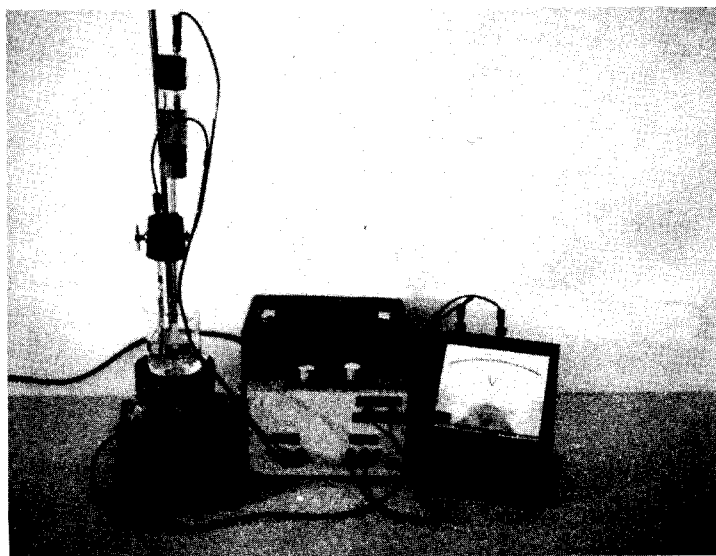


Voltmètre électronique - pH-mètre simple

Grâce aux circuits intégrés linéaires, il est maintenant possible de réaliser un voltmètre électronique simple et peu onéreux. Quelques circuits annexes permettent de transformer ce voltmètre en pH-mètre à lecture directe.



Le montage complet du pH-mètre.

L'adaptateur (version économique) se branche directement sur un générateur basse tension.

L'idée d'un tel appareil nous a été inspirée par la lecture des divers articles se rapportant au même sujet publiés dans le B.U.P. et rappelés en référence. Nous en avons exposé le principe dans le numéro de septembre 1974 de SCHOOL TECHNOLOGY. Depuis, nous avons eu l'occasion de perfectionner cet appareil et d'en construire 12 exemplaires utilisés en cours et en T.P.

Les fonctions réalisées par un pH-mètre peuvent être schématisées de la manière suivante :

- I. Prise d'information (pH) à l'aide d'un capteur (pile de f.é.m. E).

II. Traitement de l'information

III. Affichage du résultat (appareil à aiguille ou digital).

Pour des raisons de commodité, on utilise un capteur dans un domaine de pH où sa réponse est fonction affine du pH mesuré : $E = aX + b$.

L'affichage se fera sur un voltmètre magnéto-électrique ordinaire. La réponse de la chaîne de mesure sera exprimée sous la forme $U_r = A \cdot X$, fonction linéaire du pH mesuré.

[Nous utilisons en T.P. des voltmètres CHAUVIN-ARNOUX (5 000 Ω/V ; 3 V ; 150 divisions). Si nous voulons qu'à 10 divisions du cadran de ces appareils corresponde une unité de pH, cela revient à donner à A la valeur 200 mV par unité de pH].

Le traitement de l'information consiste donc à effectuer l'opération $E \rightarrow U_r$.

Deux méthodes s'offrent à nous :

a) multiplication de la tension E puis décalage à la sortie, soit :

$$kE + E'_s = U_r$$

$$k(aX + b) + E'_s = A \cdot X$$

b) décalage à l'entrée puis multiplication :

$$k(E + E'_e) = A \cdot X \quad \text{ou} \quad k(aX + b + E'_e) = A \cdot X.$$

On en déduit donc : $k = A/a$, $E'_s = -k \cdot b$, $E'_e = -b$.

La tension de décalage à la sortie suppose fixé le coefficient k donc a . La recherche du coût minimal nous a conduits à choisir une pile de mesure à électrodes d'antimoine. Pour une telle pile, le coefficient a dépend de nombreux facteurs (température, état de surface, impuretés, etc.) et on ne peut donc lui donner de valeur *a priori*. Ce coefficient varie d'environ 40 à 50 mV par unité de pH, valeur éloignée des 58 mV théoriques à 25°C, mais ce n'est pas un handicap pourvu que dE/dpH soit constante !

La méthode exposée en b) permet de déterminer la tension de décalage indépendamment de a . C'est donc celle que nous avons retenue.

Dans le cas d'un pH-mètre comportant, en sortie, le voltmètre précédemment cité, k devra donc être compris entre 4 et 5.

La mesure de la f.é.m. du capteur à l'aide d'un voltmètre magnéto-électrique nécessite une adaptation d'impédance ; il serait dommage de ne pouvoir utiliser l'appareil comme voltmètre électronique. On aboutit donc au montage représenté fig. 1.

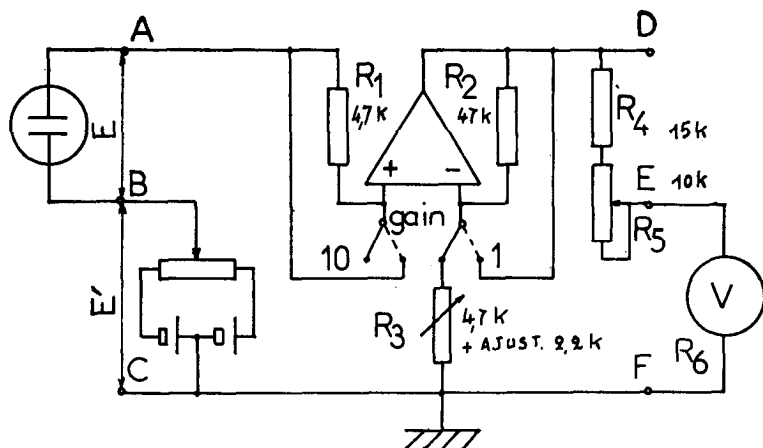


Fig. 1

L'adaptateur d'impédance est constitué d'un amplificateur opérationnel L 141 (S.G.S. - A.T.E.S. FRANCE S.A. - 58, rue du Dessous-des-Berges - PARIS XIII^{me}) dans un circuit non inverseur dont le gain peut prendre les valeurs 1 ou 10 (réf. [2] et [3]). Selon le constructeur du circuit intégré, l'impédance d'entrée d'un tel montage est de 400 M Ω , excellente pour un voltmètre électronique, mais trop faible pour permettre l'adaptation de l'électrode de verre TACUSSEL TCBC 12/HS que nous possédons au laboratoire. Nous n'avons pu disposer d'autres électrodes pour nos essais. Le gain de l'amplificateur étant fixé à 10, un circuit atténuateur placé entre les bornes D et F permet de ramener le gain global k à la valeur voulue (cf. étalonnage).

Tout voltmètre de résistance interne au moins égale à 1000 Ω /V peut être branché dans le circuit atténuateur.

La pile de mesure est représentée fig. 2. Il s'agit donc d'une pile de concentration. L'électrode de référence plonge dans une solution HCl N/100. Au potentiel de jonction près, la f.é.m. d'une telle pile est donc de la forme $E = a(X - 2)$. Les électrodes sont vendues dans le commerce. Il est également possible de les construire (réf. 1) ; c'est la solution que nous avons adoptée.

En ce qui concerne l'alimentation 2×15 V, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Il est possible de faire l'économie d'un transformateur en réalisant un circuit doubleur de tension alimenté en 6,3 V ~ à partir d'un générateur basse tension de T.P. (fig. 3).

Etant donné que la consommation du montage est très faible, la tension V_{cc} est voisine de la tension maximale $2 \times 6,3 \times \sqrt{2}$.

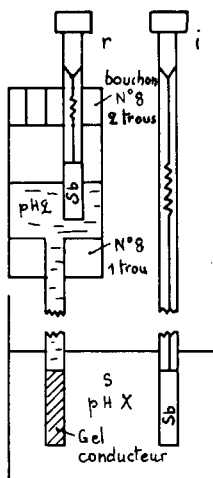


Fig. 2

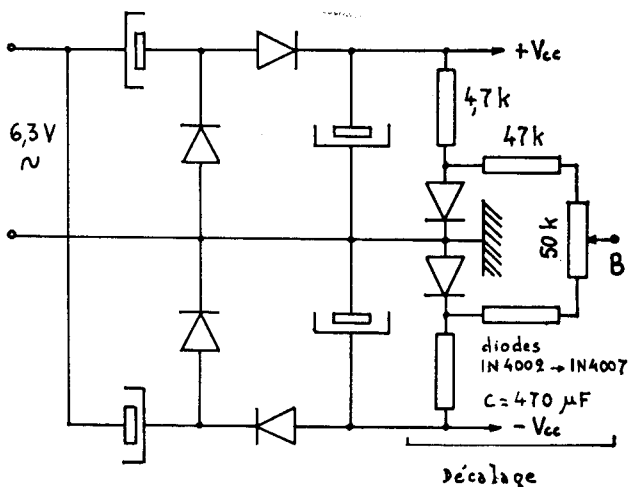


Fig. 3

Il sera bon de vérifier qu'elle ne dépasse pas le maximum admissible, soit 18 V. L'ondulation étant petite et ne nuisant pas aux qualités de l'amplificateur, un circuit de stabilisation ne nous paraît pas nécessaire.

La tension E' de décalage est fournie par le circuit indiqué fig. 3. On utilise la propriété qu'ont les diodes au silicium

de se comporter apparemment, dans le sens passant, comme des diodes Zener de 0,6 V environ. Un montage potentiométrique permet de ramener à ± 200 mV l'excursion en tension de E' .

Les réglages de l'amplificateur s'effectuent en deux temps :

- a) Gain I (montage suiveur). L'entrée étant court-circuitée (borne A reliée directement à la borne C), on annule la tension de sortie en agissant sur le potentiomètre ajustable d'offset (fig. 4).

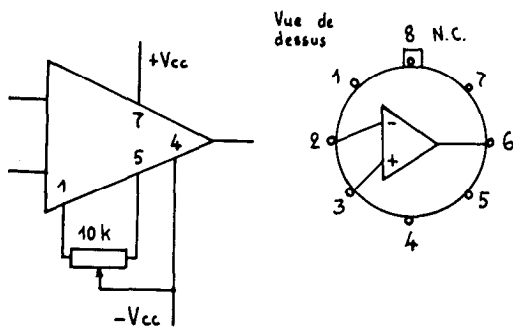


Fig. 4

- b) Le gain 10 est obtenu de la manière suivante :

On applique une tension U_e entre A et C et règle l'ajustable R_3 pour que la tension U_s entre D et F soit $10 U_e$.

Etalonnage du pH-mètre :

1° S est de l'acide chlorhydrique N/100 ; le pH de la solution est $X_1 = 2$. On règle la tension de décalage pour que la tension de sortie soit nulle. Si E_1 est la f.é.m. du capteur, la tension de décalage vaut donc $E'_1 = -E_1$.

2° S est un tampon au borax de pH $X_2 = 9,2$. On ajuste R_5 pour que l'aiguille du voltmètre dévie de 72 divisions. La f.é.m. du capteur est maintenant $E_2 = aX_2 + b$ et la tension d'entrée $U_e = E_2 + E'_1 = E_2 - E_1 = a(X_2 - X_1)$. La tension affichée par le voltmètre étant $U_r = A(X_2 - X_1)$, cela revient donc à régler k .

3° Sans changer la solution S, on modifie la tension de décalage pour que l'aiguille dévie de 92 divisions. On a alors $U_r = A \cdot X_2$ et $E'_2 = -b$. Le pH-mètre peut donc être considéré comme un calculateur analogique, l'opération effectuée au 1° ou au 3° étant une mise en mémoire.

Remarques.

I. Une résistance de valeur convenable substituée au volt-mètre à aiguille présente entre ses bornes une tension mesurable à l'aide d'un voltmètre digital. L'appareil est ainsi aisément transformable en pH-mètre digital dont l'affichage est visible de loin.

II. Deux versions de l'adaptateur ont été réalisées : l'une à alimentation autonome à partir du secteur revient à environ 150 F. Les boîtiers ont été réalisés dans de la tôle d'acier doux découpée dans un C.E.T. voisin. Les transformateurs en constituent le composant le plus onéreux.

Une version plus économique fait appel à l'alimentation décrite fig. 3. Les boîtiers sont alors découpés dans de la goulotte plastique TEHALIT (CGE ALSTHOM) de section 120×60 (25 F/2 m). Le coût global actuel, électrodes comprises est voisin de 70 F par appareil.

III. Une agitation permanente assure une meilleure reproductibilité des mesures. Nous avons réalisé des agitateurs magnétiques à l'aide de petits moteurs à courant continu entraînant des aimants de porte. L'alimentation peut se faire à partir de la sortie 6 V = des redresseurs. Un potentiomètre bobiné permet de régler la vitesse de rotation.

La description d'un agitateur est donnée fig. 5.

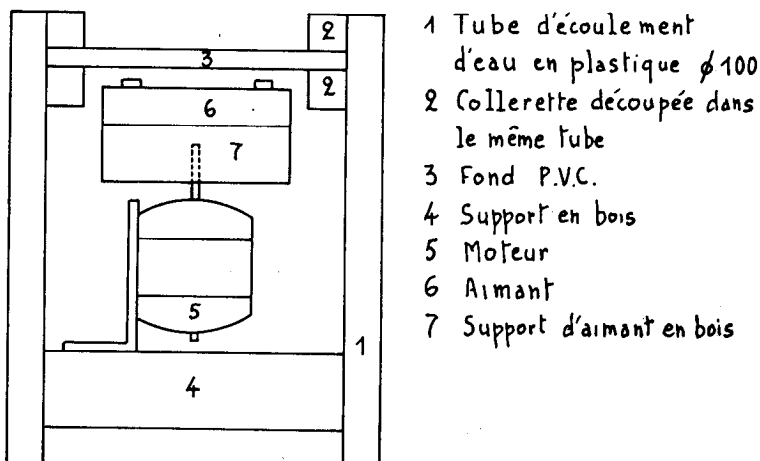


Fig. 5

IV. L'électrode de référence peut être une demi-pile quelconque. Nous avons essayé les couples Pb/Pb⁺⁺ et Cu/Cu⁺⁺. Les

résultats sont tout aussi satisfaisants. Néanmoins nous avons adopté l'électrode d'antimoine par raison de commodité.

Utilisations.

En dehors des mesures de pH (dilutions, domaine de virage des indicateurs colorés, dosages), l'appareil est utilisable comme voltmètre électronique : la tension à mesurer est appliquée entre les bornes A et C, le voltmètre de mesure entre les bornes D et F. On choisit le gain de l'amplificateur et le calibre du voltmètre en fonction de la tension mesurée. Un défaut de linéarité de l'amplificateur se manifeste quand la tension de sortie atteint une valeur voisine de 14 V.

Un tel appareil est parfaitement adapté à la mesure des potentiels d'électrodes. La cellule représentée fig. 6 montre deux demi-

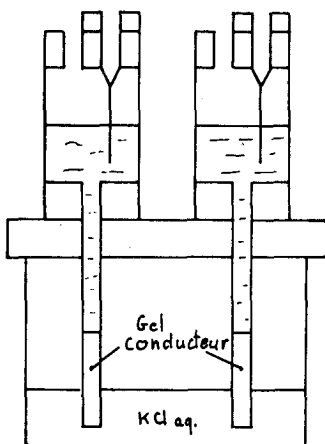


Fig. 6

piles reliées par une jonction KCl. L'intérêt d'un tel montage est, en T.P. de permettre des mesures en utilisant un nombre réduit d'électrodes, les élèves échangeant entre eux les demi-piles.

Le gel conducteur peut être préparé selon la recette indiquée par J.-J. ROBIN (réf. [4]), à l'aide d'agar-agar (6 g pour 100 cm³ d'eau) et de nitrate d'ammonium (40 g) ou de chlorure de potassium (35 g).

Résultats (fig. 7).

— Courbe 1 :

100 cm³ HCl N/100 + V cm³ NaOH N/10.

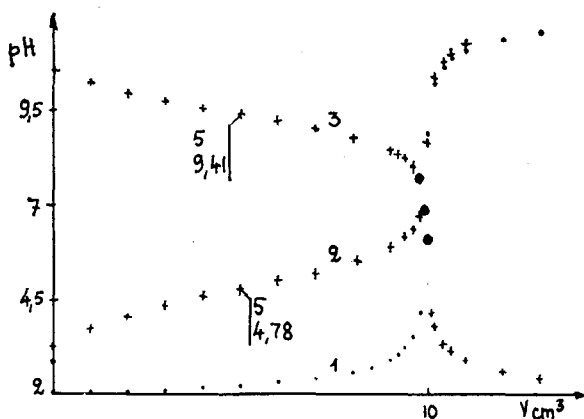


Fig. 7

— Courbe 2 :

100 cm³ d'acide acétique N/100 + V cm³ de soude N/10.

— Courbe 3 :

100 cm³ d'ammoniaque N/100 + V cm³ HCl N/10.

Etalonnage du pH-mètre : courbe 1 tampons 2 et 9,3 ;
courbes 2 et 3 tampons 2 et 10,6.

Dilution de l'acide acétique (tampons 2 et 10,6).

N : pH 2,39-2,35 ; N/10 : pH 2,91 ; N/100 : pH 3,32.

Les résultats ne sont pas si mauvais, compte tenu du prix
du matériel utilisé !

Daniel BEVILACQUA,
Gérard MAGNIEZ,
Serge VAILLANT,
(Lycée Jean-Perrin - Lambersart).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. AUDIBERT. — *Construction d'un pH-mètre simple*. B.U.P. n° 507.
- [2] C. ANDRÉ et R. CASTAGNÉ. — *Les amplificateurs opérationnels*. B.U.P. n° 556.
- [3] J.-F. GAZIN. — *Les amplificateurs opérationnels* (S.E.S.C.O.S.E.M.).
- [4] J.-J. ROBIN. — *Potentiels d'électrodes*. B.U.P. n° 519.