

**N.B/** (Il sera tenu compte de la présentation de la copie et de la qualité de la rédaction. Les résultats devront être encadrés. Des points seront attribués en conséquence).

**Barème approximatif de notation :** [I/ 4 pts. II/ 3 pts. III/ 3 pts. IV/ 6 pts (3 ; 3). V/ 4 pts].

## DISPOSITIF DE MESURE DU pH POUR UN AQUARIUM

Le pH d'une solution est une grandeur sans unité (variant de 0 à 14) définie par la relation :  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ . La mesure du pH se fait à l'aide d'une électrode de mesure et d'une électrode de référence (fig.2). L'électrode de mesure, placée dans une sphère de verre étiré est en contact avec la solution à tester, échange des ions  $\text{H}^+$ , du côté externe, avec des cations du verre du côté interne. Cela produit, par rapport à l'électrode de référence, une différence de potentiel (notée e) de la forme :  $e = C(\theta) - 0,198.(273 + \theta).\text{pH}$  (e d.d.p. en mV,  $\theta$  température en  $^{\circ}\text{C}$ , C constante de l'électrode dépendant de la température). Dans cette relation la température est une grandeur d'influence. Le dispositif proposé figure 1 permet d'obtenir, à partir de la tension e mesurée, une tension  $U_{\text{ec}}$ , fonction linéaire du pH, indépendante de la température. Cette tension sert à générer une alarme signalant une valeur de pH en dehors de la zone [6, 8]. Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits et sont alimentés entre +15 V et -15 V.

### I- ADAPTATION ET AMPLIFICATION DE LA TENSION MESUREE PAR L'ELECTRODE pH (Fig.3) :

L'électrode se comporte comme une pile de forte résistance interne ne débitant aucun courant.

I.1. Exprimer  $U_A$  en fonction de e.

I.2. Exprimer  $U_S$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $U_A$ .

I.3. En déduire l'expression du coefficient  $k_1 = U_S/e$ .

I.4.  $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$ . Déterminer la valeur à donner à  $R_2$  afin que  $k_1 = 7$ .

### II- ELABORATION D'UNE d.d.p. DE REFERENCE (Fig.4) :

La diode Zéner étant considérée comme parfaite, elle est modélisée par une source de tension de f.é.m. égale à  $U_Z$ . L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire.

II.1. Etablir les expressions de  $V^+$  et  $V^-$  puis déduire la relation entre  $U_D$  et  $U_Z$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ .

II.2.  $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_5 = 19,5 \text{ k}\Omega$  et  $U_Z = 2,5 \text{ V}$ . Calculer la valeur de  $U_D$ .

### III- FONCTION CORRECTION (Fig.5) :

La structure de la figure 5 permet de compenser les variations de la d.d.p. e de l'électrode en fonction de la température. Elle met en œuvre un circuit intégré AD534 dont la fonction de transfert est donnée par le constructeur :  $U_{\text{out}} = 10 \cdot \frac{Z_2 - Z_1}{X_1 - X_2} + Y_1$ . Avec :  $U_S = 7 \times e$  ( $U_S$  et e en V) ;

$$U_C = 0,02564 \times \theta + 7 \text{ (} U_C \text{ en V, } \theta \text{ en } ^{\circ}\text{C)} ; U_D = -3,78 \text{ V} ; U_{\text{ec}} : \text{d.d.p. continue compensée et corrigée.}$$

III.1. Montrer que  $U_{ec}$  s'écrit sous la forme :  $U_{ec} = \frac{70 \times e}{0,02564 \times \theta + 7} - 3,78$ .

III.2. Compléter le tableau 1 du document-réponse, page 4. Que pouvez-vous conclure ?

#### IV- MISE A L'ECHELLE ET FILTRAGE :

##### IV.1. Mise à l'échelle (Fig.6) :

IV.1.1. Etablir les expressions des coefficients :  $k_2 = U_F/U_{ec}$  ;  $k_3 = U_G/U_F$  et  $k = U_G/U_{ec}$ .

IV.1.2.  $R_6 = R_7 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_8 = 33 \text{ k}\Omega$  et  $R_9 = 7,49 \text{ k}\Omega$ . Calculer la valeur du coefficient  $k$ .

IV.1.3. Compléter le tableau 2 du document-réponse. En déduire une relation entre  $U_G$  et  $\text{pH}$ .

##### IV.2. Filtrage (Fig.7) :

Sur le signal utile  $U_{ec}$ , image du  $\text{pH}$ , de variation lente, peuvent se superposer des variations plus rapides (parasites). On va étudier l'effet d'une capacité  $C = 100 \text{ nF}$  placée en dérivation sur la résistance  $R_7$  de la figure 6. L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire.

IV.2.1. Montrer que la fonction de transfert  $\underline{T}$  s'écrit sous la forme :  $\underline{T} = \frac{U_F}{U_{ec}} = \frac{-1}{1 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_7 \cdot C \cdot f}$ .

IV.2.2. Citer le nom de ce type de filtre et calculer sa fréquence de coupure à  $-3 \text{ dB}$ .

IV.2.3. Le filtre remplit-il son rôle si les parasites sont de fréquences supérieures à  $1 \text{ kHz}$  ?

#### V- ALARMES VISUELLES HAUTE ET BASSE DES VALEURS DU pH (Fig.8) :

La tension  $U_G$  dépend de la valeur du  $\text{pH}$  ( $U_G = 0,1 \cdot \text{pH}$ ), la structure représentée figure 8 permet d'informer visuellement, par diodes électroluminescentes (Del1 et Del2), que la mesure du  $\text{pH}$  n'est pas comprise entre 6 et 8. Les diodes seront considérées comme idéales.

V.1. Indiquer la valeur de  $U_H$  dans chacun des cas suivants :  $U_G < U_b$  ;  $U_G > U_b$ .

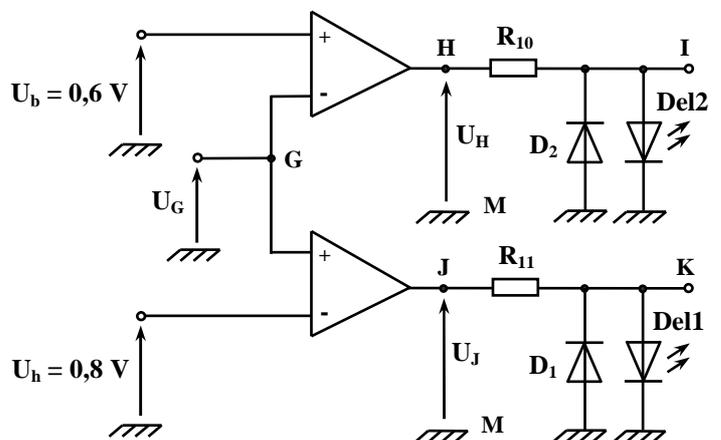
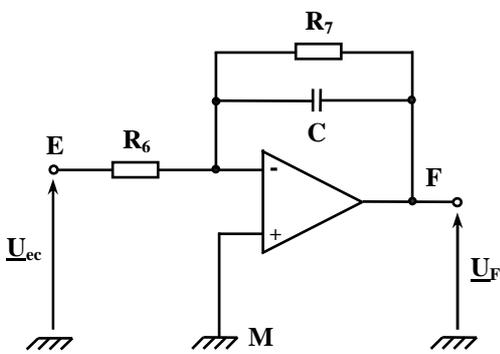
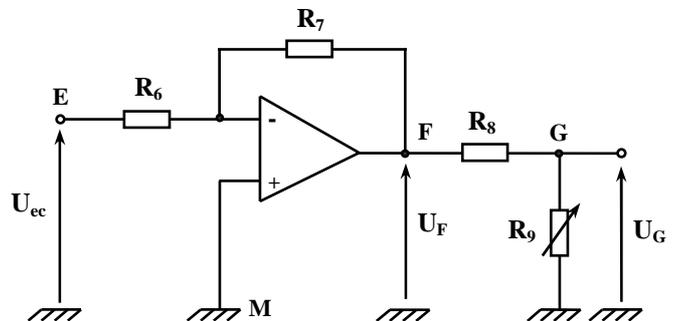
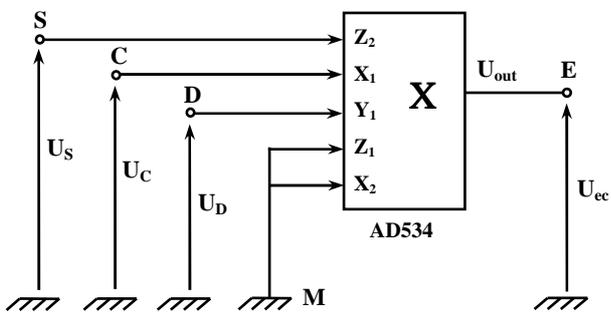
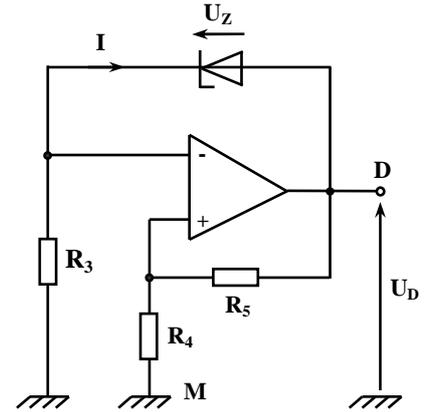
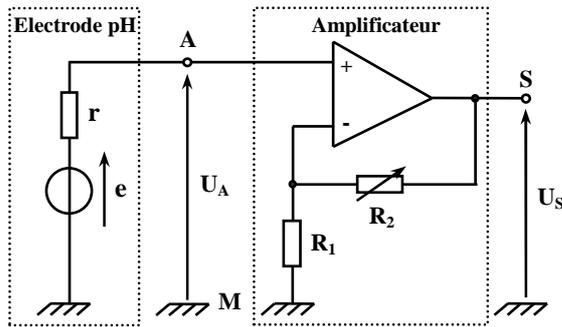
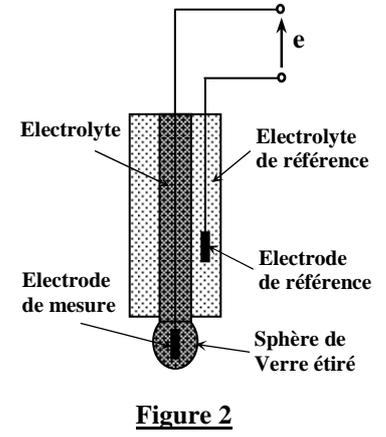
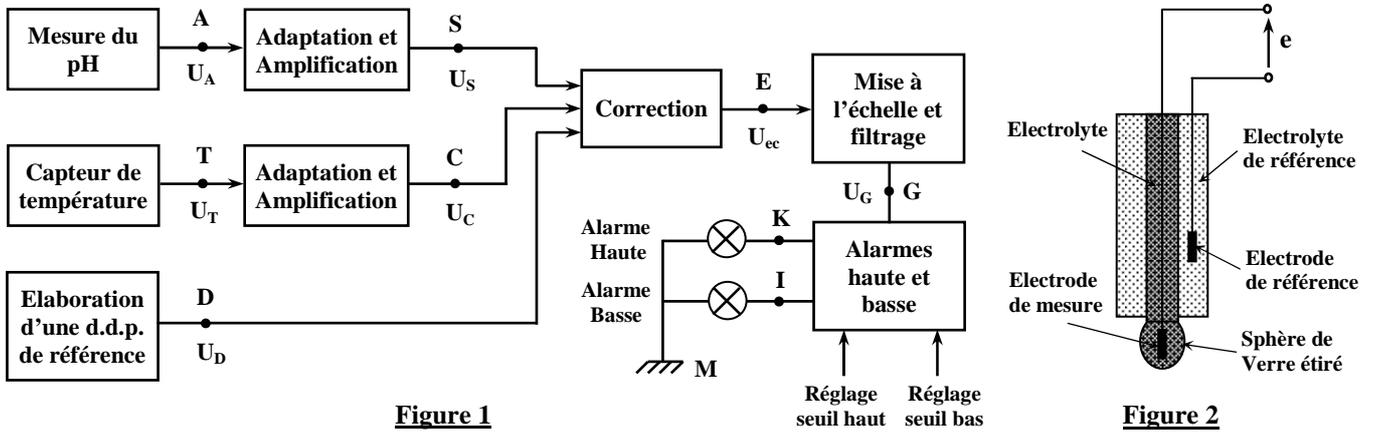
V.2. Indiquer la valeur de  $U_J$  dans chacun des cas suivants :  $U_G < U_h$  ;  $U_G > U_h$ .

V.3. Pour  $U_H = + 15 \text{ V}$  ( $- 15 \text{ V}$ ), indiquer dans chaque cas l'état de la diode Del2.

V.4. Pour  $U_J = + 15 \text{ V}$  ( $- 15 \text{ V}$ ), indiquer dans chaque cas l'état de la diode Del1.

V.5. Compléter le tableau 3 du document-réponses. Préciser alors le rôle des diodes  $D_1$  et  $D_2$ .

**Bon Travail**



**Tableau 1**

$\theta$ (°C)	e (V) à pH = 0	$U_{ec}$ (V) à pH = 0	e (V) à pH = 7	$U_{ec}$ (V) à pH = 7	e (V) à pH = 14	$U_{ec}$ (V) à pH = 14
0	0,378		0		-0,378	
25	0,413		0		-0,413	
50	0,448		0		-0,448	

**Tableau 2**

pH	0	4	7	10	14
$U_{ec}$ (V)	0	-2,16	-3,78	-5,4	-7,56
$U_G$ (V)					

**Tableau 3**  valeurs à compléter.

pH	0	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	14	
$U_G$ (V)	0		$U_b$	0,7	$U_h$	1,4
$U_H$ (V)						
$U_J$ (V)						
Del1						
Del2						