

## Mesure de la température dans un puits géothermique

### 1 Étude du capteur de température : Sonde au platine:

1.1 unité du coefficient a :

Dans la relation  $R_0 = R_s (1 + a.\theta)$  la parenthèse est sans unité. L'unité de a doit être l'inverse de celle de  $\theta$  soit  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

1.2 pour avoir  $R_0 = R_s$  il faut que  $a.\theta = 0 \Rightarrow \theta = 0^{\circ}\text{C}$  (a n'est pas nul)

1.3

	Profondeur du forage (en m)	$P_1 = 1\ 000\ \text{m}$	$P_2 = 2\ 000\ \text{m}$	$P_3 = 2\ 500\ \text{m}$
Question 1-3	Température (en $^{\circ}\text{C}$ )	$\theta_1 = 50$	$\theta_2 = 90$	$\theta_3 = 110$
Question 1-3	$R_s$ (en $\Omega$ )	$R_s = 119$	$R_s = 135$	$R_s = 142$

### 2 Étude de la conversion température/tension

#### 2.1 Étude du générateur de courant constant

2-1-1 expression de  $i_2$  : loi du nœud :  $i_2 = i_s - i_1$  (relation 1)

2-1-2 comme les composants sont supposés parfaits (impédance d'entrée infinie) il vient  $\vec{i} = \vec{i}^+ = 0$

Cela conduit à  $i'_1 = i_1$  et  $i'_3 = i_3$  (loi des nœuds)

2-1-3 fonctionnement linéaire  $\Rightarrow u_d = 0$

Loi des mailles :

$$E_1 - v'_1 - u_d + v'_3 = 0 \Rightarrow E_1 - 2.R.i'_1 - 0 + 2.R.i'_3 = 0 \Rightarrow E_1 - 2.R.i_1 - 0 + 2.R.i_3 = 0$$

Expression de  $i_3$  :  $i_3 = -E_1/2R + i_1$  (relation 2)

2-1-4 loi de la maille :  $-v_1 + v_2 + v_3 = 0 \Rightarrow -R.i_1 + R.i_2 + 2.R.i_3 = 0$   
 $\Rightarrow i_2 = i_1 - 2.i_3$

Avec les relations 1 et 2 il vient :  $i_s - i_1 = i_1 + 2(E_1/2R) - 2.i_1$

$$\Rightarrow i_s = E_1/R = k.E_1 \text{ avec } k = 1/R$$

#### 2.2 Étude du montage complet

2-2-1 : la valeur de  $i_s$  ne dépend pas de la charge  $R_s$ , elle fixée par la valeur de E et R, on a donc bien une source de courant de valeur ici égale à  $i_s = 10\ \text{mA}$

La résistance R doit être :  $R = E_1/i_s = 10/0,01 = 1\ 000\ \Omega = 1\ \text{k}\Omega$

2-2-2 : loi d'ohm :  $u_{\text{sonde}} = R_s \cdot i_s$  (pas de courant entrant dans AO2)

2-2-3 :  $e^+ = e^- \Rightarrow u_{\text{sonde}} = u_{1\theta}$  nous trouvons ici un **suiveur de tension**

2-2-4 :

Question 2-2-4	Tension $u_{1\theta}$ (en volts)	$u_{1\theta} = 1,19$	$u_{1\theta} = 1,35$	$u_{1\theta} = 1,42$
----------------	-------------------------------------	----------------------	----------------------	----------------------

2-2-5 :  $u_{1\theta} = R_s \cdot i_s = R_o \cdot i_s (1 + a \cdot \theta) = U_o (1 + a \cdot \theta)$  avec  $U_o = R_o \cdot i_s$

2-2-6 : calcul de  $U_o = 100 \cdot 0,01 = 1 \text{ V}$

### 3 Étude du conditionneur

#### 3.1 Étude du montage soustracteur

3-1-1 : diviseur de tension  $\Rightarrow e^+_3 = u_{1\theta} \cdot (R_1/2R_1) = u_{1\theta}/2$

3-1-2 : théorème de superposition et diviseur de tension

$\Rightarrow e^-_3 = E_2(R_2/2R_2) + u_{2\theta}(R_2/2R_2) = (E_2 + u_{2\theta})/2$

3-1-3 : composant parfait en régime linéaire  $\Rightarrow e^+_3 = e^-_3$

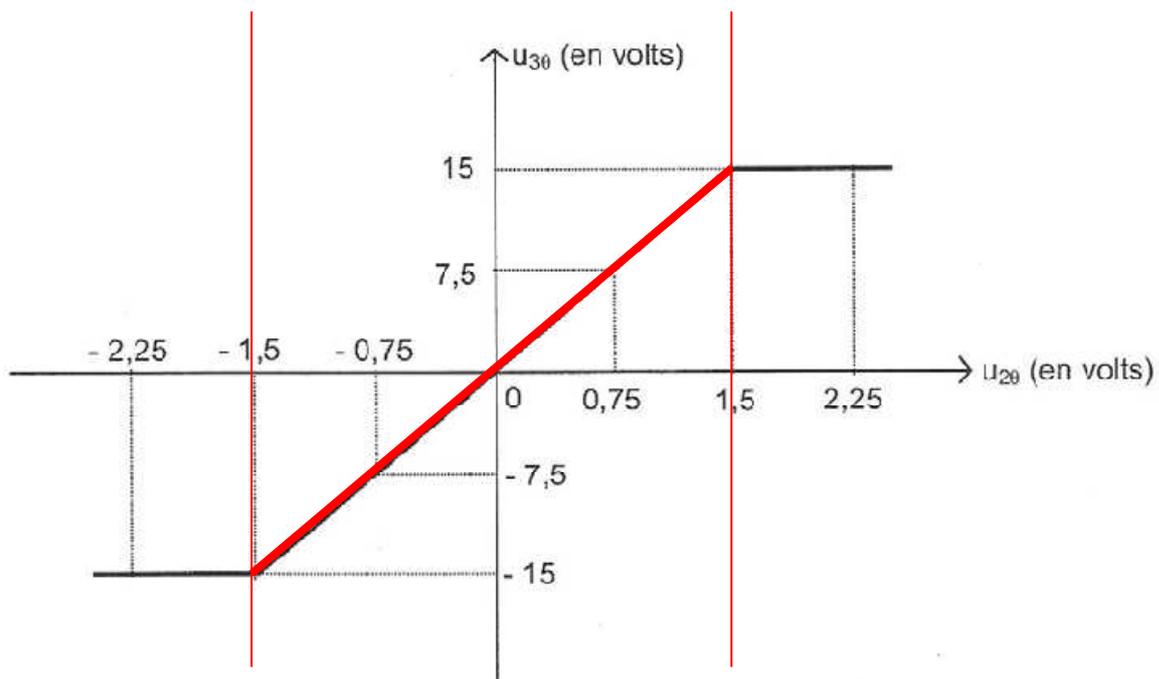
3-1-4 : des relations précédentes il vient :  $u_{1\theta}/2 = (E_2 + u_{2\theta})/2 \Rightarrow u_{2\theta} = u_{1\theta} - E_2$

3-1-5 :

Question 3-1-5	Tension $u_{2\theta}$ (en volts)	$u_{2\theta} = 0,19$	$u_{2\theta} = 0,35$	$u_{2\theta} = 0,42$
----------------	-------------------------------------	----------------------	----------------------	----------------------

#### 3.2 Étude de l'amplificateur en tension

3-2-1 : régime linéaire en rouge



3-2-2 :  $u_{3\theta} = k u_{2\theta} = 15/1,5 = 10.u_{2\theta}$

3-2-3 : comme  $u_{2\theta} = u_{1\theta} - 1 = (1 + a.\theta) - 1 = a.\theta = 3,86.10^{-3}.\theta$   
 $\Rightarrow u_{3\theta} = 10.u_{2\theta} = 3,86.10^{-2}.\theta$

3-2-4 :

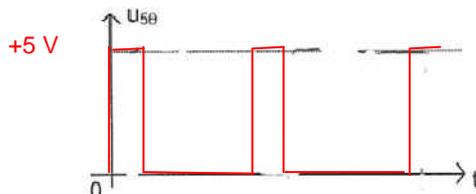
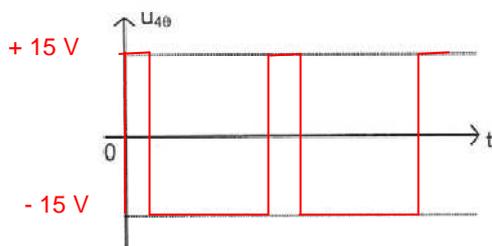
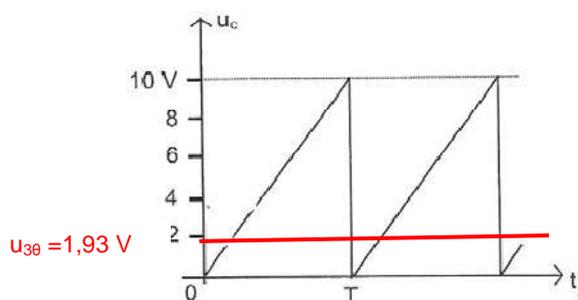
Question 3-2-4	Tension $u_{3\theta}$ (en volts)	$u_{3\theta} = 1,93$	$u_{3\theta} = 3,47$	$u_{3\theta} = 4,25$
----------------	-------------------------------------	----------------------	----------------------	----------------------

## 4. Etude du modulateur

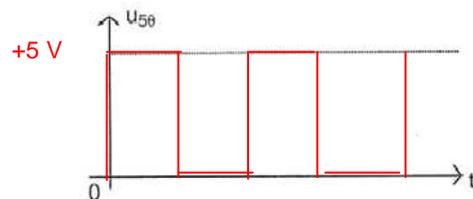
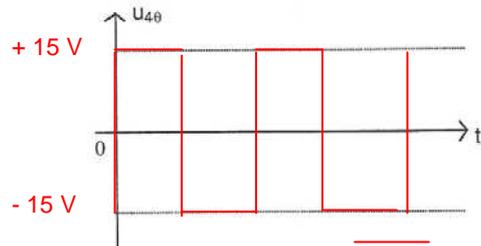
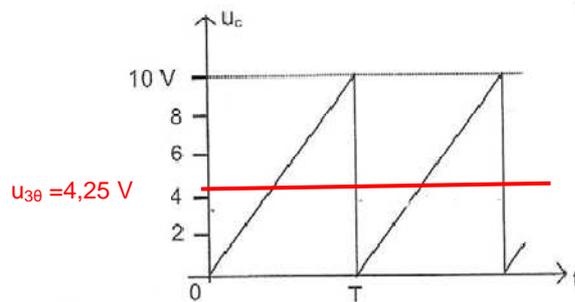
### 4.1 Allure de $u_{4\theta}$

4-1-1 et 4-1-2 :

Pour une température de 50 °C



Pour une température de 110 °C



### 4.2 Allure de $u_{5\theta}$

4-2-1 : 1<sup>er</sup> cas si  $u_{4\theta} = +V_{cc}$  la diode zéner **conduit en inverse** et la tension à ses bornes est de **+5V** (tension zéner)

4-2-2 : si  $u_{4\theta} = -V_{cc}$  la diode zéner **conduit en direct** et la tension à ses bornes est **nulle** ( $U_{seuil D1} = 0 \text{ V}$ )

4-2-3 : voir chronogramme au dessus

4-2-4 : la température  $\theta$  fait varier le **rappor cyclique** du signal rectangulaire de  $u_{5\theta}$

## 5. Étude de la transmission optique

5-1 L'avantage majeur d'une transmission optique est l'isolement galvanique des deux circuits électriques (partie émetteur et partie récepteur) en même temps que la non pollution par des signaux électriques parasites.

5-2 limitation du courant dans  $D_2$

$$V_{cc} = R_4 \cdot i_c + u_{D_2} + V_{ce} \Rightarrow R_4 = (V_{cc} - V_{ce} - u_{D_2}) / i_c = (15 - 0 - 2) / 0,02 = 650 \Omega$$

5-3 : l'AO5 réalise avec les deux résistances  $R_6$  et  $R_7$  un montage amplificateur non inverseur.

5-4 synthèse : coefficient d'amplification  $R_5 \cdot (R_6 + R_7) / R_6 = 10(1+1) / 1 = 20$

	$U_{5e}$	$D_2$ (allumée ou éteinte)	$\Phi$ (0 ou $\Phi_{max}$ )	$i_{recep}$ (valeur)	$u_1$ (valeur)
Question 5-4	0 V	éteinte	0	0 mA	0 V
Question 5-4	5 V	allumée	$\Phi_{max}$	250 $\mu$ A	$R_5 i_{recep} = 20 \cdot 0,25 = 5$ V

## 6. Étude du démodulateur

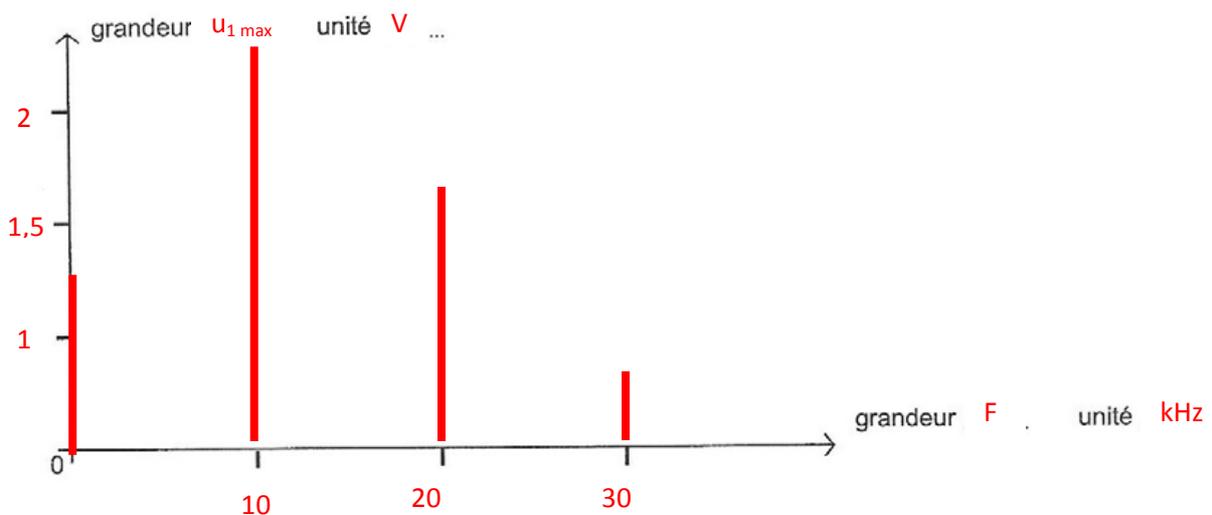
### 6.1 Analyse harmonique du signal $u_1$

6-1-1 : la valeur constante de 1,25 V représente la valeur moyenne de la tension  $u_1$ .

6-1-2 : le fondamental a une fréquence que l'on peut déduire du chronogramme de  $u_1(t)$ . La période lue est de 0,1 ms  $\Rightarrow F = 1/T = 10\,000$  Hz = 10 kHz

6-1-3 :

Représentation du spectre de la tension  $u_1$



### 6.2. Étude du filtre

6-2-1 : expression de la fonction de transfert complexe

a)- admittance complexe d'un condensateur :  $Y_C = jC\omega$

admittance complexe d'une résistance :  $Y_R = 1/R$

b)- admittance complexe  $Y_1 = Y_{C1} + Y_{R9} = jC_1\omega + 1/R_9$

c)- l'AO6 fonctionne en régime linéaire (réaction négative présente)

$$\Rightarrow e^- = e^+ = 0$$

$$\underline{T} = \underline{U}_2 / \underline{U}_1 = - (\underline{Z}_1 / R_8) = - 1 / (\underline{Y}_1 \cdot R_8) = - 1 / R_8 (jC_1\omega + 1/R_9) = - 1 / ((R_8/R_9)(jR_9C_1\omega + 1))$$

$$\underline{T} = - (R_9/R_8) / (1 + jR_9C_1\omega)$$

d)- en régime continu ( $\omega=0$ )  $\underline{T} = - R_9/R_8 \Rightarrow R_9 = - R_8 \cdot \underline{T} = 10.4 = 40 \text{ k}\Omega$

### 6.2.2 Module de la fonction de transfert :

a)- expression du module :  $T = (R_9/R_8) / \sqrt{(1 + (R_9C_1\omega)^2)}$

b)- aux très basses fréquences  $T \rightarrow R_9/R_8$

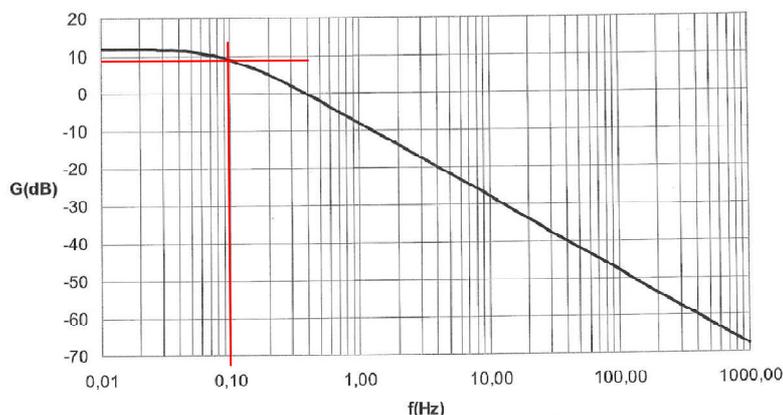
aux fréquences élevées  $T \rightarrow 0$

au vu des résultats précédents le filtre est de type **passé-bas**

### 6.2.3 : Courbe de gain

courbe de gain en fonction de la fréquence

a)-



$$G_{\max} = 20 \cdot \log 4 = 12 \text{ dB}$$

La valeur de la fréquence de coupure à -3dB s'obtient pour  $G = 12 - 3 = 9 \text{ dB}$ .

La lecture donne une fréquence  $f_c = 0,10 \text{ Hz}$

b)-  $f_c = 1/2\pi \cdot R_9 \cdot C_1 \Rightarrow C_1 = 1/f_c \cdot 2\pi \cdot R_9 = 1/(0,1 \cdot 2\pi \cdot 40000) = 40 \text{ }\mu\text{F}$

c)- pour  $f = 1 \text{ kHz}$  on a  $G = -68 \text{ dB} \Rightarrow A = 10^{-68/20} = 4 \cdot 10^{-4}$  amplification pratiquement nulle

d)- puisque  $u_2 = -4 u_1 = -5 \text{ V}$  en régime continu

e)- pour une fréquence de 10 kHz l'amplitude de  $u_2$  vaut :  
 $2,25 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ V} \approx 0 \text{ V}$

### 6.2.4 Synthèse de la partie « étude du filtre »

Seule la valeur moyenne du signal est transmise par le filtre passe bas

$u_2 = -4 \cdot 1,25 = -5 \text{ V}$ , le fondamental et différents harmoniques sont arrêtés. La tension de sortie est continue et égale à - 5V.

## 7. Étude du convertisseur analogique/numérique

### 7.1 Étude d'un échantillonneur bloqueur

7.1.1 : à  $t=0$  s nous avons  $u_3 = u_2 = e^+ = e^-$  (régime linéaire)

7.1.2 : après  $t_1$  la tension  $u_3$  n'évolue plus puisque le courant  $i^-$  est nul

7.1.3 : le montage garde en mémoire la valeur de la valeur qu'avait  $u_2$  avant l'ouverture de K. Cette tension constante va pouvoir être convertie.

### 7.2 : Étude du convertisseur analogique numérique

7.2.1 plus le nombre de bits est élevé meilleure la résolution de la conversion

7.2.2. le nombre de combinaisons est  $2^8 = 256$

7.2.3 : le nombre binaire max est **11111111** (les 8 bits à 1)

En base 10 on a  $[N_{10\max}] = 255$  puisque le premier est 0

7.2.4 : valeur du quantum  $q$  lu sur la caractéristique de transfert  $q = -77 \text{ mV}$

□ la tension minimale de  $u_3$  est de **- 15 V** (alimentation)

□  $\theta_{\max} = -15 / (-7,7 \cdot 10^{-2}) = 194 \text{ }^\circ\text{C}$

□ la température maximale à mesurer est de **110 }^\circ\text{C}** à 2500 m. Le dispositif répond au besoin.

7.2.5 : Synthèse CAN

Question 7-2-5	$[N]_{10}$ en base décimale	$[N]_{10} = 50$	$[N]_{10} = 90$	$[N]_{10} = 110$
----------------	--------------------------------	-----------------	-----------------	------------------

$$[N_{10}] = .u_3 / q = u_2 / q = 7,7 \cdot 10^{-2} \cdot \theta / 0,077 = \theta$$