

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL

DIVISION DES SOLS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

MISSION TUNISIE

**UTILISATION D'ELECTRODES SENSIBLES AUX IONS  
POUR LA MESURE EN CONTINU, AVEC ENREGISTREMENT DU pH, pNa, pCl, pCa, pCa+Mg  
DANS L'ETUDE DES EAUX D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE  
ET ESSAIS DANS LES SOLS**

1ère Partie : Réalisation et description de l'ensemble de mesure

**E-S 172**

J. SUSINI, ORSTOM  
avec la collaboration technique  
de MAMI NEDHIR, ORSTOM, Mars 1980

Convention B<sub>2</sub>

REPUBLIQUE TUNISIENNE  

---

MINISTERE DE L'AGRICULTURE  

---

DIRECTION DES RESSOURCES  
EN EAU ET EN SOL  

---

DIVISION DES SOLS  

---

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
OUTRE-MER  

---

MISSION EN TUNISIE  

---

UTILISATION D'ELECTRODES SENSIBLES AUX IONS  
POUR LA MESURE EN CONTINU, AVEC ENREGISTREMENT DU pH, pNa, pCl, pCa, pCa+Mg  
DANS L'ETUDE DES EAUX D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE  
ET ESSAIS DANS LES SOLS

-----

1ère Partie : Réalisation et description de l'ensemble de mesure

J. SUSINI, ORSTOM  
avec la collaboration technique  
de MAMI NEDHIR, ORSTOM

Convention B<sub>2</sub>

Mars 1980

## I N T R O D U C T I O N

Les électrodes sensibles aux ions, dont certaines sont connues et utilisées depuis plusieurs années, se sont répandues très vite dans les laboratoires d'analyse créant de grands espoirs du fait de l'apparente simplicité d'utilisation. Comme toujours en ce cas on a trop demandé, les difficultés sont apparues nombreuses et l'engouement est retombé. Il faut reconnaître que, si en tant que moyen analytique, les électrodes sont encore imparfaites pour pouvoir concurrencer les méthodes classiques, elles permettent, dans certains cas d'atteindre des renseignements très difficiles, sinon impossibles, à obtenir par d'autres méthodes. C'est sous cet angle que nous envisageons leur emploi dans l'étude que nous avons entreprise sur les mouvements d'ions dans les sols soumis à l'irrigation et au drainage. Elles doivent nous permettre un travail plus proche de la "réalité" puisque sans prélèvement d'échantillons et en observation continue.

Les problèmes posés par l'appareillage de mesure sont nombreux et délicats, il est largement fait appel à l'électronique et les ensembles sont coûteux et nécessitent une maintenance d'un niveau élevé ce qui limite les utilisateurs.

Cependant ne voulant pas nous priver d'une méthodologie parfaitement adaptée, nous avons cherché à mettre au point un ensemble d'automatismes certes assez complexes, mais résolument éloigné des solutions commerciales sophistiquées, créant trop de dépendance.

Nous avons, aussi, voulu montrer qu'il était possible de concevoir et réaliser un ensemble en n'ayant recours qu'à des procédés classiques.

Certainement plusieurs de nos solutions pourront paraître dépassées sur le plan technologique, ne serait-ce que par l'emploi de

composants déjà anciens, nous en sommes parfaitement conscients, les propositions de perfectionnement seront certainement nombreuses et bienvenues, mais notre Instrument de travail est sans "secret" pour nous et répond au moindre prix au problème posé. Le même montage employé dans un premier temps à l'étude en milieu liquide, servira ensuite à une étude avec électrodes implantées dans le sol.

Notre travail comprend deux parties, dans la première sera décrit la réalisation du dispositif de mesure, dans la deuxième une étude des électrodes dans le but de leur utilisation dans les eaux et les sols.

1ère Partie : REALISATION ET DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE DE MESURE

S O M M A I R E

	Pages
1 - LE DISPOSITIF DE MESURE	4
1.1. L'amplificateur	4
1.2. Le dispositif de commutation des électrodes	7
1.3. Le dispositif de mesure et d'enregistrement du signal	8
1.4. La mesure et l'enregistrement de la température	10
1.5. Alimentation en électricité	14
2 - LES OPERATIONS DE FONCTIONNEMENT	15
2.1. Le dispositif de pompage de l'échantillon et l'apport des réactifs	15
2.2. Les cuves de mesure et disposition des électrodes	16

## 1 - LE DISPOSITIF DE MESURE

### 1.1. - L'Amplificateur

Les mesures à effectuer sont de l'ordre de quelques millivolts à deux ou trois cent, mais avec cette particularité d'importance, que les électrodes utilisées possèdent des résistances internes de source, de plusieurs centaines de mégohms ce qui impose d'avoir à utiliser des amplificateurs à très grande résistance d'entrée, ces amplificateurs devant avant tout remplir le rôle d'adaptateur d'impédance. Ce problème électronique difficile a heureusement été solutionné, d'une manière assez "simple" avec la mise en oeuvre de ces ensembles merveilleux que sont les amplificateurs "opérationnels". Ces circuits réunissent aussi d'autres avantages précieux, grande fiabilité, très faible encombrement, circuits annexes très simples et grande autonomie de fonctionnement sur piles ordinaires. Cela a été un très grand progrès pour la généralisation de ces mesures.

En restant dans la gamme, de très bonne qualité, sans avoir recours à l'exceptionnel, nous avons retenu et comparé 3 modèles. Il faut tout de suite préciser que cette comparaison n'implique pas un jugement de valeur, nous savons au départ que les qualités étaient très différentes, qualités correspondantes à des emplois différents mais nous voulions montrer que le modèle le moins sophistiqué était déjà suffisamment favorable pour être employé dans notre expérimentation.

Les modèles confrontés sont :

- 1 - PHILBRICK modèle 1421-01
- 2 - ANALOG DEVICES modèle AD515L
- 3 - PHILBRICK modèle 1035

les deux derniers sensiblement voisins et de haute performance, le premier plus ordinaire, de grande diffusion ; leurs prix sont dans le rapport : 1 - 2,5 - 6,5. Il faut signaler que le modèle 1035 est spécialement calculé pour les mesures de pH.

Tableau 1 - Caractéristiques comparées des  
3 amplificateurs (à 25°C)

	1421-01		AD 515 L	1035	
	typique	garantie	typique à +25°	typique	garantie
Voltage en sortie	±13V	±10v	±12V	±12V	±10V
Courant en sortie	±13mA	±10mA	25mA(court circuit)	±10mA	±5mA
Gain	104dB	94dB	25000V/V min.	120dB	100dB
Courant de polarisation	10pA	15pA	75fA		150fA
Tension de dissymétrie	±3mv	±15mv	0,4mV	0,5mV	2mV
Dérive A/C°	±10µv	±50 µv	25µV maxi		25µV
Impédance	10. <sup>12</sup> Ω	3pF	10 <sup>13</sup> Ω 1,6pF	10 <sup>13</sup> Ω	1pF
Bruit de fond	±4µV		±4 µV	±3µV	
T° d'utilisation	-25 + 85°		0 — 70°	-25+85°	0—70°
Alimentation	±5V ±20 ±12 ±18V		±±5V maxi ±18V	±8V±20V±12V±18V	
Courant de repos	2,8mA	3,5mA	0,8mA	±3mA	

Nous avons retenu le modèle 1421, il nous restera toujours la possibilité, si le besoin se faisait sentir de nous reporter sur les deux autres modèles. Depuis un an notre montage est en fonctionnement aucune anomalie ne s'est présentée. La résolution s'est avérée suffisante, les autres causes d'erreur sont plus importantes.

#### Câblage de l'amplificateur (montage non inverseur)

Le câblage sera aussi ramassé que possible, sur plaquette de verre Epoxy d'environ 10 cm x 9 cm. Les connexions de l'amplificateur seront toutes montées sur traverse en teflon (photo 1 et 2 et fig. 1 et 2).

Un anneau de garde enserrera les entrées 2 et 3 (+ et -) et sera raccordé à la gaine du câble coaxial, sera raccordé également le point compris entre la résistance de contre-réaction (10 KΩ) et la résistance de 14,5 KΩ.

# Amplificateur PHILBRICK 1421

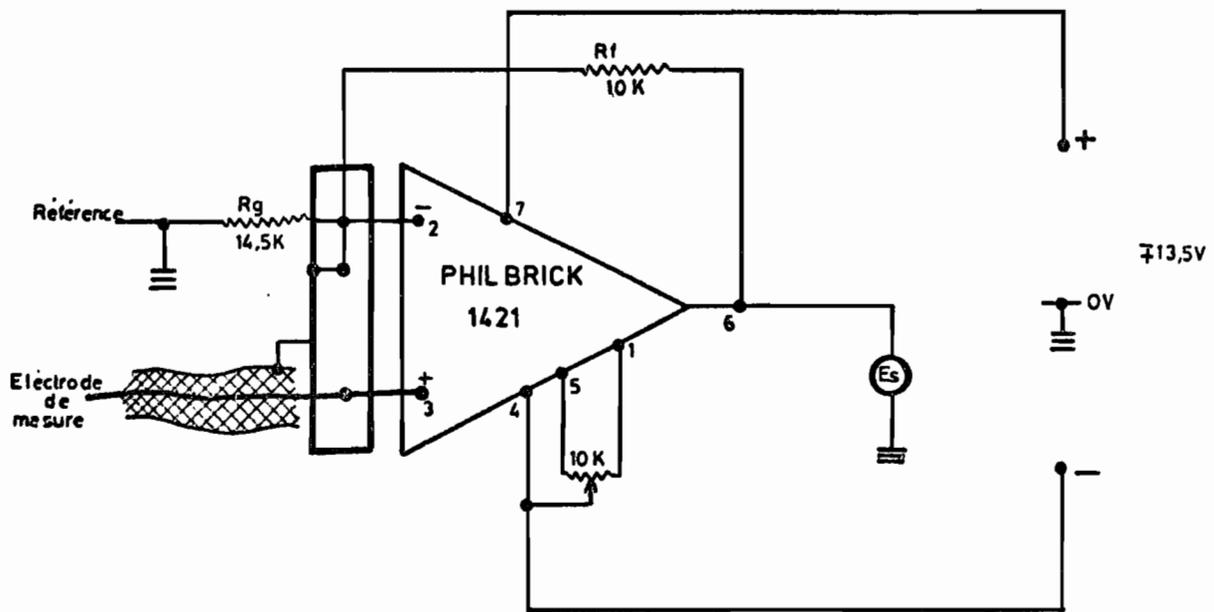
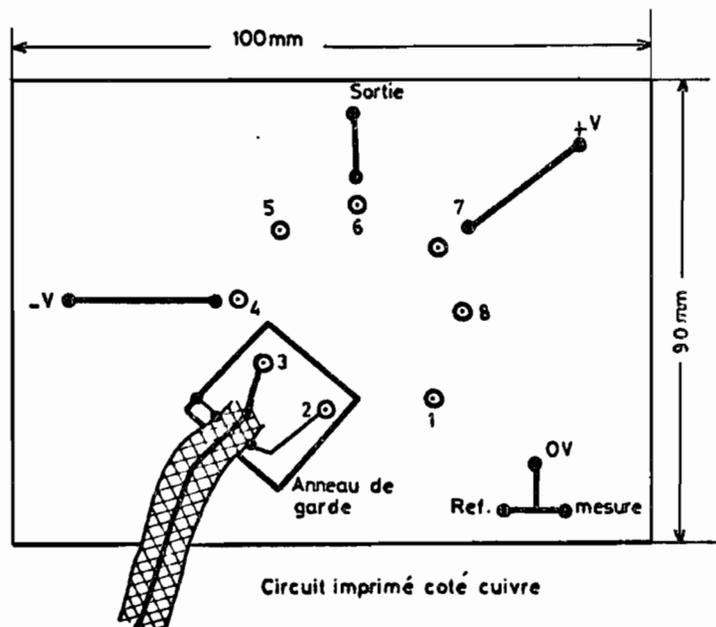
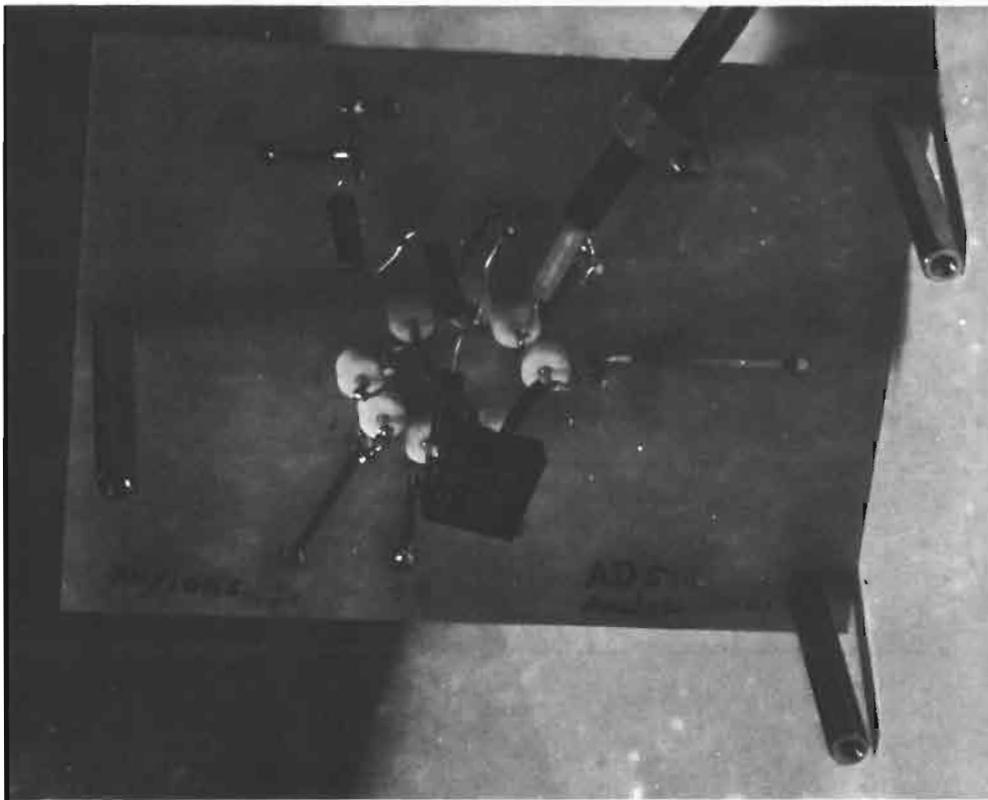


Schéma de montage



Les bornes de l'amplificateur sont montées sur des traversées en Teflon (voir photo)



Ph. 1 : vue de dessous, on aperçoit les traverses en téflon et le départ du câble amenant le signal

Ph. 2 : vue de dessus, ici se trouve câblé le AD 515 Analog Devices, le câblage du 1421 est identique. On voit par transparence l'important anneau de garde.



Le circuit monté sur supports isolés, le tout disposé dans un coffret en laiton de 19 x 15 x 10 cm, couvercle amovible. Les connexions entrées-sorties sont montées sur PVC, sur les faces du coffret.

Les liaisons intérieures du circuit, aux bornes, se font avec du câble blindé anti-bruit (1).

Les entrées d'électrodes se font avec des prises coaxiales type HF, à grand isolant de Teflon.

Les soudures sont faites avec grand soin, panne du fer raccordée à la terre.

Le montage est calculé pour une amplification environ x 1,7, donnant pour un signal de 59 mv (un pX) une sortie de 100 mv, les résistances utilisées sont de très bonne qualité, à 1 % et faible dérive thermique.

$$\text{le Gain} = e_{\text{entrée}} \left( 1 + \frac{R_f}{R_g} \right)$$

#### Remarque

Les circuits mettant en oeuvre des montages à très grande résistance d'entrée nécessitent beaucoup de soins dans les détails et une extrême propreté. Après fabrication, les circuits gravés seront lavés avec du méthanol, puis rincés à l'eau distillée et séchés à l'abri des poussières, et la face cuivre revêtue d'un vernis isolant.

Veiller à ramener les masses toutes au même endroit.

Utiliser du fil coaxial traité anti-signaux, notamment le KX 15 - RG 58 CU, diamètre extérieur 4,95 mm, de la marque Filotex.

---

(1) Filotex, 140-146 Rue Eugène Delacroix, F - 91210 DRAVEIL

## 1.2. - Le dispositif de commutation des électrodes

La commutation entre des électrodes ayant une très forte résistance intérieure et un amplificateur ayant également une très forte résistance d'entrée, pose des problèmes très délicats, les plus faibles courants parasites deviennent des signaux très importants et rendent les mesures impossibles, par tâtonnement nous sommes arrivés au montage suivant qui nous donne entière satisfaction. La stabilité est excellente.

La commutation se fait par relais à lames souples (I.L.S.) à un seul passage - isolement supérieur à  $10^{14}\Omega$ , possédant un écran magnétique et anti-statique. Alimentation en 12 volts continu (1). Ce sont des relais fabriqués par OREGA, référence 109 R 24 436.

Les relais sont montés côte à côte sur la face non cuivrée d'une plaque pour circuit imprimé (verre Epoxy) (photo 3 et fig. 3).

Longueur de la plaque 23 cm, largeur 7 cm.

Les relais sont écartés les uns des autres d'environ 3 cm, les fils de sortie sont soudés sur des supports isolés par du Teflon, le fil coaxial soudé également sur ces supports.

Les liaisons électriques se font sur la face opposée au cuivre. Sont raccordées à la face cuivre, les écrans des relais - de même la face cuivre est raccordée à la gaine du coaxial de l'électrode de mesure - finalement raccordé à une très bonne terre.

Tous les raccords se font avec du fil Anti-signal Filotex.

L'ensemble des relais se trouve monté sur supports fixés à l'intérieur d'un coffret de laiton de 20 cm sur 30 cm, profondeur 10 cm. Les entrées et les sorties des électrodes se font sur les 2 grandes faces avec des fiches à haut isolement, type UHF de Radiall. Bien veiller à ce que les circuits des blindages des fils coaxiaux ne soient pas interrompus et soient ramenés au même point.

---

(1) Les relais prévus pour 24 volts sont alimentés en 12 volts, le fonctionnement est excellent.

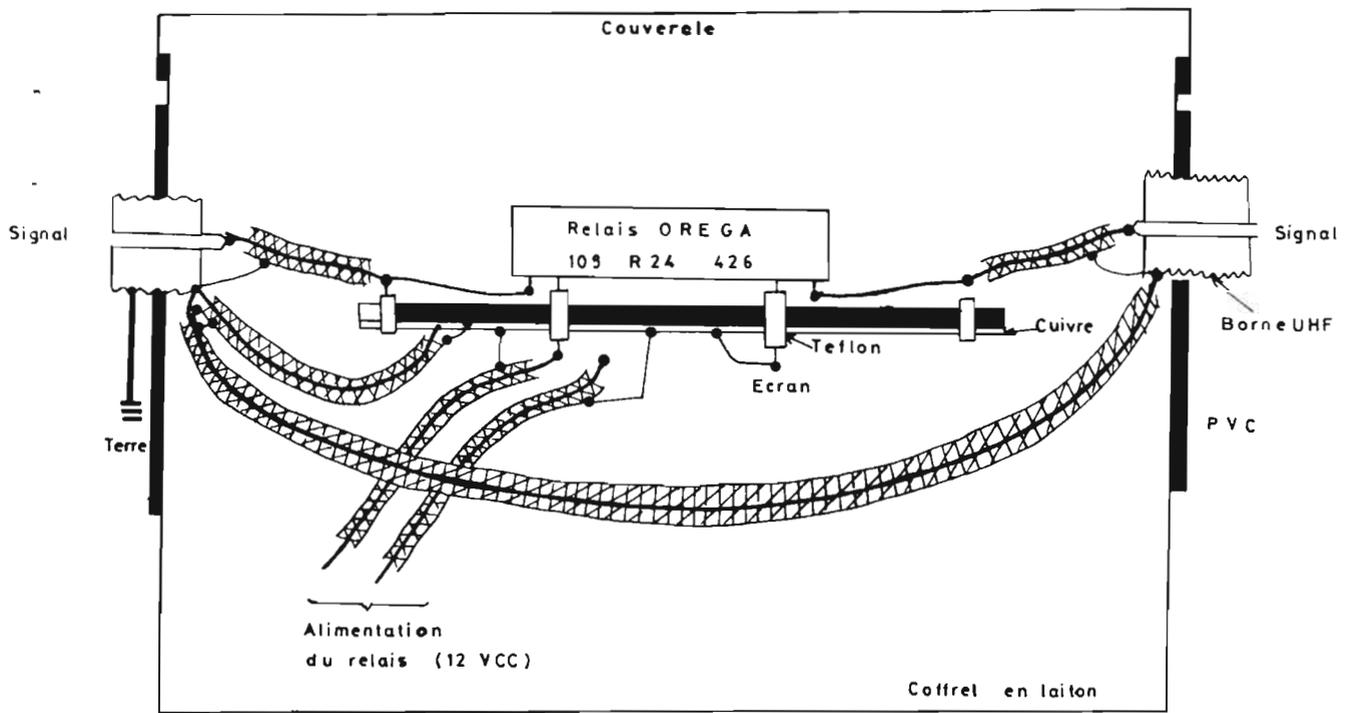
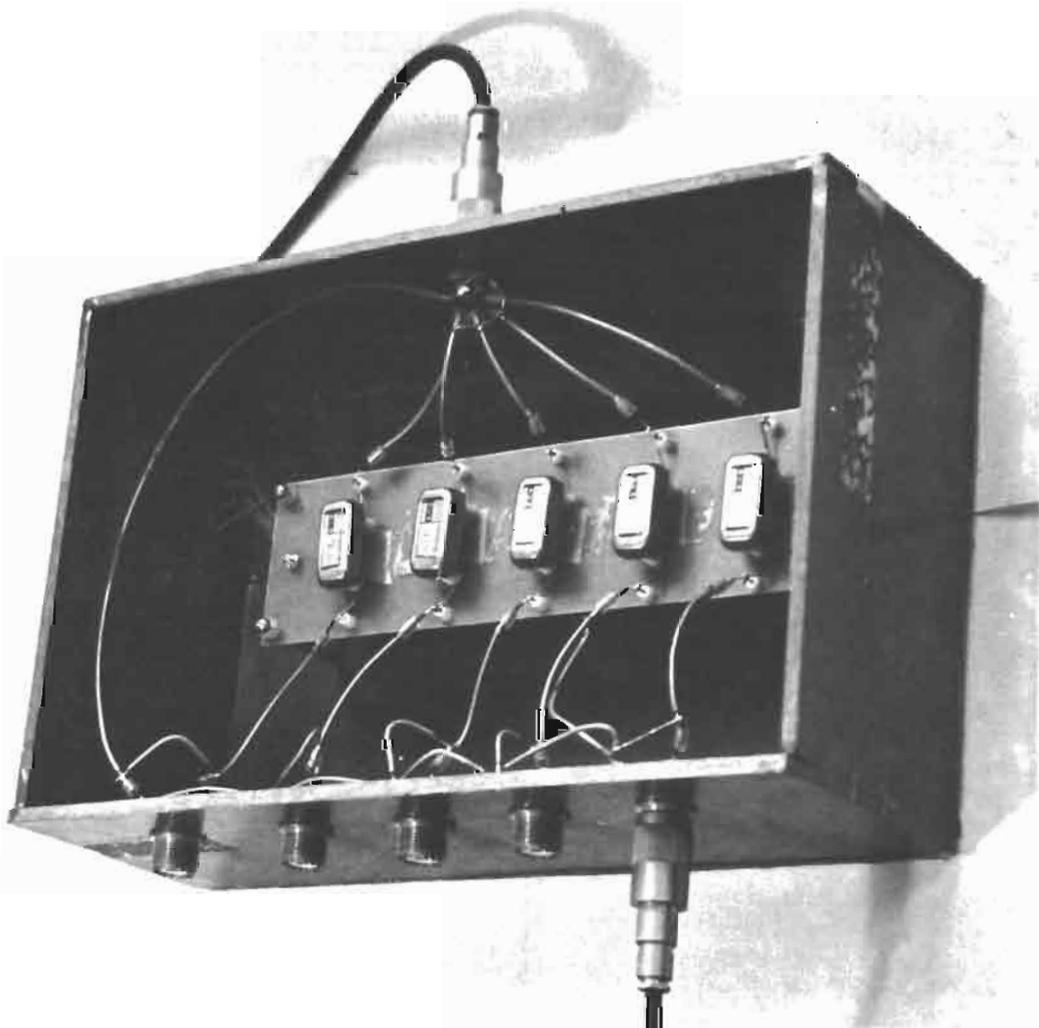


Fig. 3 : schéma de montage d'un relais d'électrode

Ph. 3 : vue d'ensemble des relais de commutation des électrodes



### 1.3. - Le dispositif de mesure et d'enregistrement du signal

Le signal provenant de l'amplificateur est mesuré par potentiomètre classique d'opposition, un "détecteur de zéro" sur le circuit, réagit en même temps à la polarité du signal et commande les changements nécessaires dans l'opposition.

La sensibilité du montage permet des mesures à plus ou moins un millivolt. (environ 0,5 mV au niveau des électrodes).

Les signaux provenant des électrodes se répartissent sur des gammes différentes (par exemple pCa - 100 mV à + 100 mV, pNa + 400 mV à + 200 mV ...) Il s'en suit, pour que notre enregistreur monogamme donne toujours une déviation pleine échelle pour une gamme déterminée de concentration, qu'il reçoive un signal toujours identique, la sélection des gammes se faisant au niveau du potentiomètre de mesure ; ceci est réalisé en montant un potentiomètre "répéteur" fixé sur le même axe que le potentiomètre de mesure et parfaitement identique. Le potentiomètre répéteur suivra exactement les variations des mesures et enverra un signal adapté aux caractéristiques de l'enregistreur. Les valeurs des déviations sont bien entendu différentes suivant les électrodes, mais par ce moyen on conservera le bénéfice d'un étalement d'échelle toujours favorable.

Toutes ces opérations se faisant automatiquement.

#### Montage des potentiomètres (fig. 4 et photo 4)

Les deux potentiomètres, celui de mesure et le répéteur sont d'une valeur de 10 K $\Omega$ , modèle double (sur un seul axe) type 15-15 de MCB, l'entraînement se fait avec un moteur à courant continu vitesse 0,5 tour/minute.

L'arrêt instantané du moteur d'entraînement est obtenu par court circuit des entrées à la coupure de l'alimentation.

#### Réglage du potentiomètre de mesure

Les réglages sont faits pour explorer une gamme de 1 à 20 mé/L d'ion, et pour le pH de 5 à 9, il est cependant toujours possible de modifier ces gammes.

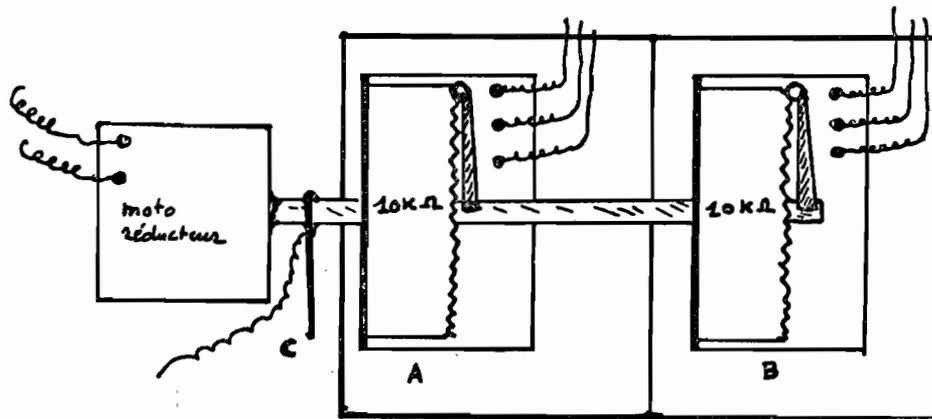


fig 4 : disposition du potentiomètre double: A potentiomètre de mesure  
 B, potentiomètre répéteur, C, contact de fin de course et de maximum

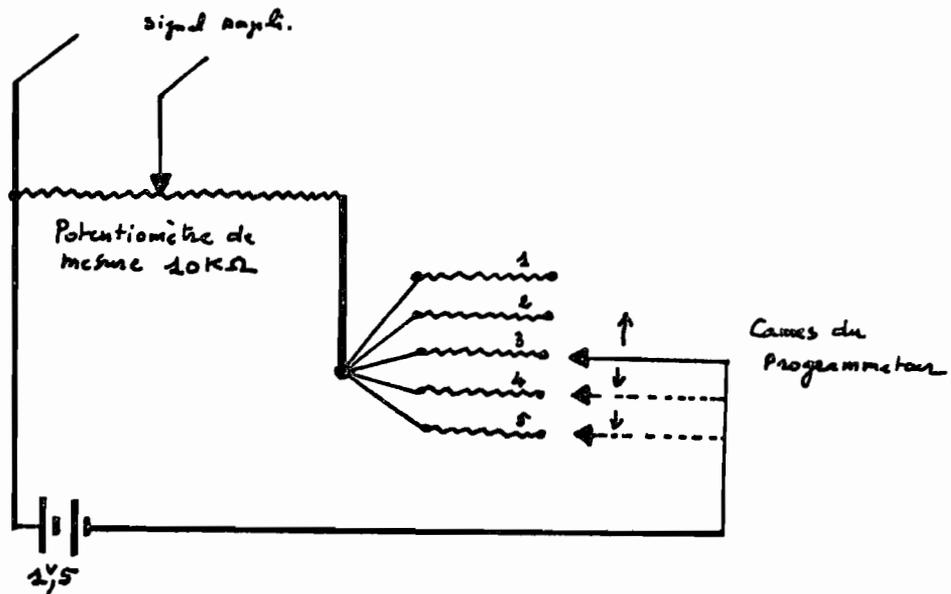


fig 5 : schéma de principe de changement de gammes

Les gammes exprimées en millivolts sont : (fig. 5)

- 1 sodium  $pNa \pm 300 \text{ mV}$
- 2 chlorure  $pCl^- \pm 280 \text{ mV}$
- 3 calcium  $pCa \pm 100 \text{ mV}$
- 4 calcium + magnésium  $\pm 100 \text{ mV}$
- 5 pH  $\pm 200 \text{ mV}$

Les mesures se faisant aux bornes d'un potentiomètre de gros diamètre, linéaire de valeur  $10.000 \Omega$ . Les résistances à monter en série seront réglables, type 10 tours à vis, avec des valeurs maximum de :

- 1 47  $K\Omega$
- 2 47  $K\Omega$
- 3 200  $K\Omega$
- 4 200  $K\Omega$
- 5 82  $K\Omega$

La sélection des gammes sera faite par les contacts du programmeur.

L'alimentation du potentiomètre est faite avec une pile de 1,5 V. L'alimentation du potentiomètre n'a lieu que pendant les mesures, alors, le courant consommé, n'excède pas  $50\mu A$  ce qui assure une tenue très longue de la pile.

#### Réglage du potentiomètre répéteur

Ce potentiomètre doit permettre, pour une rotation complète une déviation de l'enregistreur couvrant la totalité du graphique, soit 5 cm.

La déviation totale couvre 100 mV, une résistance variable de  $220 K\Omega$  est en série avec le potentiomètre de  $10 K\Omega$ , la résistance sera ajustée pour obtenir 100 mV aux bornes ( $\neq 140 K\Omega$ ). Alimentation du montage potentiométrique répéteur avec une pile de 1,5 volt.

#### L'enregistreur

C'est un modèle Industriel, permettant une utilisation dans les conditions du terrain, il est simple, alimenté en courant 12 volts continu, la largeur du graphique est assez petite, mais suffisante pour notre cas, puisque la résolution de la mesure ne dépend que du potentiomètre de mesure

et que celle-ci peut être choisie très fine pour une investigation serrée (par exemple 10 mV pleine échelle). La déviation totale couvre 50 mm, avec possibilité de lire le mm.

Les caractéristiques de cet appareil sont :

Marque : Esterline Angus (1) - 0-100 mV 10 M $\Omega$ , vitesse de défilement du papier, environ 2 mm par minute, alimentation du moteur d'entraînement 12 V continu (Référence 25 - A 06 - A7 - 000), il est souhaitable de choisir, si cela est possible une version avec un marqueur d'événement, en effet on doit pouvoir repérer si les valeurs enregistrées sont négatives ou positives. Quant à nous nous avons rajouté un dispositif qui consiste en un petit électro-aimant tirant muni d'une pointe traceuse faisant un signe s'il y a un changement de polarité.

#### 1.4. - Mesure et enregistrement des températures

Nous avons retenu un système simple, sûr et précis, basé sur le fait que la tension aux bornes d'une diode signal, alimentée par un courant constant varie linéairement avec la température, environ 2 mV par degré, avec un courant de 2mA (pour une diode 1N914) à zéro degré, la d.d.p. est à environ 650 mV.

La tension de température sera amplifiée environ 2 fois. Le courant de sortie de l'amplificateur sera appliqué à l'enregistreur déjà utilisé pour les mesures sur électrodes. La gamme enregistrée est 0-50°, avec une résolution du degré.

Contrairement au thermocouple il n'est pas nécessaire d'avoir une référence et les couples parasites ne sont pas à craindre.

La sensibilité peut aisément atteindre le 50<sup>ème</sup> de degré.

#### Réalisation du montage (voir schémas fig. 6-7-8)

Le point important est de pouvoir alimenter la diode avec un courant maintenu très constant dans une grande marge de température ambiante (0 à 60°) Une solution existe avec l'emploi d'une source référence en circuit intégré Analog-Devices type AD 580 M. Il s'agit d'un matériel peu coûteux d'une remarquable stabilité (très supérieur aux Zener).

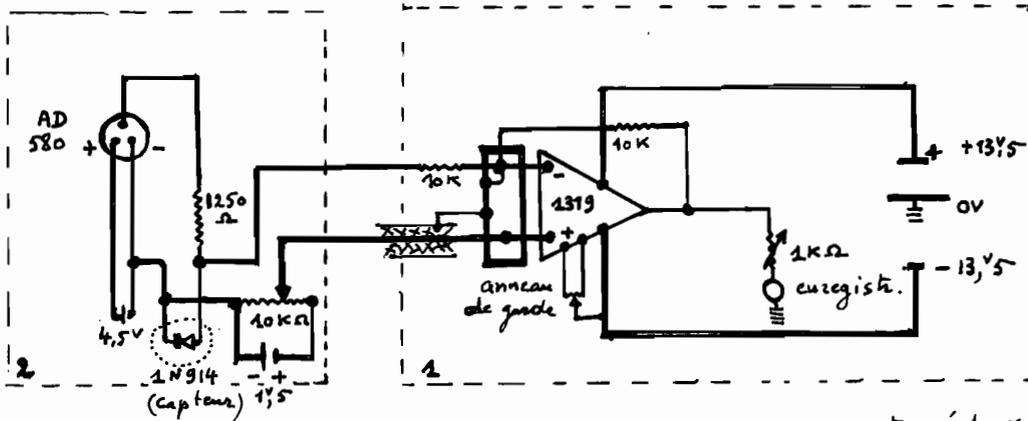


fig 6: schéma du système de mesure des températures



fig 7: schéma du capteur

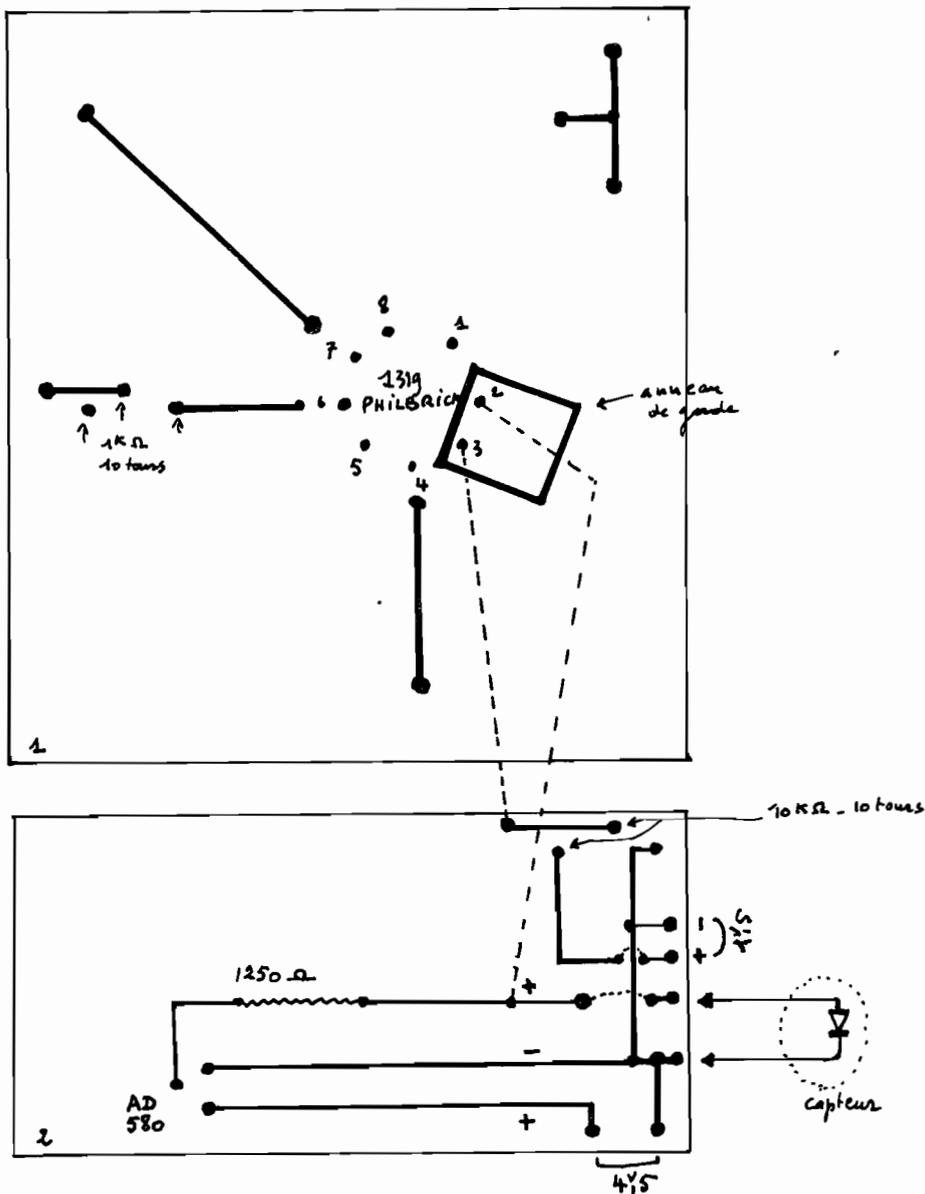


fig 8: schéma des circuits imprimés  
côté cuivre.  
échelle 1=1

L'amplificateur est du type opérationnel, modèle 1319 de Philbrick monté en grande résistance d'entrée.

L'alimentation de l'ensemble se fait avec des piles, la consommation étant très faible. L'appareil ne fonctionnant que pendant les mesures.

La sonde de température est une diode silicium type 1N4148, montée dans un tube de verre scellé, les sorties isolées avec de l'Araldite. La réponse est aussi rapide que celle d'un thermomètre. La liaison en montage se fait par câble blindé 2 conducteurs.

La source de courant constant est établie pour délivrer environ 2 mA dans la diode. Le circuit AD 580 est alimenté en 4,5 V.

La diode ayant dans ces conditions une d.d.p., à zéro degré, d'environ 650 mV il est nécessaire de monter une tension d'opposition pour annuler le signal. C'est l'objet du petit potentiomètre de 10 K $\Omega$ , alimenté sous 1,5 V. Cette source consomme 150  $\mu$ A et est stable longtemps.

Un potentiomètre de 1 K $\Omega$  utilisé en résistance variable permet d'ajuster le courant de sortie de l'amplificateur, pour avoir une déviation complète de l'enregistreur pour 50°.

#### Réglage du montage

Immerger le capteur dans de la glace fondante, régler l'enregistreur à zéro degré en agissant sur le potentiomètre d'opposition de 10 K $\Omega$ .

Mettre le capteur dans un bain thermostaté à 50° et régler l'enregistreur en pleine déviation, en agissant sur la résistance variable qui se trouve en sortie de l'amplificateur (1 K $\Omega$ ).

Les contrôles périodiques consisteront à retoucher le zéro en immergeant le capteur dans la glace fondante et en agissant sur le potentiomètre de 10 K $\Omega$ .

La stabilité du montage est très bonne, et ces contrôles peuvent se faire tous les mois.

Bien entendu surveiller la tension des piles, qui doivent cependant durer quelques mois.

Comme nous utilisons le même enregistreur que celui des électrodes l'enregistrement de la température se fera après interrogation de la troisième électrode pendant le temps nécessaire au retour à zéro des potentiomètres.

#### Commande de l'automatisme des opérations (photos 4 et 5)

Les opérations sont mises en route, successivement par les contacts d'un programmeur, d'un cycle de 1 heure, lui-même commandé par un deuxième programmeur d'un cycle de 24 heures, ce deuxième programmeur pourra déclencher le programmeur de 1 heure, soit toutes les heures, soit toutes les 6 heures, 12 heures, 18 heures ou 24 heures, selon les besoins.

Le programmeur de 1 heure est prévu pour "interroger" successivement 5 électrodes.

Pour chaque interrogation le cycle des opérations est le même, les différentes opérations étant commandées par des relais 12 volts, type ordinaire, 4 R.T. (voir schéma de câblage).

Le détecteur d'équilibre de l'opposition est un galvanomètre à 2 points de consigne (METRIX 80P2C) d'une sensibilité au seuil de  $0,1\mu A$ , la déviation de l'aiguille à droite du 0 met en route le potentiomètre d'opposition, et le potentiomètre répéteur, de même la déviation à gauche, mais en commandant cette fois le changement des polarités du potentiomètre d'opposition.

Le programmeur est arrêté pendant les mesures, celles-ci faites il se remet en marche et un peu plus tard commande le moteur de remise à zéro des potentiomètres et l'annulation du signal d'auto-excitation du changement de polarité.

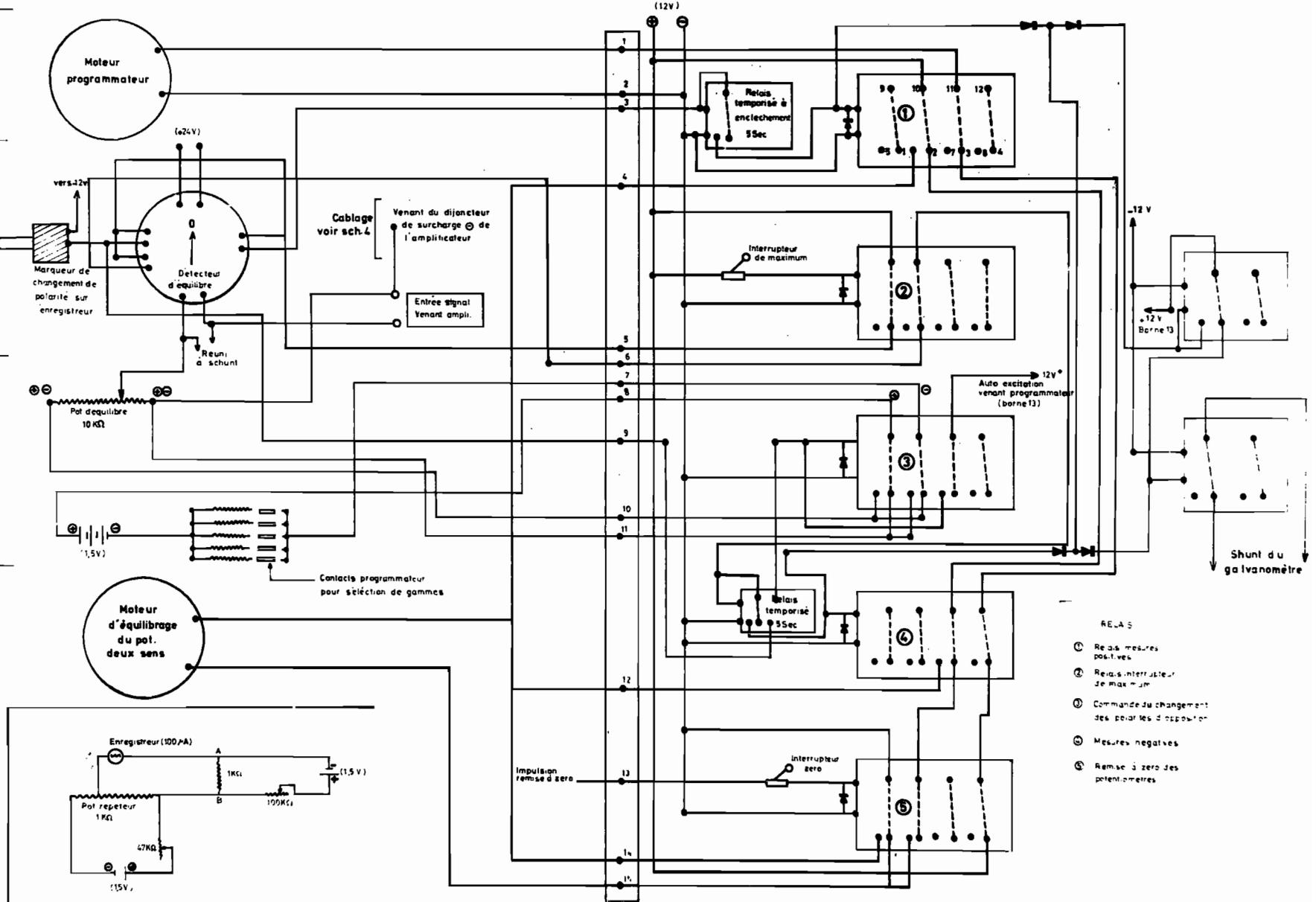
Le réglage des cames commandant les circuits d'électrodes est tel qu'après équilibrage de la mesure il s'écoule environ 3 minutes avant la remise à zéro, ce temps permet le tracé sur l'enregistreur d'un trait vertical de 6 mm.

Les tracés successifs sont séparés d'environ 7 à 8 mm les uns des autres ce qui permet de différencier les signaux. Un espace plus grand sépare les cycles complets d'interrogation.

Cablage du program. voir schéma 1 et 1 bis

Cablage du détecteur voir schéma 2  
Détecteur

Ensemble potentiomètre voir schéma 3



Potentiomètre répéteur

Cablage de la commande des automatismes

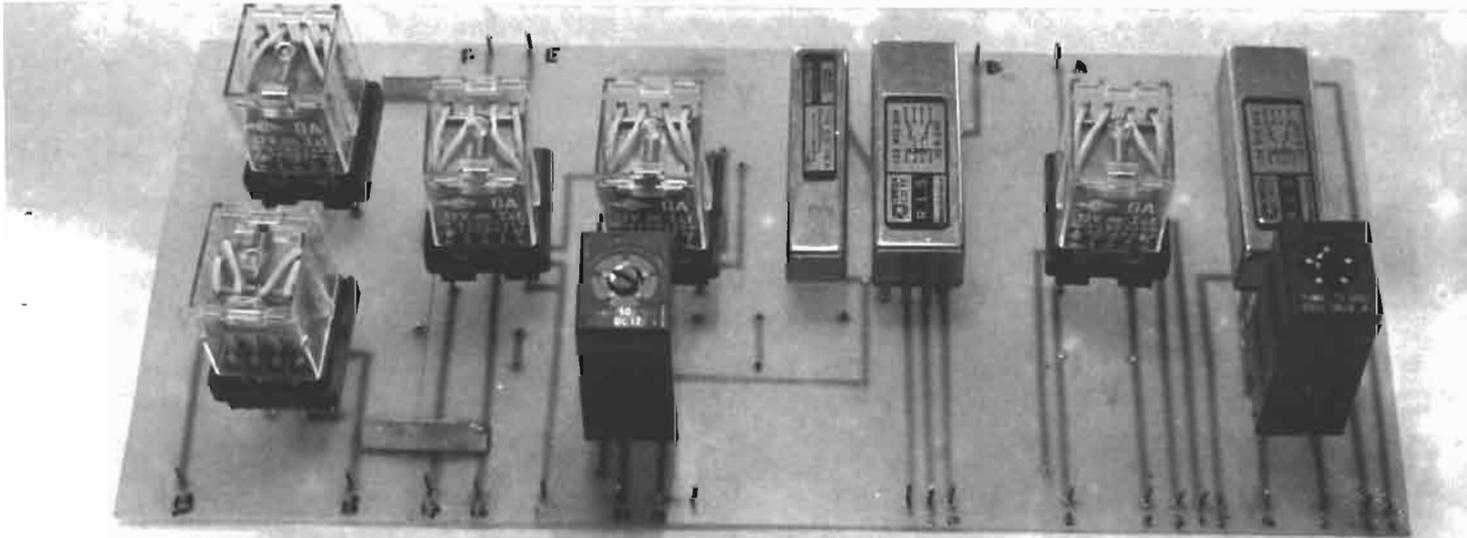
Ph. 4 :

vue d'ensemble, les relais des commandes sont visibles ; en haut, à gauche se trouve le galvanomètre de zéro ; en bas, on peut voir une partie des potentiomètres et le moteur de commande.

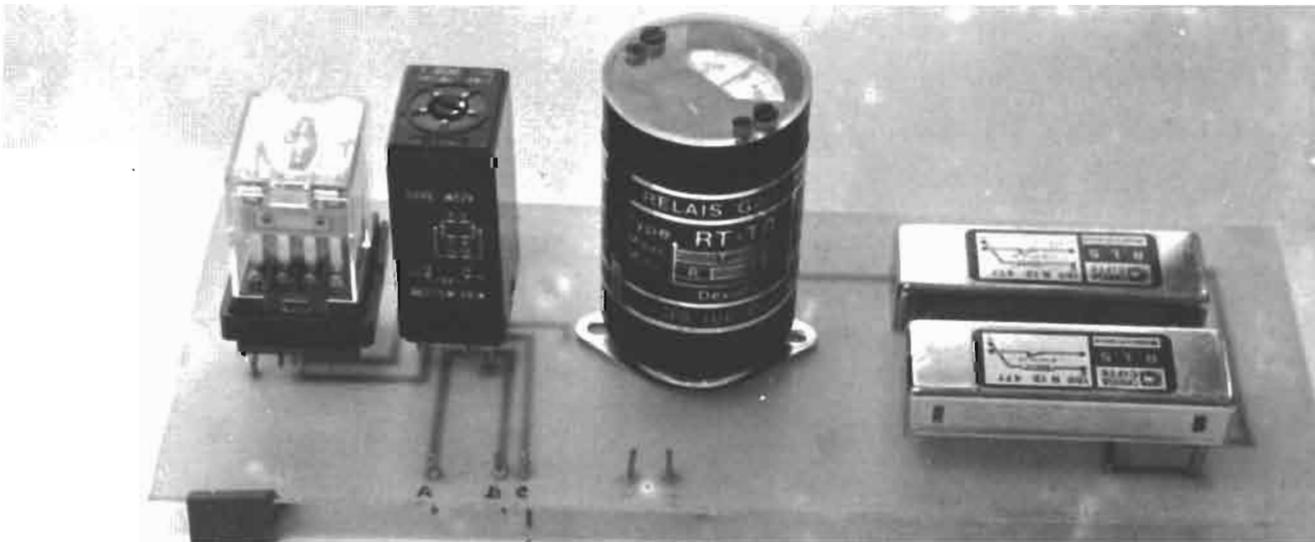


Ph. 5 :

vue d'une plaquette avec les relais. Ici il s'agit de l'ensemble de commande des électrodes



Ph. 6 : câblage sur plaquette du disjoncteur de sécurité



Les différentes cames du programmeur commandent les opérations suivantes :

- mise en service du système détecteur de liquide
- mise en marche de l'amplificateur et de l'enregistreur
- pompage du liquide à examiner (eau de drainage)
- injection des réactifs tampon de conductivité
- mise en fonctionnement de la première électrode
- retour à zéro
- mise en fonctionnement de la 2ème électrode
- retour à zéro
- après la 3ème électrode, mesure de la température
- .... Jusqu'à la cinquième
- auto arrêt général.

Le programmeur ne pourra se remettre en fonctionnement que s'il reçoit une nouvelle impulsion du programmeur 24 heures, sauf si les branchements sont tels que le fonctionnement est continu.

Les circuits annexes (pour des sols les circuits de pompage sont déconnectés)

L'appareil est destiné à travailler sur des prélèvements liquides, il est donc nécessaire de prévoir un ensemble détectant préalablement si il y a du liquide ou pas, dans la négative, les opérations sont bloquées, le programmeur effectue son cycle, sans mesure, un système annexe repère dans le temps cette opération nulle.

D'autre part il est possible que pour une raison, normale ou accidentelle (électrode brisée), le signal arrivant au détecteur d'équilibre soit très fort, ce qui aurait pour conséquence de détériorer cet appareil fragile, ou sans cela rendre la compensation potentiométrique impossible et sans intérêt. Un système interroge préalablement le signal en le dérivant sur un détecteur à seuil, si le signal est normal, l'opération se poursuit et celui-ci est appliqué normalement au système de mesure, dans le cas contraire (signal trop fort) le disjoncteur "verrouille" la suite des opérations, la mesure ne se fait pas, ce n'est que lors de l'interrogation de l'électrode suivante que le système réarmé est à nouveau prêt à fonctionner (photo 6).

### Remarques sur les caractéristiques de montage

L'ensemble que nous avons réalisé se caractérise par l'utilisation de nombreux relais, ces relais sont générateurs de "bruits" d'autant plus néfastes que le montage de mesure est très sensible par le fait que l'amplificateur est à très grande résistance d'entrée, les perturbations sont particulièrement nuisibles pour le détecteur d'équilibre qui au voisinage du zéro réagit à des courants inférieurs à  $10^{-7}$  A, les parasites apparaissent lors de la commande arrêtant les potentiomètres à l'équilibre des tensions et enclenchent une oscillation autour du point zéro, ce phénomène est d'ailleurs courant dans tous les montages "détecteurs de zéro", nous avons, dans notre cas, résolu en partie ce problème en faisant commander les relais de mesure (relais 1 et 4) par des relais retardés à l'enclenchement, il s'en suit qu'il n'y a plus coïncidence entre la déviation de l'aiguille à l'arrivée du signal et le démarrage des potentiomètres, d'autre part à la détection de l'équilibre (Point zéro du détecteur) la perturbation est "étouffée" par le relais retard qui évite une remise en route intempestive des potentiomètres et d'autre part par un montage supplémentaire court-circuitant les bornes d'entrées du galvanomètre détecteur (les deux relais shunt commandés par les relais 1 et 4, sont alimentés entre des diodes anti-retour).

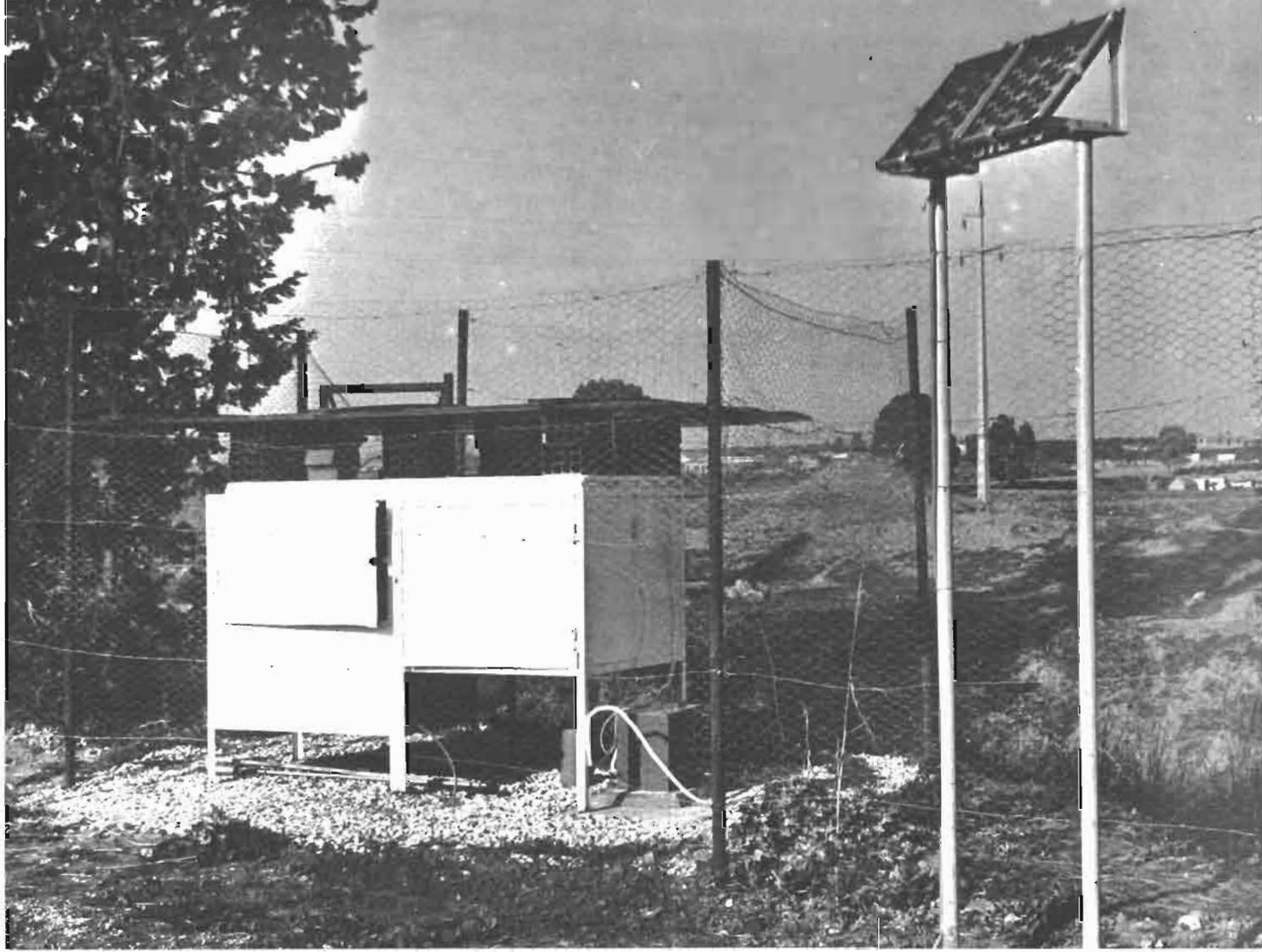
Bien entendu tous les relais sont munis de diodes.

### 1.5. - Alimentation en électricité

- L'amplificateur est alimenté séparément par des piles ordinaires de 4,5 volts montées en série (2 fois 3 piles). Depuis que nous avons commencé de fonctionner il semble (en employant le 1421 de Philbrick) que la tenue excède 2 à 3 mois, par sécurité nous n'attendons pas cette limite.

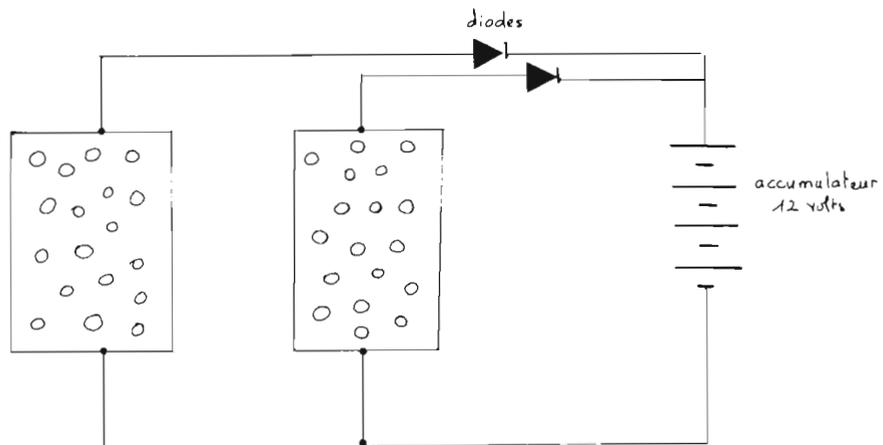
- Les circuits potentiométriques sont alimentés par des piles rondes de 1,5 volt, la tenue dépasse 5 mois de toute façon nous contrôlons régulièrement les potentiels aux bornes des circuits tests.

- Les circuits d'automatismes et de pompage (photo 7 et fig. 9) sont alimentés à partir de batteries d'accumulateur de 12 volts et 100 ampères/h. Les batteries ordinaires en plomb supportent difficilement des régimes de décharges et recharges successives, leur capacité diminue considérablement,



Ph. 7 : vue de l'installation de mesures à EL HABIBIA ,  
au premier plan les deux panneaux solaires.

Fig. 9 : schéma de branchement des deux modules  
RTC BP x 47 A



aussi nous les utilisons en charge constante assurée par 2 panneaux solaires BPX 47 A de la Société Radiotechnique. Ces panneaux sont disposés sur un support incliné à 50° sur l'horizontale et à 2m.50 du sol. Cette disposition favorise au mieux la conversion sous notre latitude. Les panneaux sont raccordés directement à la batterie à travers 2 diodes empêchant les retours de batterie vers les panneaux, la nuit notamment. Ces panneaux fournissent environ 20 watts.

## 2 - LES OPERATIONS DE FONCTIONNEMENT

### 2.1. - Le pompage et l'Injection des réactifs

Les mesures se faisant sur l'eau sortant des drainages il est nécessaire de prévoir un captage ne perturbant pas l'écoulement (fig. 10).

Le tube de sortie du drain ( $\varnothing$  160 mm environ) est prolongé par emboîtement par un tube plastique de 50 cm de long, muni en dessous d'une poche d'un volume d'environ 1 litre, cette poche est alimentée par de nombreuses perforations tapissant la base du tube, en même temps un écoulement est prévu à l'extrémité de la poche, écoulement réglé pour maintenir la poche pleine d'eau, mais permettant le renouvellement continu du liquide de la poche. Dans la poche plonge le tube d'aspiration de l'échantillon, de même, effleurant le niveau supérieur de la poche le détecteur de présence du liquide.

Ce montage assure un prélèvement toujours représentatif de l'écoulement à l'instant immédiat.

Le pompage, déclenché par le programmeur, est réglé par un relais temporisé assurant le volume nécessaire au nettoyage des cuves contenant les électrodes et le volume d'échantillon. Le pompage n'a lieu que si le niveau liquide est suffisant pour assurer 5 mesures différentes ( $\neq$  de 800 cm<sup>3</sup>).

L'injection du réactif devant ajuster le pH favorable et tamponner la valeur de la conductivité se fait à l'aide d'une petite pompe peristaltique actionnée par un moteur réducteur. Le pompage est déclenché par une came de programmeur et le volume réglé par un relais minuteur.

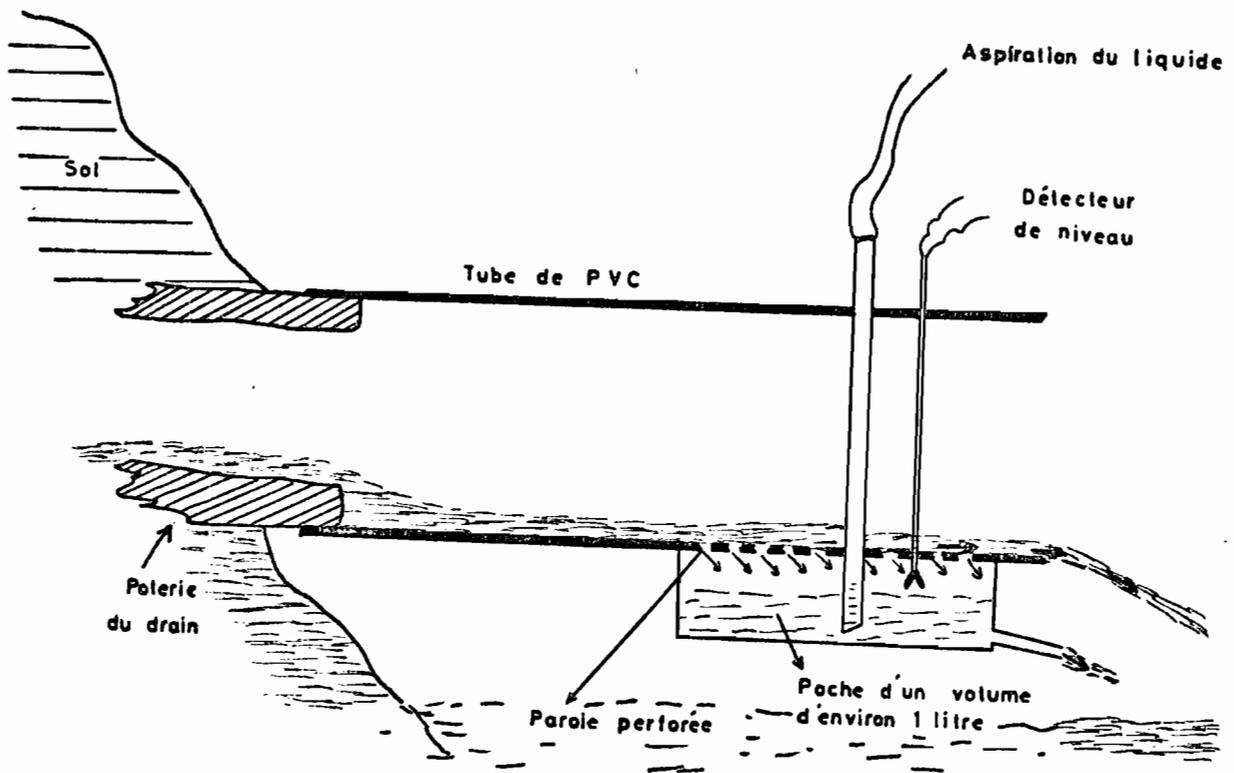
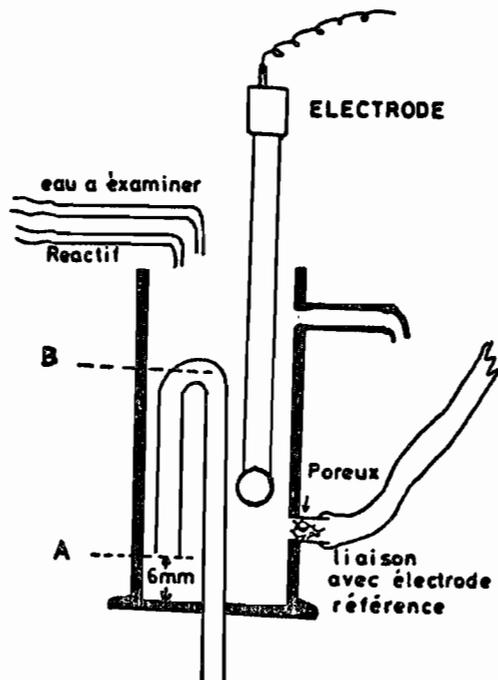


fig 10: Systeme de captage de l'eau du drain



Cuve de mesure

A Réglage pour residu 5 cm<sup>3</sup>

B Volume de siphonnage à 40 cm<sup>3</sup>

fig 11

## 2.2. - Les cuves de mesure (fig. 11)

Sont faites en tube transparent de polyéthylène d'un diamètre intérieur de 33 mm, d'une hauteur de 90 mm.

A la base se trouve le tube poreux réuni à un réservoir de solution de nitrate de potassium à 20 %, assurant le contact avec l'électrode de référence.

Le fond collé à l'araldite est traversé par un tube de verre de diamètre 6 mm qui est la branche d'un siphon dont l'ouverture au-dessus du fond est réglée de telle sorte qu'après siphonnage il reste une quantité de liquide correspondant au volume choisi de la prise d'essai (dans notre cas 5 cm<sup>3</sup>).

L'amorçage du siphon se fait pour un volume supérieur à 40 cm<sup>3</sup>. Ce type de montage offre l'avantage d'assurer le rinçage énergique par la turbulence et le siphonnage continu de l'excès de liquide à examiner envoyé par la pompe (environ 150 à 200 cm<sup>3</sup>) puis à l'arrêt de l'alimentation le dernier siphonnage maintient un volume liquide correspondant à la prise d'essai souhaitée.

Le réactif de complément (35 cm<sup>3</sup>) est ensuite envoyé par action de la pompe.

Sous chaque cuve se trouve un petit moteur assurant l'agitation par l'intermédiaire d'un barreau aimanté, avec une vitesse de 250 tours/minute.

### NOTE

Nous n'avons pas voulu alourdir ce texte en y mettant les nombreux schémas des câblages permettant de réaliser les circuits imprimés, cependant nous pourrions les fournir à ceux qui seraient intéressés à réaliser cet ensemble de mesure.

## B I B L I O G R A P H I E

---

- Notices techniques sur les amplificateurs TELEDYNE-PHILBRICK-ANALOG-DEVICES
- DUGEHAULT - Applications pratiques et cours pratique d'utilisation de l'amplificateur opérationnel (2 volumes).  
E.T.S.F. 2 à 12 rue de Bellevue 75019 Paris.
- STROBEL 1962 - Les méthodes physiques en chimie - Masson éditeur Paris.
- Bulletin d'application AN-23 de Teledyne-Philbrick - Juin 1976.  
Guide pour les amplificateurs opérationnels.
- R. DAMAYE - L'amplificateur opérationnel, principes et applications.  
Editions Radio-Paris 2ème édition 1974.
- C. POLGAR - Technique de l'emploi des relais dans les machines automatiques.  
Eyrolles éditeur Paris 1968.
- F. JUSTER - Les cellules solaires.  
E.T.S.F. n° 14 - 1978.
- R.M. MARSTON - 110 études pratiques de l'amplificateur opérationnel.  
Eyrolles éditeur Paris 1977.
- J.Y. LOYER et J. SUSINI - Réalisation et utilisation d'un ensemble automatique pour la mesure en continu et "in situ" du pH, du Eh et du pNa du sol.  
Cahiers de Pédologie ORSTOM. Vol. XVI n° 4 1978
- P.L. BAILEY - Analysis with ion selective electrodes.  
Ed. Heyden London 1976.
- JIRI KORYTA - Ion selective electrodes.  
Cambridge monographs in Physical chemistry 2 - Cambridge University press 1975.
- SUSINI J. et ROUAULT M. - Essais d'utilisation en analyse des sols salés d'une électrode sensible aux ions sodium.  
Cahiers de Pédologie ORSTOM vol. X, n° 3 - 1972.