**Démarche systémique pour l'électronique en classe de seconde**

# Exemple de chaîne électronique le pH-mètre

par Max BRUNEL et Éric GIBOIN
Lycée technique E. Branly, 28100 Dreux

Il est difficile de trouver, pour les classes de seconde, un montage électronique complet formé de composants électriques accessibles à nos élèves (sans condensateur), et susceptible de donner lieu à une démarche systémique, comme il est recommandé dans les instructions (BO numéro spécial 3 / Juillet 1987 / page 70).

Aussi nous a-t-il semblé opportun de présenter une tentative en ce sens réalisée autour du pH-mètre CH 17 du CEMS dans des classes de seconde.

Cette étude permet aux élèves d'employer toutes les lois et relations (loi des nœuds, loi d'additivité des tensions, lois d'Ohm, loi de Pouillet...) abordées dans la partie ÉLECTRICITÉ de la classe de seconde ; d'utiliser des dipôles actifs et passifs tels que générateurs de tension et conducteurs ohmiques, des dipôles de mesure (ampèremètres, voltmètres et oscillographes) ; d'étudier le fonctionnement des amplificateurs opérationnels (en suiveur et non inverseur).

Un intérêt supplémentaire est l'utilisation du pH-mètre qui sera utilisé dans la partie acides et bases du cours CHIMIE de seconde.

Le plan d'une telle étude systémique est le suivant :

A) La fonction globale réalisée par le pH-mètre

- 1 -étalonnage
- 2 -mesures de pH de solutions aqueuses.

B) L'étude des 3 maillons de la chaîne électronique du pH-mètre et leurs fonctions partielles

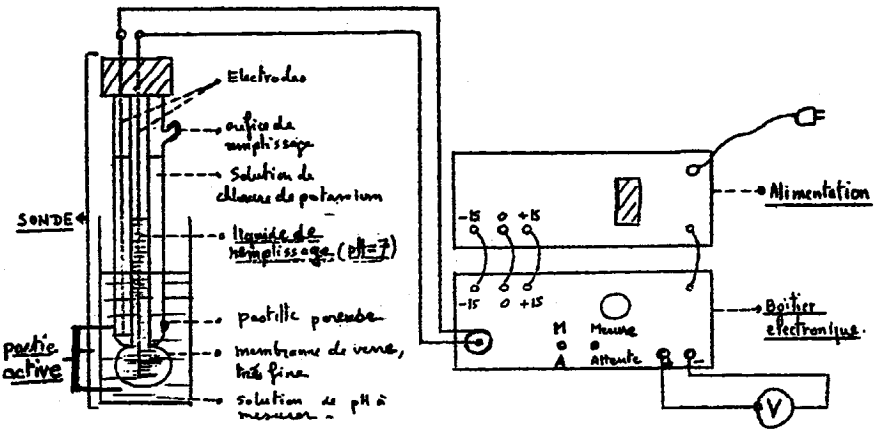
- 1 -le voltmètre
- 2 -la sonde
- 3 -le boîtier électronique (et son alimentation).

Un découpage en quatre séances de travaux pratiques / cours a été adopté dont les contenus sont présentés ci-après

## SÉANCE 1

### 1. DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Présentation du montage :




- Fonctionnement global présenté par le professeur.

- Notion de chaîne électronique : capteur, dispositif électronique, utilisation

- Étalonnage du pH-mètre et mesure du pH d'une solution par les groupes d'élèves. Le pH est donné par la relation pH = 10 U, U est la tension en volts mesurée au voltmètre.

- Regroupement des résultats dans le tableau 1, ligne 1.

## 2. ANALYSE DE LA CHAÎNE ÉLECTRONIQUE

A) Voltmètre

- Modélisation : conducteur ohmique
- Matériel utilisé : voltmètre numérique de résistance Rv = 10 MΩ.

B) Sonde

- Modélisation : dipôle actif linéaire commandé par le pH.
- Paramètres de la sonde : E force électromotrice
  r résistance interne
  Icc intensité du courant de court-circuit.
- Hypothèse : r est supposée être supérieure à 100 MΩ (elle sera vérifiée a posteriori).
- Choix des paramètres à mesurer : E et Icc
- Présentation de la partie : "détermination de Icc" :

*–Dialogue avec les élèves pour aboutir aux points suivants :*

a) la mesure directe de Icc est impossible avec les ampèremètres de laboratoire à notre disposition car Icc est trop faible

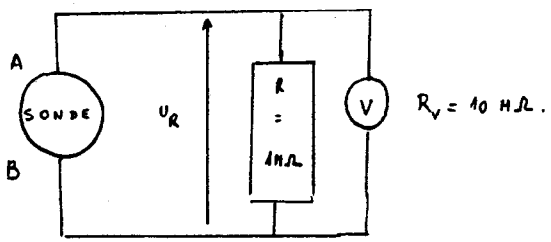
b) la mesure de la tension $U_R$ aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R = 1 MΩ (<< r) permettra d'obtenir Icc par la relation :

$$Icc = |U_R| \quad (1 / Rv + 1 / R) \text{ à moins de } 1\ \%$$

avec Rv = 10 MΩ et R = 1 MΩ, $Icc = |U_R| \times 1{,}1$
Icc est en nA et la tension $U_R$ en mV.

La relation donnant Icc sera à retrouver par les élèves pour la séance suivante, à titre d'exercice.

–**Remarque** : Le signe de $U_R$ indiquera la polarité de la sonde.



## SÉANCE 2

**Sonde** (suite)

–Mesure de la tension aux bornes du conducteur ohmique permettant la détermination expérimentale de Icc à différents pH et résultats à reporter aux lignes 3, 4, 5 du tableau 1.

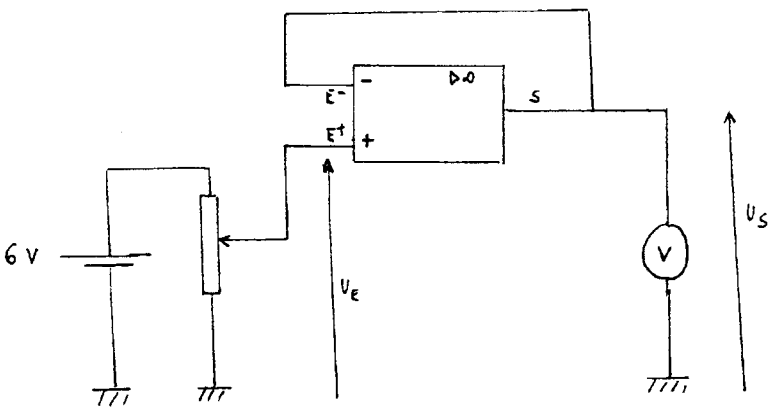
- Détermination de E :

– présentation du problème pour mesurer E : *dialogue avec les élèves* l'objectif étant de faire comprendre que la détermination directe à l'aide d'un voltmètre n'est pas possible car la résistance du voltmètre est inférieure à celle r de la sonde.

Grâce au composant amplificateur opérationnel, il va être possible de réaliser un montage (dit suiveur) simulant un voltmètre de résistance très supérieure à celle de la sonde.

– introduction de l'amplificateur opérationnel :
  * description, entrées (pattes), son alimentation
  * son fonctionnement en saturation et en régime linéaire.

– l'amplificateur en suiveur : théorie et vérification expérimentale :



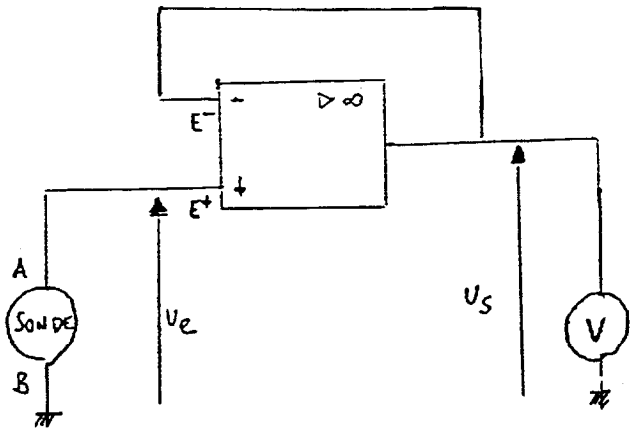

Le voltmètre sera remplacé par un oscillographe, lorsque le générateur de tension continue sera remplacé par un générateur de tension alternative.

## SÉANCE 3

**Sonde** (suite)

- Détermination de E (suite)

– mesure de E à différents pH :




– regroupement des résultats aux lignes 6, 7 et 8 du tableau 1
– Courbe $(U_{AB})_0$ = f(pH) : tracé et exploitation statistique (voir l'annexe)

Courbe 1→ droite d'où $(U_{AB})_0 = a - b$, pH  b>0

Détermination de a et b :

ceci nous donne : $(U_{AB})_0 = 0{,}41 - 0{,}059$ pH

- Calcul de r à la ligne 9 du tableau 1.

- Vérification de l'hypothèse : résistance de la sonde supérieure à 100 MΩ.

- Conclusion sur la sonde

- Passage $(U_{AB})_0 = 0{,}41 - 0{,}059$ pH → U = 0,10 pH grâce au boîtier.

C) Boîtier

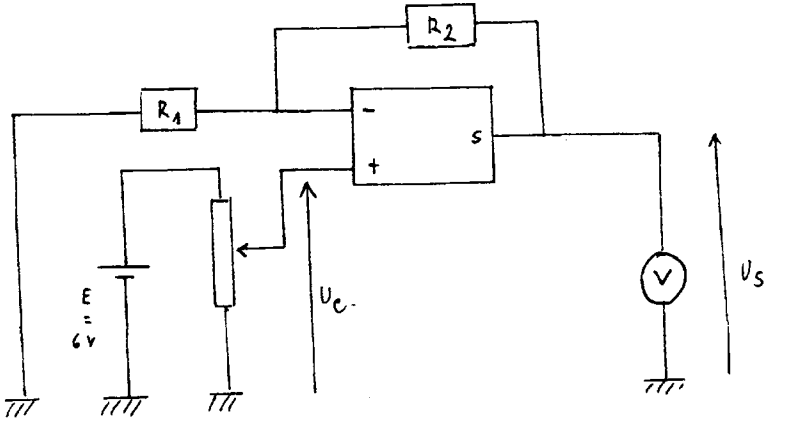
- Ouverture du boîtier et recensement des composants électriques.
- Observation du montage de l'amplificateur opérationnel :

Dialogue avec les élèves débouchant sur un schéma de montage avec l'amplificateur opérationnel autre que le schéma du suiveur : le schéma de montage non inverseur de l'AO.

## SÉANCE 4

**Boîtier** (suite)

- Théorie de l'amplificateur opérationnel monté en non inverseur. Vérification expérimentale :




Le voltmètre sera remplacé par un oscillographe, lorsque le générateur de tension continue sera remplacé par un générateur de tension alternative.

- Détermination expérimentale du gain A, de l'amplificateur en ayant mesuré les résistances à l'ohmètre : A = 1,7.

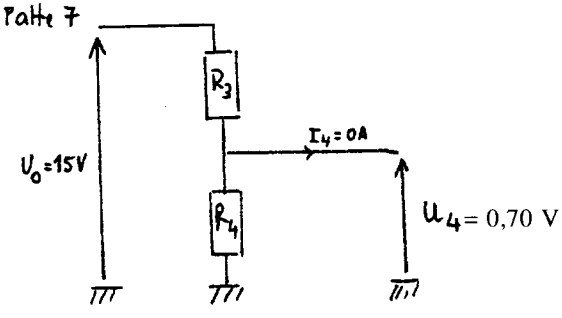
A signaler : le gain peut varier légèrement selon les boîtiers, le réglage du potentiomètre à l'intérieur de ces mêmes boîtiers permet d'aboutir à des valeurs identiques de A pour tous les groupes d'où :

$$U_S = (U_{AB})_0 \times A = 0{,}70 - .0{,}10 \text{ pH}$$

- Obtention de U : passage de 0,70 – 0,10 pH à 0,10 pH.

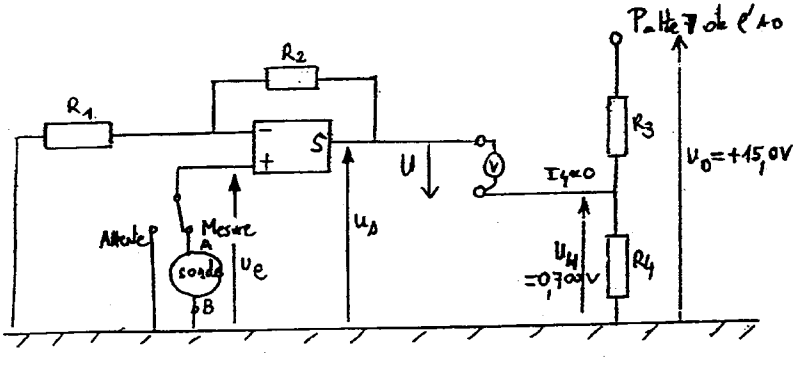
Dialogue avec les élèves, l'objectif étant de les amener à penser à un montage diviseur de tension.

Pont diviseur :




D) Récapitulatif

avec schéma global du système pH-mètre :




## CONCLUSIONS

Les avantages de cette étude peuvent se résumer dans les trois points suivants :

### 1/ Réinvestissement de la quasi-totalité des connaissances et des savoir-faire

a) Utilisation des lois électriques vues précédemment, en particulier :

- les lois d'Ohm,
- la relation Icc = E / r,
- les formules du point de fonctionnement d'un circuit.

b) Utilisation des appareils de mesure, analogiques et / ou numériques en tenant compte de la perturbation qu'ils entraînent.

### 2/ **Motivation de l'introduction de l'amplificateur opérationnel**

a) Le montage en suiveur est rendu nécessaire pour la mesure de la fém de la sonde, puisque celle-ci a une énorme résistance interne.

b) Le montage en amplificateur non inverseur est découvert dans le boîtier électronique. De plus, on peut mesurer le gain du montage par une mesure à l'ohmètre.

### 3/ **Alternance de travaux théoriques et de mesures dans chacune des séances de TP**

Les expériences réalisées et les calculs effectués ne sont pas artificiels. En effet, ils s'inscrivent dans le cadre d'une démarche bien précise : *comprendre le fonctionnement d'un système dont les élèves avaient, pour la plupart, entendu parler dès le collège.*

# ANNEXES

## TABLEAU 1

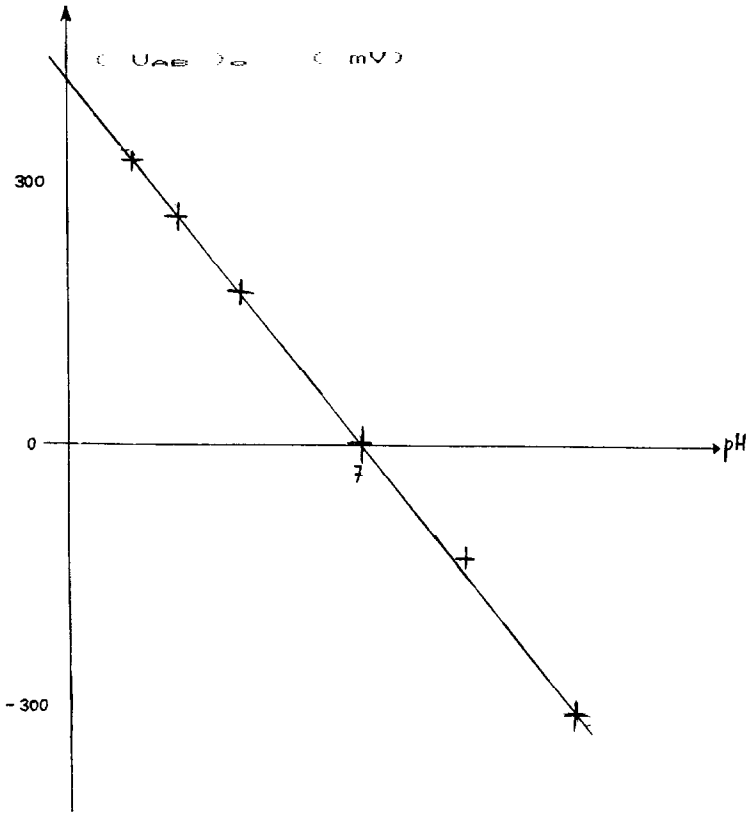
### Tableau des valeurs - Étude de la sonde

| pH | 1,5 | 2,5 | 4,0 | 7,0 | 9,4 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *ligne 1* | | | | | | |
| Solution | A | B | C | D | E | F |
| *ligne 2* | | | | | | |
| $U_R$ (mV) | 1,86 | 1,42 | 0,79 | 0 | –1,00 | –1,76 |
| *ligne 3* | | | | | | |
| A est la borne | + | + | + | +/– | – | – |
| *ligne 4* | | | | | | |
| Icc (nA) = 1,1 $\lvert U_R \rvert$ | 2,05 | 1,57 | 0,87 | 0,00 | 1,10 | 1,94 |
| *ligne 5* | | | | | | |
| $(U_{AB})_0$ (V) | 0,342 | 0,260 | 0,163 | –0,018 | –0,125 | – 0,300 |
| *ligne 6* | | | | | | |
| E = $\lvert (U_{AB})_0 \rvert$ (V) | 0,342 | 0,260 | 0,163 | 0,018 | 0,125 | 0,300 |
| *ligne 7* | | | | | | |
| E (mV) | 342 | 260 | 163 | 18 | 125 | 300 |
| *ligne 8* | | | | | | |
| r = E / Icc | | | | | | |
| (MΩ) (mV) (nA) | 167 | 166 | 187 | – | 114 | 155 |
| *ligne 9* | | | | | | |

Moyenne de r = 158 MΩ (valeur supérieure à 100 MΩ)

**COURBE 1**

Courbe $(U_{AB})_0 = f(pH)$ de la sonde




On aboutit à :

$$(U_{AB})_0 = 0{,}41 - 0{,}059\ pH.$$