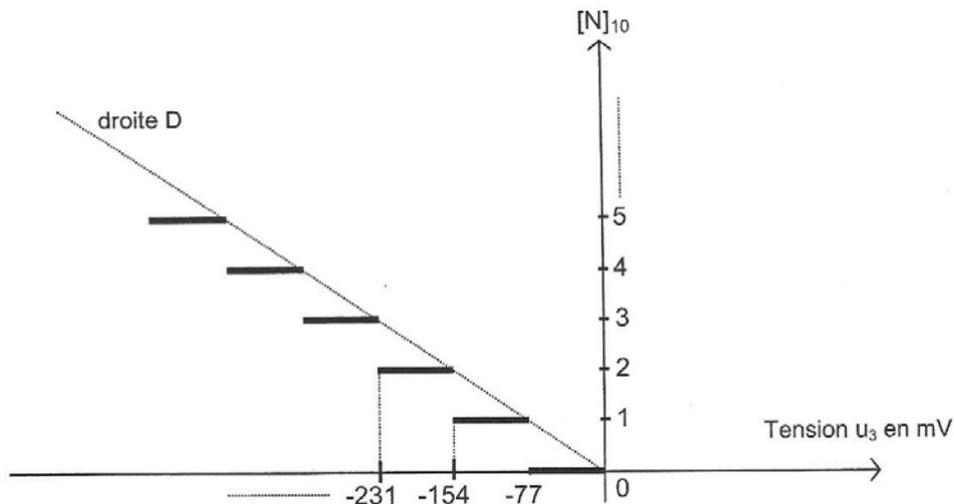


figure n°11

1- Quel est l'intérêt d'avoir un nombre de bits importants ? **(0,5 pts)**

2- Calculer le nombre de combinaison possible pour  $[N]$ . **(1 pts)**

3- Déterminer  $[N_{MAX}]$  et  $[N_{MAX}]_{10}$ . **(2 pts)**

4- Déterminer la valeur du quantum  $q$ . En déduire la valeur de la température maximale, notée  $\theta_{max}$  que l'on peut afficher. Est-ce compatible avec les températures rencontrées lors de ce forage ? **(1,5 pts)**

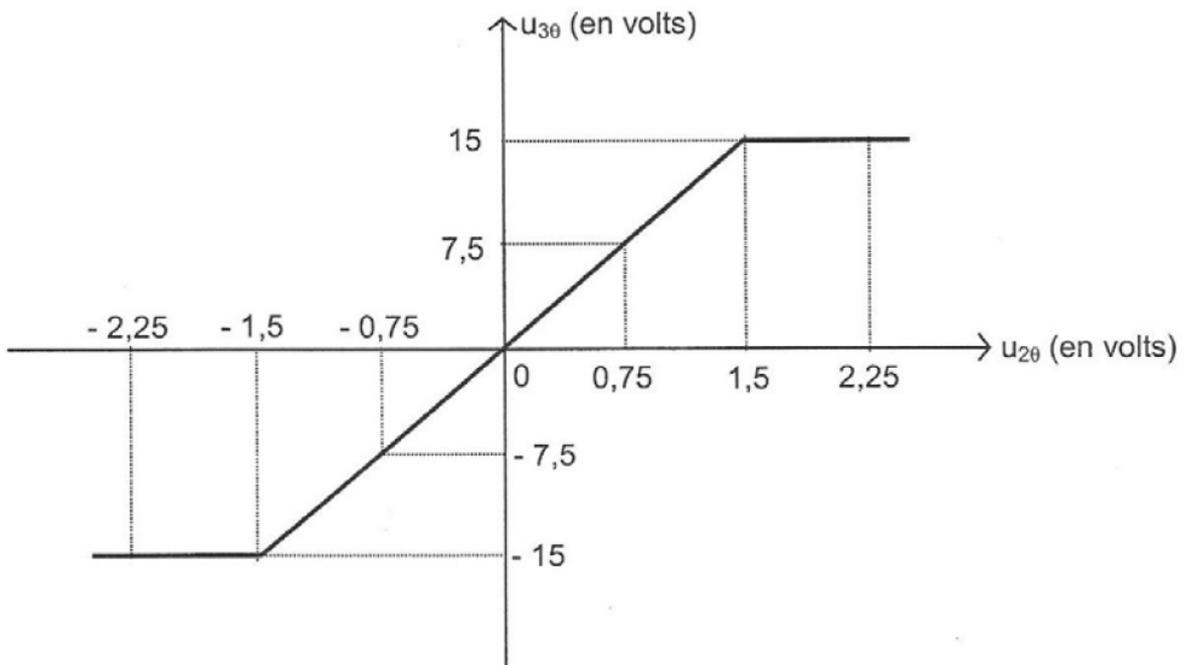
• **Synthèse CAN (1,5 pts)**

1- Compléter la 7ème ligne du tableau du document réponse n°1 en calculant la valeur de  $[N]_{10}$  aux diverses profondeurs. **(1,5 pts)**

Document réponse n°1

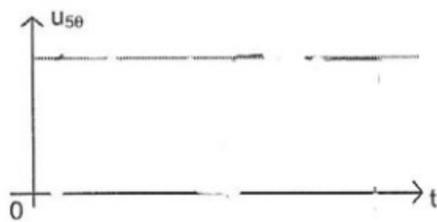
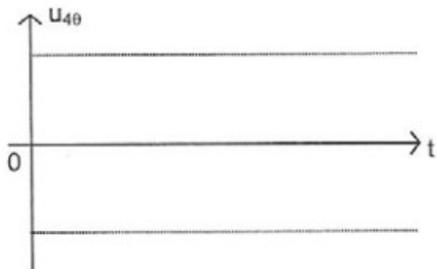
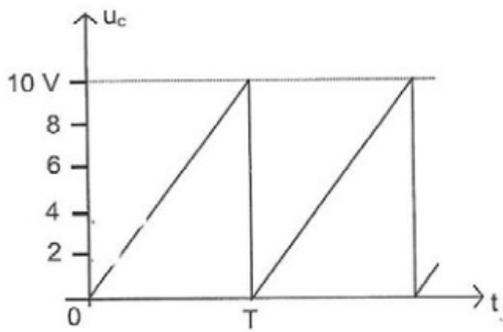
	Profondeur du forage (en m)	$P_1 = 1\ 000\ m$	$P_2 = 2\ 000\ m$	$P_3 = 2\ 500\ m$
Question 1-3	Température (en °C)	$\theta_1 =$	$\theta_2 =$	$\theta_3 =$
Question 1-3	$R_s$ (en $\Omega$ )	$R_s =$	$R_s =$	$R_s =$
Question 2-2-4	Tension $u_{1\theta}$ (en volts)	$u_{1\theta} =$	$u_{1\theta} =$	$u_{1\theta} =$
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



Document réponse n°3

Pour une température de 50 °C



Pour une température de 110 °C

