

pH-métrie assistée par ordinateur une électro-vanne simple

par Alphonse CONIL
84400 Apt

Dans le cadre des stages informatiques de formation académique, les organisateurs nous ont proposé de réaliser des montages d'expériences pouvant être pilotées par ordinateur. Au lycée d'Apt nous avons choisi de travailler sur les expériences de pH-métrie.

Le problème le plus délicat consiste, dans ce cas, à permettre à l'ordinateur l'accès au volume versé de la solution dosante. La méthode la plus fiable et la plus précise nous a paru être le comptage des gouttes de solution versée. Dans un premier temps nous avons essayé d'obtenir un débit de gouttes constant mais l'expérience montre que la moindre impureté solide vient se coincer au niveau de l'étranglement du tuyau permettant le goutte à goutte et perturbe donc celui-ci.

Le schéma général de l'appareil construit est celui de la figure 1. (page suivante).

INTÉRÊT D'UNE ÉLECTRO-VANNE

L'utilisation d'une électro-vanne permet de commander le début du dosage par l'ordinateur et surtout il permet d'interrompre automatiquement l'écoulement de la solution dosante, soit lorsque le nombre de gouttes versées est suffisant, soit lorsque la valeur du pH désiré est atteinte.

D'une façon générale l'électro-vanne permet l'écoulement d'un volume déterminé de solution.

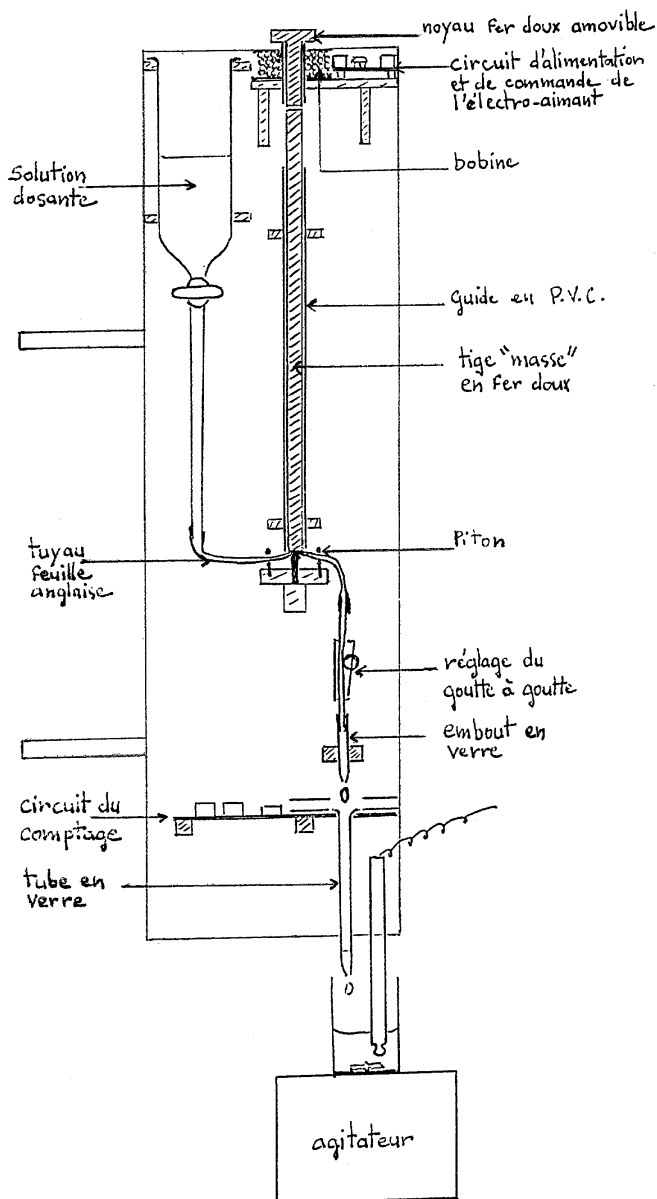


Figure 1

PRINCIPE ET RÉALISATION DE L'ÉLECTRO-VANNE

Après avoir pensé à un dispositif à noyau plongeur et ressort, c'est un procédé plus simple qui a été retenu. Dans tous les cas il s'agissait d'écraser un tuyau souple de 6 mm de diamètre, en feuille anglaise. Ici l'écrasement est réalisé grâce au poids d'une tige en fer doux de 12 mm de diamètre et de 34 cm de long ayant donc une masse d'environ 300 g.

On augmente la pression exercée par la tige en pressant le tuyau contre une petite surface, pratiquement la tranche d'une lame (voir figure 2). Il est d'ailleurs préférable que la lame en question soulève le tuyau en caoutchouc de façon à l'étrangler partiellement en l'absence de l'action de la tige.

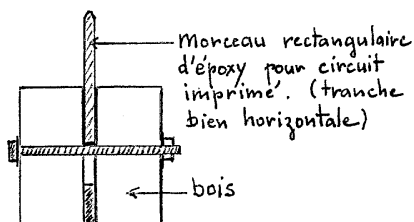


Figure 2

La tige est guidée verticalement par un tuyau en PVC de diamètre intérieur 13 mm et de diamètre extérieur 15 mm (gaine rigide utilisée par les électriciens). Le tuyau de caoutchouc est maintenu en position sur la lame «enclume» par deux pitons de taille convenable.

La bobine de l'électro-aimant est réalisée sur un morceau du même tuyau PVC sur lequel on a collé, bien perpendiculairement, deux joues de diamètre extérieur de 60 mm, découpées à la scie cloche dans une plaque de PVC. (utiliser une colle spéciale PVC). Les deux joues sont distantes d'environ 2,5 cm. Il est aisé de voir, théoriquement, qu'une bobine plate permet, à nombre de spires égal, d'obtenir un champ magnétisant plus intense qu'avec une solénoïde.

Le bobinage est réalisé en enroulant de 1000 à 1200 spires de fil de cuivre émaillé de 0,50 mm de diamètre à l'aide d'une perceuse électrique tournant à sa vitesse la plus lente (il faut être deux !). La bobine est entraînée par un foret de 12 mm autour duquel on a enroulé un morceau de tissu afin qu'il entre en force dans le trou de la bobine.

Un morceau de ruban adhésif collé sur l'extérieur d'une des joues permet de compter les tours.

Le noyau en fer doux est un boulon de 12 mm dont on a scié la partie filetée. Il est important que le tuyau PVC de la bobine dépasse celle-ci des deux côtés. Le limage progressif de sa partie supérieure permet le réglage précis de la distance (environ 1 mm) séparant le boulon de la tige en fer ; la partie inférieure du tuyau PVC permet la fixation correcte de la bobine sur son support, planche en contre-plaqué percée d'un trou de 15 mm de diamètre.

Remarque : La taille de l'électro-vanne n'est pas gênante (vu la longueur du tube à entonnoir utilisé) mais il est possible de diminuer sa longueur en augmentant le diamètre de la tige en fer.

L'alimentation de la bobine se fait grâce à un générateur individuel 6 V-5 A, par l'intermédiaire du montage de la figure 3, à réaliser sur un petit circuit imprimé. Lorsque la sortie logique utilisée passe à l'état haut, les deux transistors deviennent passants, le noyau de fer doux s'aimante et soulève légèrement la tige en fer ce qui permet l'écoulement de la solution dosante. La diode branchée en inverse évite un phénomène de surtension lors de l'interruption du courant dans la bobine.

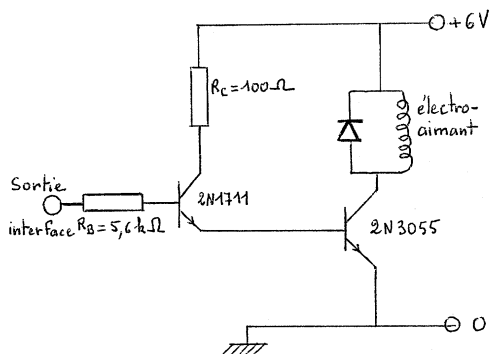


Figure 3

LE CIRCUIT DE COMPTAGE

Il est basé sur la modification, lors du passage d'une goutte, d'un faisceau infrarouge émis par une L.E.D. infrarouge. L'infrarouge a été

préférée à la lumière afin de diminuer l'influence de l'éclairage ambiant. Le schéma du circuit est donné par la figure 4.

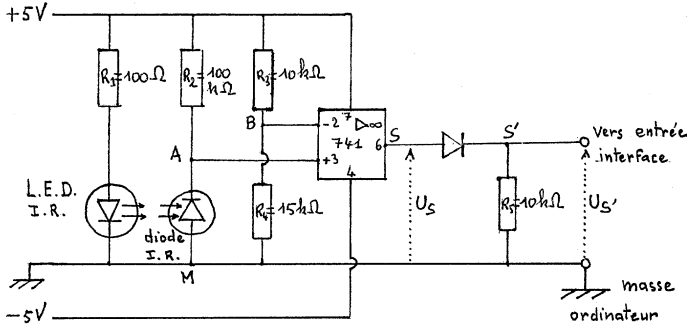


Figure 4

L'amplificateur opérationnel est monté en comparateur. En l'absence de goutte, la diode I.R. est passante et la tension U_{AM} entre ses bornes est inférieure à la tension de référence $U_{BM} = 5R_4 / (R_3 + R_4) = 3V$. La sortie S de l'ampli. est alors d'environ $-5V$. La diode en inverse, empêche le passage du courant dans R_5 d'où $U_{S'} = 0$. En présence d'une goutte, la tension aux bornes de la diode I.R. augmente et devient supérieure à $U_{BM} = 3V$. La borne de sortie S passe à environ $+5V$, R_5 est traversée par un courant et la tension $U_{S'}$ vaut alors environ $+4V$.

Remarque : Avant de relier S' à l'interface de l'ordinateur il est prudent de s'assurer à l'aide d'un oscillo. que le montage fonctionne correctement. Par exemple j'ai observé en premier lieu le signal de la figure 5 au niveau de S' .

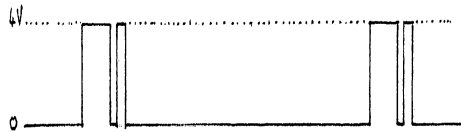


Figure 5

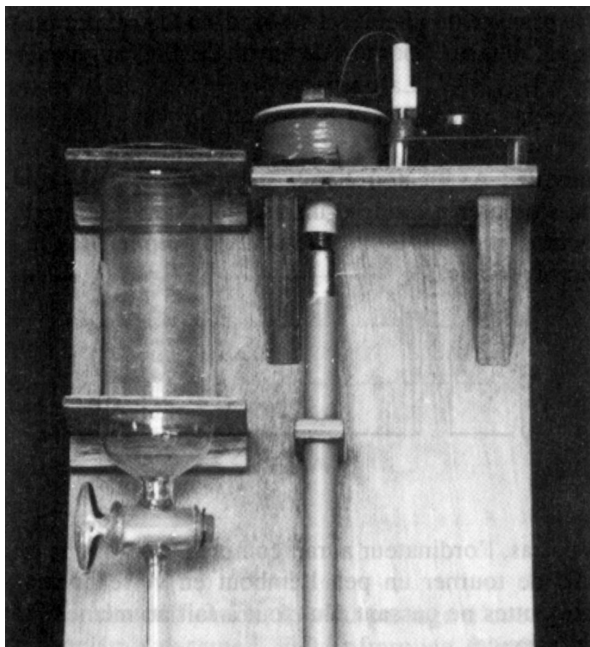
Dans ce cas, l'ordinateur aurait compté deux gouttes au lieu d'une. Il m'a suffi de tourner un peu l'embout en verre pour supprimer le défaut, les gouttes ne passant plus tout à fait au même endroit dans le faisceau infrarouge.

PARTIE VERRERIE

Le tube à entonnoir est de grosse taille, le diamètre extérieur de son corps est de 6 cm. Pour arriver à chasser l'air de la partie inférieure de sa tige, il faut comprimer plusieurs fois le tube en caoutchouc, l'électro-vanne étant fermée.

L'embout en verre est réalisé à l'aide d'un tube de diamètre extérieur 6 mm, chauffé, étiré, coupé à sa partie étroite et limé progressivement afin d'obtenir des gouttes telles que 20 gouttes correspondent à un ml. (Le volume des gouttes augmente avec la longueur de la circonférence de l'ouverture d'après la loi de capillarité).

Le tube réceptionnant les gouttes après leur comptage importe également ; on le réalise avec un tube de verre de 8 mm de diamètre extérieur ou plus. L'évasement de l'une de ses extrémités est réalisé à chaud avec une lame métallique taillée en biseau. La partie inférieure du tube est légèrement tordue, afin que les gouttes qui tombent soient freinées dans leur chute par glissement sur la paroi du tube, ce qui évite la production d'éclaboussures.

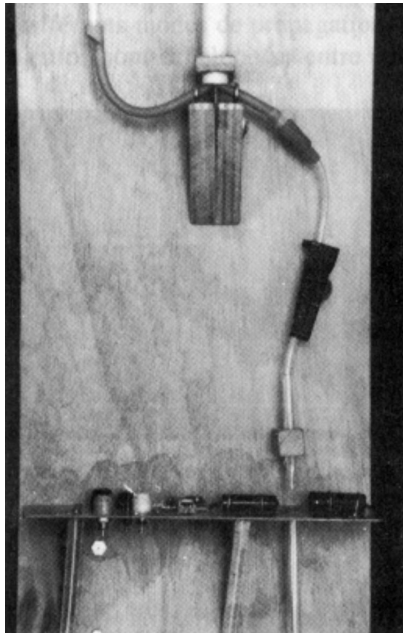


UTILISATION DE L'APPAREIL

Les diverses parties de l'appareil étant soigneusement fixées sur une plaque de contre-plaqué de 20 cm x 70 cm, on l'utilise en général pour des dosages en continu. La cadence d'environ 2 gouttes à la seconde permet de verser 30 ml de solution dosante en 300 s soit 5 minutes. Actuellement c'est ainsi que nous nous en servons grâce au logiciel «LE PH» de Langage et Informatique, mais ce logiciel ne permet pas d'exploiter toutes les possibilités de l'appareil, en particulier son électro-vanne. Nous comptons donc sur nos collègues animateurs de stages pour créer le logiciel adéquat.

Le matériel décrit peut permettre la réalisation automatique d'un dosage suivant la méthode habituelle :

- laisser couler 1 ml de solution ;
- agiter ;
- arrêter l'agitation ;
- lire le pH et l'afficher sur un graphique ;
- laisser couler à nouveau 1 ml de solution ;
-



– calculer la variation de pH, ΔpH entre les deux dernières mesures et diminuer le volume de solution versée quand ΔpH augmente et inversement.

Cette méthode est sûrement plus spectaculaire qu'efficace mais a l'avantage de mettre en évidence les possibilités de l'assistance par ordinateur.

On peut également utiliser l'appareil pour le tracé automatique de la droite $\text{pH} = f(\log [B] / [A])$ pour un couple acide-base. Pour être en deçà et au delà du pK_a on utilise des solutions de la forme acide et de la forme basique de concentrations molaires inégales. Par exemple $C_a = 0,1 \text{ mol/l}$ ($V_a = 20 \text{ ml}$), $C_b = 0,5 \text{ mol/l}$ (V_b pouvant varier de $0,5 \text{ ml} = 10 \text{ gouttes}$ à 25 ml de façon continue ou de façon discontinue). Le logiciel calculant, pour chaque mesure du pH, $\log (C_b \cdot V_b / C_a \cdot V_a)$.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon collègue, monsieur ADORA Bernard, qui m'a aidé à mettre au point ce dispositif, qui a fourni le robinet du goutte à goutte (type perfusion) et en a préconisé l'emploi.