

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

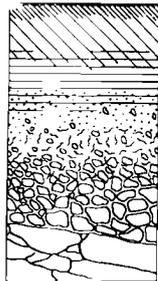
Direction des Ressources en Eau et en Sol

Division des Sols

Convention D. R. E. S. - O. R. S. T. O. M.

Action de type B

**Réalisation d'un ensemble automatique pour la  
mesure en continu et "in situ" du pH, du  
Eh et du pNa du Sol**



**J. SUSINI** Chimiste O.R.S.T.O.M

**J. Y. LOYER** Pédologue O.R.S.T.O.M.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Mission en Tunisie



AVRIL 1977

REPUBLIQUE TUNISIENNE  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE  
DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU  
ET EN SOLS

---

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
OUTRE-MER  
MISSION EN TUNISIE

---

REALISATION D'UN ENSEMBLE AUTOMATIQUE  
POUR LA MESURE EN CONTINU ET "IN SITU"  
du pH, du Eh et du pNa du sol

---

1ère Partie : Le dispositif de mesure

J. SUSINI, Chimiste ORSTOM

J.Y. LOYER, Pédologue ORSTOM

MAI 1977

- S O M M A I R E -

- INTRODUCTION
- DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE MESURE
  - L'amplificateur
  - L'enregistreur
  - Les électrodes
- EXPERIMENTATION AU LABORATOIRE SUR MONOLITHE DE SOL
  - équipement du monolithe
  - comportement des électrodes
- UTILISATION SUR LE TERRAIN
  - Le sol
  - Les liaisons électriques
  - La programmation
  - Le fonctionnement
- CONCLUSION

## INTRODUCTION

Quand il s'agit d'essayer d'expliquer un certain nombre de phénomènes de transformation dans le sol, c'est le cas pour les pH et les Eh, les mesures habituelles après prélèvement, même celles dites "in situ" ne nous ont apporté que peu d'informations ; d'ailleurs la dispersion des commentaires dans la littérature existante reflète bien cette insuffisance, d'où l'idée, fort simple que seules des mesures en continu en place dans le sol nous permettraient peut-être de "voir" la chaîne des phénomènes, chaque maillon ayant son importance.

Les moyens technologiques actuels permettent de résoudre ce problème (sur le plan de l'appareillage). Mais nous avons voulu que cet outil ne soit pas une charge tant par son prix, que par sa maintenance délicate qui nous échapperait. C'est dans cet esprit que nous avons entrepris la réalisation de l'ensemble de mesure décrit ici. Ce montage est suffisamment polyvalent pour permettre, par extension, l'utilisation d'autres capteurs, notamment, au fur et à mesure de leur mise au point, d'électrodes spécifiques d'ions ; les mesures s'étendraient ainsi aux problèmes liés à la salure des sols.

Un premier travail en laboratoire (LOYER-SUSINI 1976) nous avait rassuré quand à la tenue des capteurs dans un sol gorgé d'eau, le but du montage étant d'effectuer des mesures sur des sols hydromorphes. L'appareillage que nous décrivons ici est installé sur le terrain dans un sol hydromorphe à pseudogley du Nord de la Tunisie depuis le 9-2-1977. La présente note traite uniquement du dispositif mis au point, une seconde partie sera ultérieurement consacrée aux résultats obtenus.

# 1 - DESCRIPTION DU DISPOSITIF

## 1.1. - L'amplificateur

L'utilisation de capteurs à très forte résistance interne oblige à avoir recours à des amplificateurs ayant une résistance d'entrée d'au moins  $10^{12}\Omega$ , il est aussi souhaitable que le courant de mesure soit le plus faible possible. La technique des circuits intégrés à pratiquement résolu ce problème d'une façon élégante. Nous avons choisi un amplificateur opérationnel de marque anglaise (ANCOM LIMITED), modèle 15 A.7, prévu par le constructeur pour une application possible dans les mesures de pH.

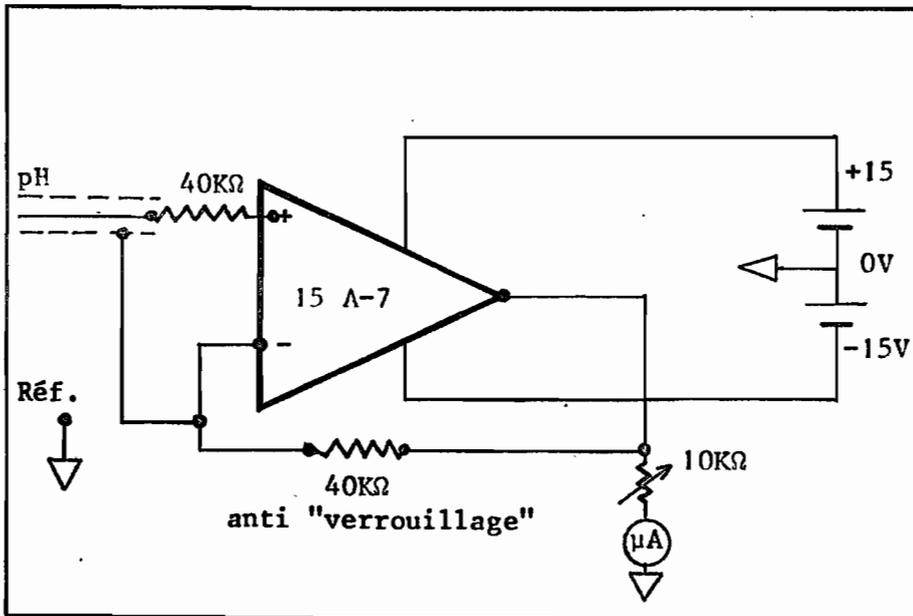


Fig. 1 : Schéma de principe

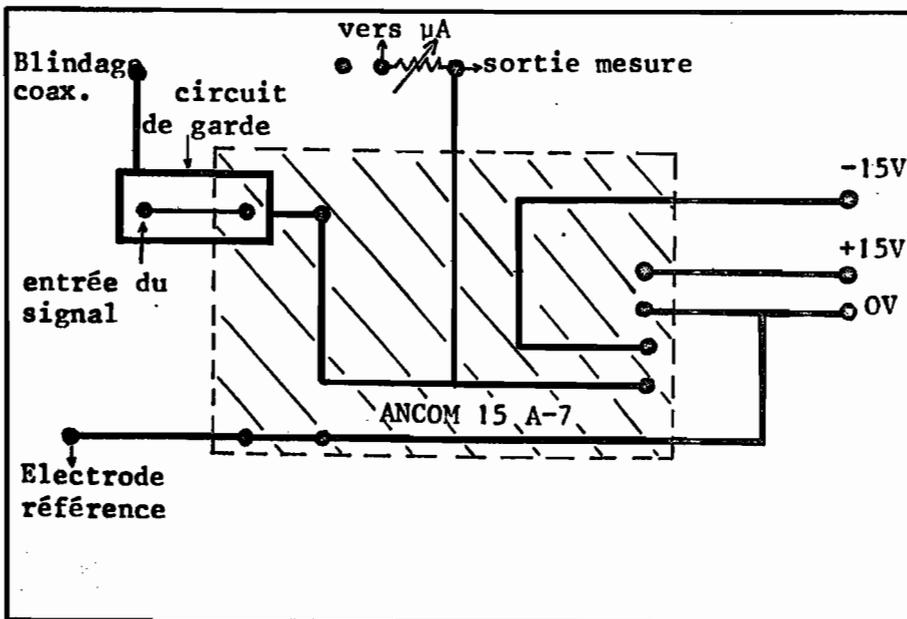


Fig. 2 : Schéma du circuit imprimé (échelle 1/1)

### Caractéristiques du 15 A.7

- tension d'alimentation  $\pm 15$  volts, avec un courant de repos de l'ordre de 7 mA
- influence de la température  $100\mu\text{V}/\text{C}^\circ$
- résistance d'entrée  $10^{14}$  ohms
- courant de mesure 1 pA
- tension de sortie  $\pm 10$  volts  
courant de sortie  $\pm 10$  mA  
courant parasite 20 p.p. (en  $\mu\text{V}$ ) pour un courant de  $10^{-14}$  A

Cet amplificateur est un modèle classique à shopper.

S'il existe actuellement des modèles plus élaborés, aux performances plus sévères, leur emploi ne se légitime pas pour notre utilisation.

Les capteurs (pH, pX) développent des f.é.m. importantes mais avec des résistances de source très fortes; nous avons adopté un montage transformateur d'impédance, sans inversion ni gain de tension (suiveur) malgré le risque de "verrouillage" de la tension de sortie (latch-up) dont nous nous sommes protégés avec une résistance de  $40\text{K}\Omega$  sur la contre réaction et  $40\text{K}\Omega$  sur le circuit d'entrée (fig.1 et 2) dans ces conditions la résistance d'entrée de l'amplificateur est voisine de  $10^{14}\Omega$ ; l'utilisation d'amplificateur ayant une résistance aussi importante exige de très grandes précautions d'isolement (isolants à base de Téflon). Le module amplificateur est monté sur un circuit imprimé verre-epoxi; l'ensemble disposé dans un coffret en cuivre assurant le blindage - noter que le module n'est pas soudé sur le circuit mais emboîté sur des traversées Téflon - Un anneau de garde important entoure l'entrée de la borne "chaude", cet anneau réunit le blindage du coaxial à la sortie. Cette précaution classique permet d'éliminer les courants parasites véhiculés par le blindage du câble coaxial - sur la sortie se trouve une résistance variable pour adapter le courant aux valeurs de l'appareil de mesure - une tension d'opposition est appliquée en sortie afin de pouvoir décaler l'origine (fig.3). Cette tension est fournie par une pile de 1,5 V et un potentiomètre 10 tours de  $1000\Omega$ . La stabilité s'est avérée suffisante, il faut néanmoins surveiller l'usure de cette pile; (dans un prochain montage nous comptons utiliser un circuit intégré régulateur de tension AD580 Analog-Devices, alimenté par une pile de 4,5V). L'amplificateur

est alimenté par 6 piles de 4,5V montées en série, avec un point 0 médian.

Nous remercions ici particulièrement C. ZARDINI, Professeur d'électronique à la Faculté des Sciences de Tunis, dont l'aide nous a été très utile dans la mise au point du circuit amplificateur.

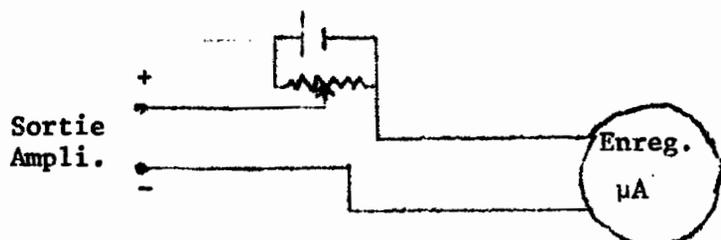


Fig. 3 - Schéma de la sortie d'amplificateur

### 1.2. - L'enregistreur (\*)

Il s'agit d'un appareil de type micro-ampèremètre à cadre mobile, de déviation totale de l'échelle pour  $100\mu\text{A}$  et de résistance de  $1000\Omega$ , avec un système d'enregistrement par frappe de l'aiguille sur un papier auto-inscripteur. La largeur du diagramme est de 50 mm, le défilement du papier "vitesse fixe", environ 1 mm à la minute, suffit à donner des traits verticaux visibles. Cet appareil très simple et bon marché est néanmoins remarquablement fiable, précis et fidèle, il fonctionne sur 12 volts continus, avec nos réglages 10 mm représentent 100 mV, on apprécie très bien 5mV. En modifiant la résistance disposée sur la sortie de l'amplificateur on peut (pour les électrodes spécifiques) avoir 50 mm pour 100 mV.

### 1.3. - Les électrodes

#### - L'électrode de platine

Elle est constituée par un fil de platine de 1 mm de diamètre d'une longueur d'environ 15 à 20 mm. Elle est fixée dans un tube de verre rétréci à son extrémité, la fixation se faisant avec de l'araldite. Le contact platine-fil électrique se fait avec du mercure.

(\*) Esterline Angus (vente en France par INDELCO)

Cette électrode a été soigneusement polie avec de la terre d'infusoires et contrôlée par rapport à un tampon très stable : tampon de MICHAELIS - solution 0,003M de ferrocyanure de potassium et 0,003M de ferricyanure de potassium dans du chlorure de potassium 0,1M. A 25° sa valeur est de +0,430 volt par rapport à l'électrode d'hydrogène.

- L'électrode de sodium

Cette électrode sensible aux ions sodium est du type à boule de verre (1). Sa réponse est sensiblement de 55mV par pNa, ses conditions d'emploi sont comme pour les autres électrodes  $pH \gg pNa + 3$ . Un exemplaire d'une électrode identique a été maintenue 1 an dans un monolithe de sol, et les contrôles ont montré qu'elle avait conservé ses propriétés quoiqu'elle soit devenue un peu plus inerte.

- L'électrode de pH

Type classique en verre, il s'agit cependant d'un modèle dit à haute solidité (2) avec remplissage interne donnant une f.é.m. 0 pour un pH de 7. En réalité il existe toujours une légère différence en plus ou en moins par rapport à cette valeur (de l'ordre de 10-20 mV) qu'il faut prévoir de rattraper.

- L'électrode de référence

Du type calomel, KCl saturé qui est une des formes les plus stables. Elle est du modèle à très faible diffusion - à 25° sa f.é.m. par rapport à l'électrode de H<sub>2</sub>, vaut + 245 mV.

(1) modèle METROHM EA 109

(2) modèle TACUSSEL

## 2 - EXPERIMENTATION AU LABORATOIRE SUR MONOLITHE DE SOL

Afin de s'assurer de la fiabilité de l'appareillage de mesure et de la stabilité des capteurs, nous avons expérimenté pendant quatre mois au laboratoire l'ensemble automatique sur un monolithe de sol hydromorphe prélevé en Tunisie septentrionale et que nous avons soumis à un régime d'humectation et de dessiccation.

### 2.1. - Equipement du monolithe

Le monolithe est constitué par un parallélépipède en armodur dont une face est transparente (voir photo N° 1), il a 1 m de haut avec une section carrée de 0,30 cm.

Le sol a été prélevé en place, taillé à la dimension de la caisse, il repose au fond sur un lit de cailloux permettant un drainage.

- Sur une des faces latérales il y a 3 trous de 40 mm de  $\varnothing$  disposés à 3 niveaux à égale distance, ces trous bouchés serviront à faire des prélèvements de contrôle et des mesures.
- Sur l'autre face latérale se trouvent en haut et en bas 2 trous de 40 mm de  $\varnothing$  par où ont été introduits des blocs de plâtre pour suivre l'humidité et un trou central de 10 mm de  $\varnothing$  pour introduction de la sonde de température.
- Sur la face avant se trouvent fixés, à trois niveaux sensiblement à égale distance, les capteurs pour pH, électrode de Pt, électrode de référence, et pour le niveau du bas une électrode de verre spécifique des ions sodium (fig. 4).

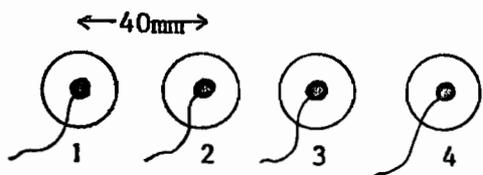


Fig. 4 - Disposition des capteurs

- 1 Electrode de platine
- 2 Electrode référence
- 3 Electrode de pH
- 4 Electrode de sodium

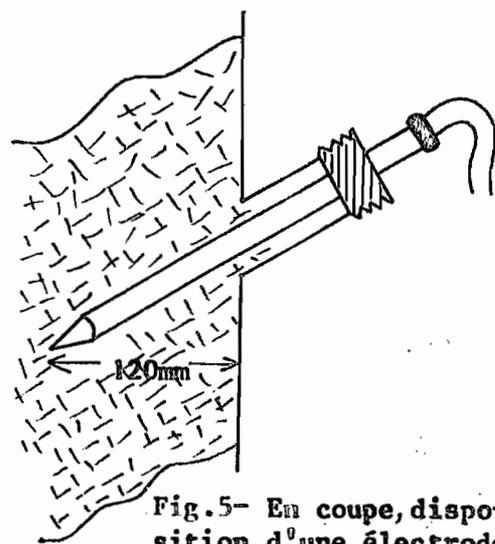


Fig. 5- En coupe, disposition d'une électrode

Les capteurs ont été fixés par l'intermédiaire d'un raccord coulissant à vis Sovirel ce qui permet ainsi de pouvoir les remplacer le cas échéant , et de faire des contrôles. La partie active des capteurs se trouve disposée à peu près au milieu de la masse du monolithe.

Un pré-trou a été fait, l'électrode mise en place et l'intervalle libre comblé avec une bouillie de la terre retirée lors de la confection du trou.

Les capteurs sont tous en position légèrement inclinée vers le bas afin que les liquides de remplissage des électrodes soient bien au contact (fig. N° 5) avec le contact intérieur.

A chaque niveau se trouve un tube de verre, terminé par un poreux de diffusion assurant par l'intermédiaire d'une solution 3M de KCl, le contact avec l'électrode de référence commune aux trois niveaux.

Les capteurs sont réunis à l'amplificateur par des câbles blindés. Le signal provenant de l'amplificateur est envoyé à un micro-ampèremètre enregistreur.

"L'interrogation" des électrodes se fait selon un rythme choisi par l'intermédiaire d'un programmeur et fonction du type de traitement auquel on soumet le monolithe.

## 2.2. - Comportement des électrodes

pH : Après 2 mois de fonctionnement nous avons commencé des vérifications en débranchant les électrodes du système d'enregistrement et en les connectant à un millivoltmètre extérieur. Il y avait entre les 2 méthodes des différences de 0,5 unité pH au maximum. Nous nous sommes aperçus que ces différences provenaient de la dérive du décaleur d'origine dont la pile avait faibli.

Certaines valeurs, horizon supérieur et milieu, nous ont paru "anormales" (supérieures à 7). Nous avons ouvert les trous latéraux et enfoncé des électrodes neuves les mesures se faisant avec un appareil indépendant du système d'enregistrement; par exemple pour le milieu nous avons trouvé 5,6 au lieu de 7,6 8, enregistré. Les électrodes en place ont alors été sorties, contrôlées, reconnues bonnes, remises en place en les enfonçant un peu plus, nous avons alors trouvé, comme pour les trous latéraux, de même niveau, la valeur 5,6. Cette anomalie était due à un défaut de contact de l'électrode avec le sol du fait d'un léger

retrait dû à la dessiccation. C'est un point important à surveiller.

Des expériences de réhumidification après un long temps sec, nous ont montré que les électrodes suivaient bien les variations et vite.

Eh : Les mêmes vérifications ont été faites, et à part le phénomène de dérive du décaleur d'origine, les valeurs enregistrées et mesurées sur un appareil indépendant étaient identiques.

Les mesures faites sur les trous latéraux étaient également du même ordre, mais longues à s'établir, ce qui met en évidence l'extrême difficulté d'avoir des mesures comparables lors de prospection sur le terrain où les mesures sont faites rapidement.

pNa : Nos informations sont très incomplètes et ne se sont bornées qu'à vérifier la tenue de l'électrode avec un long temps d'enfouissement.

#### Arrêt de l'expérience

Après 4 mois dans le sol les électrodes ont été sorties, et chacune contrôlée soigneusement dans des tampons connus.

Les électrodes de pH - Eh et pNa avaient conservé parfaitement leurs caractéristiques de départ, avec cependant une certaine inertie de réponse pour l'électrode de pNa (mais il s'agissait d'une électrode ancienne au départ).

Après cette expérimentation l'ensemble de mesure s'est donc avéré fiable et prêt à être transféré sur le terrain.

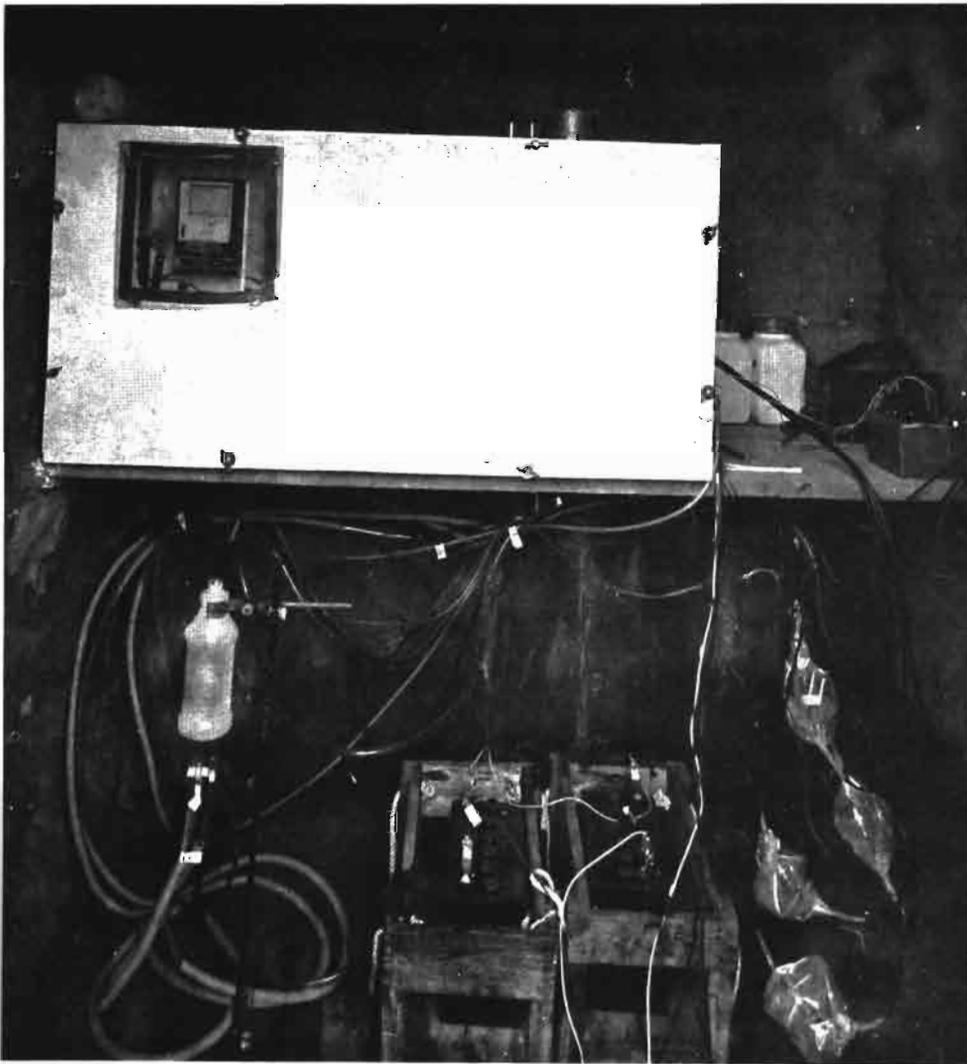


Photo n° 2 - Vue  
générale du  
dispositif

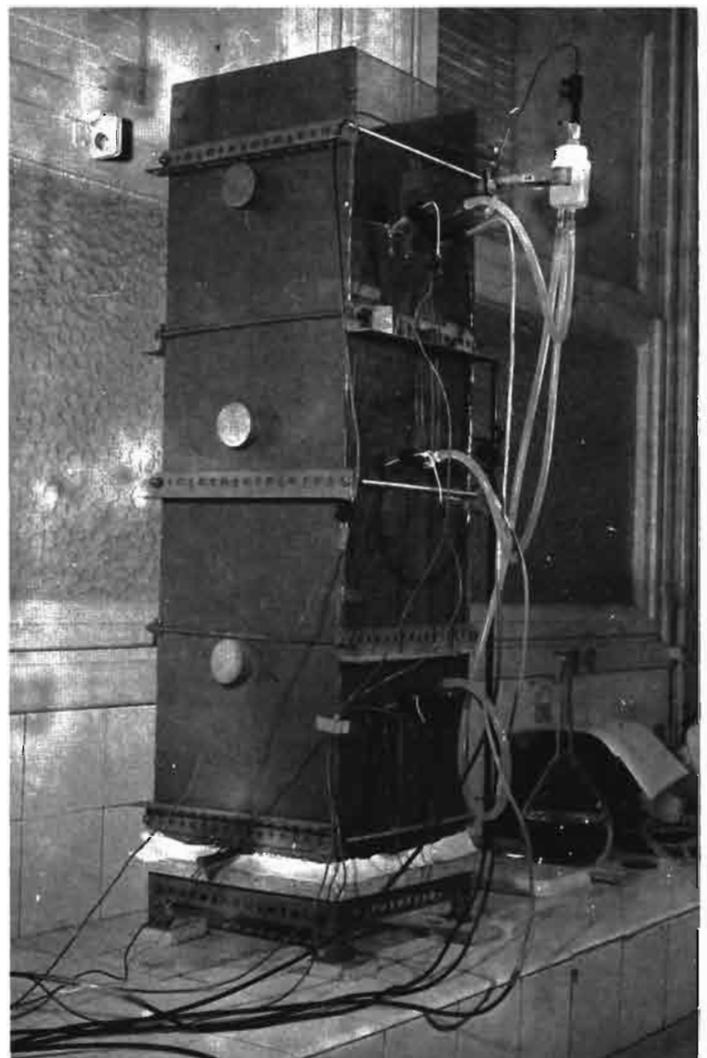


Photo n° 1  
Monolithe expérimental  
(100 x 40 cm)

### 3 - UTILISATION SUR LE TERRAIN

La station de mesure a été installée sur un sol hydromorphe à pseudogley salé en profondeur différencié sur alluvions acides en Tunisie septentrionale dont nous connaissons bien les caractéristiques générales mais dont les variations, liées à un régime d'hydromorphie très temporaire sont impossibles à saisir par les méthodes traditionnelles de mesure du pH et du Eh.

#### 3.1. - Le sol

Une fosse de deux mètres de profondeur a été ouverte dans le tiers inférieur d'un versant où le sol hydromorphe est particulièrement bien typé et les horizons parfaitement différenciés. Nous avons choisi trois niveaux d'interrogation du profil :

- niveau 1 - 40 cm : horizon A2 blanchi par la circulation de la nappe latérale sur le plancher argileux
- niveau 2 - 100 cm : horizon ocre (B)<sub>g21</sub> à pseudogley
- niveau 3 - 180 cm : l'horizon gleyifié (B)<sub>G</sub> très argileux situé au-dessus du matériau argileux originel.

Les électrodes ont été implantées à 20/25 cm de profondeur dans la paroi latérale du profil soumise à la dynamique latérale du versant et non perturbée par l'ouverture de la fosse, avec la même technique qu'au laboratoire.

#### 3.2. - Les liaisons électriques

- La réunion des électrodes de pH et pNa à l'amplificateur pose un problème sérieux d'isolement, notamment pour la partie enterrée ; le câble coaxial est protégé par un tube de polyvinyl, qui est lui-même protégé par un tube de PVC du type de ceux utilisés pour les installations électriques intégrées dans les maçonneries. La liaison avec l'électrode est soigneusement enduite d'araldite (fig. 6). On n'insistera jamais assez en disant que c'est dans cette partie du montage que se situent les plus grands risques de pannes ; le câble coaxial actuel est du type KX2, mais il est nécessaire de prévoir l'utilisation d'un câble anti-signal, type FILOTEX CAS 250-22 isolé Téflon, adapté à ce problème.

Les connexions sur le boîtier d'amplificateur sont du type U.H.F. riche en isolant Téflon.

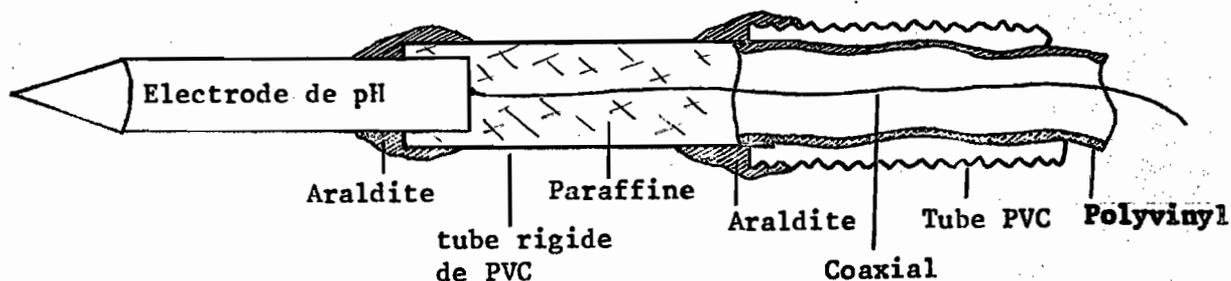


Fig. 6 Détail de la liaison des électrodes

- Les électrodes de platine sont réunies avec du fil électrique ordinaire, avec la même protection extérieure que le câble coaxial.

La liaison de l'électrode référence est faite avec du tube de polyvinyl de 10 mm de diamètre, valeur à respecter si l'on ne veut pas avoir d'interruption par des bulles. La diffusion au niveau du sol se fait par l'intermédiaire d'un tube de verre muni à son extrêmité d'un fin canal garni d'une mèche d'amiante.

L'installation terminée la tranchée est soigneusement rebouchée en respectant la succession des horizons de départ.

Les liaisons électriques ont de 4 à 6 m de long selon la profondeur d'interrogation. Le coffret contenant l'ensemble enregistreur, amplificateur, programmeur est installé dans un petit bâtiment de protection où aboutissent toutes les liaisons.

Le point qui doit être particulièrement soigné est celui de la fixation des électrodes, nous ne pouvons dire quelle sera la durée de la tenue dans un sol très humide. L'installation en place fonctionne sans anomalie depuis 4 mois.

### 3.3. - La programmation

Les électrodes sont interrogées automatiquement dans un ordre toujours identique en employant un programmeur à cames (1) réglables. Chaque interrogation dure 3 minutes, temps qui permet d'avoir un trait

(1) Modèle 220-1 de CROUZET-FRANCE.

d'enregistrement suffisamment visible.

Le schéma de programmation est le suivant :

$$pH_{(1)} - pH_{(2)} - pH_{(3)} - pNa_{(3)} - Eh_{(1)} - Eh_{(2)} - Eh_{(3)}$$

Un espace de temps est prévu entre chaque interrogation pour bien individualiser les traces sur l'enregistreur.

La mise en route de chaque cycle complet d'interrogation est commandée par un second programmeur, plus petit, permettant de choisir les interrogations toutes les heures, 6 heures, 12 heures ou 24 heures.

Les programmeurs fonctionnent avec des moteurs synchrones alimentés en 12 volts continu - synchronisé par un montage électronique.

Les contacts du programmeur commandent des relais à très haut isolement ( $>10^{14}\Omega$ ) qui coupent les circuits d'électrode. Le blindage du coaxial est également coupé.

L'enregistrement n'est mis sous tension que quelques minutes avant le début d'un cycle de mesure.

L'amplificateur reste constamment sous tension.

#### 3.4. - Le fonctionnement

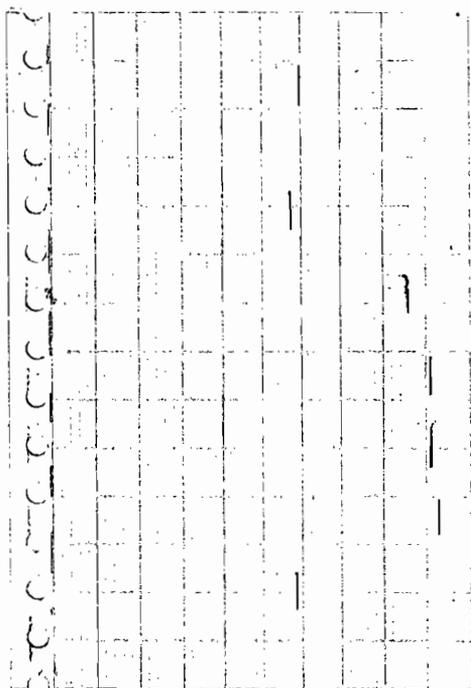


Fig.7 - Exemple d'enregistrement.

L'ensemble de l'appareillage : amplificateur, programmeur, enregistreur, est réuni dans un coffre en bois à fermeture étanche (photo N° 2).

L'hygrométrie est maintenue basse avec du silicagel. L'inscription des mesures est visible sans ouvrir la boîte. Les commandes électriques sont accessibles également à l'extérieur. L'alimentation électrique se fait à partir de deux accumulateurs de 12 volts.

L'ensemble ne nécessite pratiquement pas de surveillance, si ce n'est d'avoir à changer régulièrement les piles d'alimentation de l'amplificateur et de la tension d'opposition,

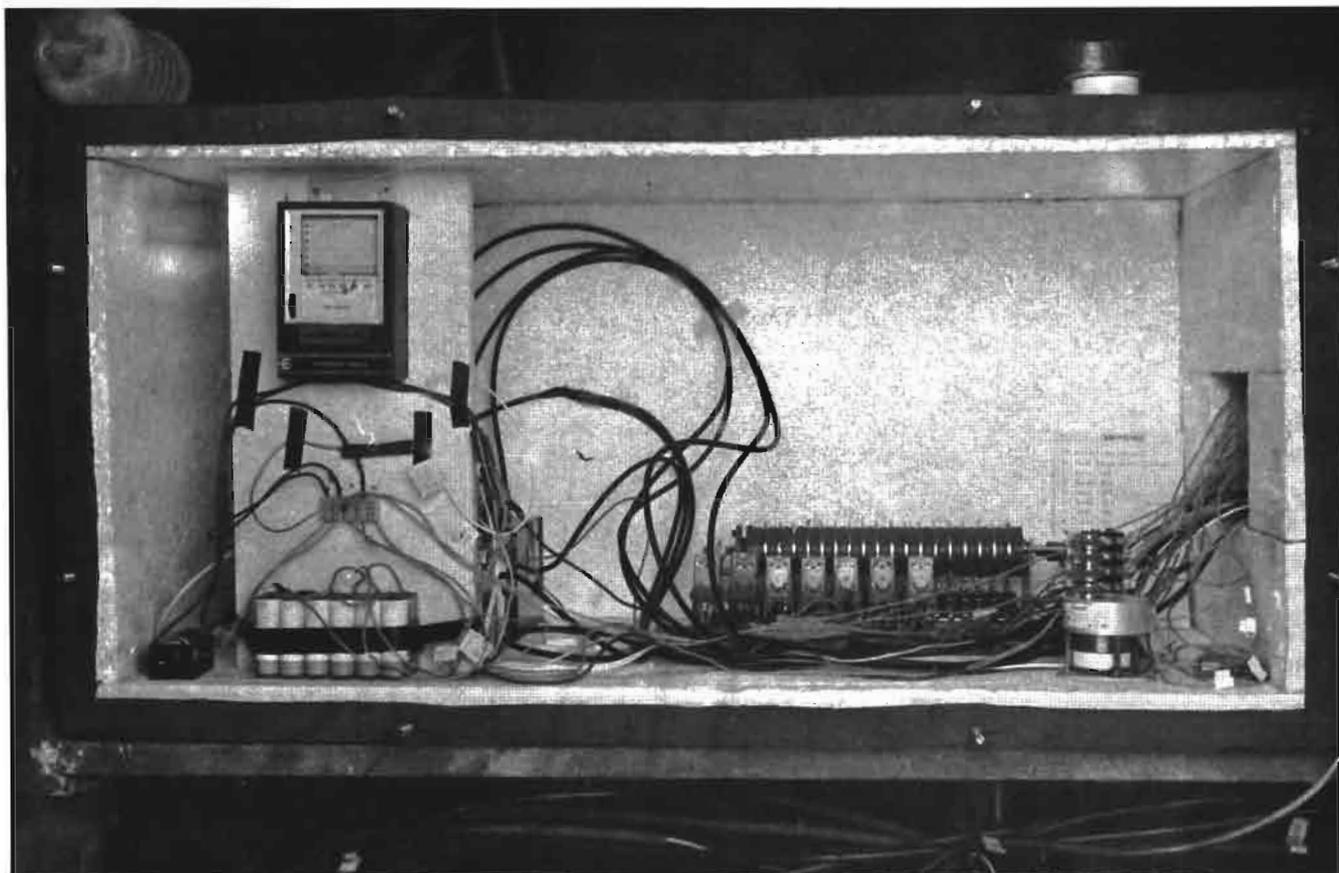


Photo n° 4 - Vue  
intérieure du  
dispositif



Photo n° 3 - Les  
électrodes en place

et de choisir la programmation.

Des contrôles sont fait régulièrement, ils consistent d'une part à déconnecter les électrodes au niveau de l'amplificateur et à connecter une électrode extérieure immergée dans un tampon pH 7 afin de vérifier que la position f.é.m. 0 n'a pas varié, d'autre part à contrôler la réponse des capteurs sur un appareil de mesure indépendant (pHmètre - millivoltmètre Portatest). Sur l'exemple d'enregistrement ci-dessus datant du 27.4.1977 on peut lire de haut en bas :

- le point zéro (pH 7) 0mV, calé à -300/+200 mV
- le pH (1) = - 10mV (pH 7,2)
- le pH (2) = + 130mV (pH 4,8)
- le pH (3) = + 165mV (pH 4,4)
- le pNa (3) = +165mV
- le Eh (1) = + 175mV (par rapport à l'électrode de référence)
- le Eh (2) = - 10mV " " "
- le Eh (3) >-300mV " " "

Signalons que le régime hydrique du sol étudié est régulièrement suivi à l'humidimètre à neutrons, type SOLO, du C.E.N. de Cadarache, au moyen d'un tube mis en place verticalement à 70 cm des capteurs.

Un relevé de température est également effectué manuellement grâce à un couple chromel alumel installé au niveau 1 du sol (40 cm).

## CONCLUSION

Nous n'ignorons pas que les électrodes ne sont pas utilisées dans des conditions parfaites mais c'est le lot inévitable de telles mesures.

La température n'est pas toujours connue avec certitude.

Il peut se former des dépôts sur les électrodes créant des micro-milieus.

Pour le type d'électrode sodium utilisé nous sommes, dans les conditions de pH de profondeur du sol étudié (pH=4), à la limite de réponse correcte avec une concentration de l'ordre de  $pNa = 1(10^{-1} Na)$ . A ces bas pH, les interférences peuvent devenir importantes de la part des ions  $H^+$ . Nous pensons utiliser des électrodes spécifiques répondant à des pH plus bas.

Néanmoins notre but n'est pas d'obtenir des valeurs absolues, mais beaucoup plus d'essayer de mettre en évidence des variations qui vont dans le sens des phénomènes.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BAILEY - 1976 - Analysis with ion-selective Electrodes.  
Heyden
- BARTHE M.L. et HEDIN G. - 1973 - Chimie analytique 1 - Méthodes électrochimiques. A.COLIN Paris.
- BOHN - 1968 - Electromotive force of inert electrodes in soil suspensions soil Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 32 page 211.
- BOHN - 1969 - The EMF of platinum electrodes in dilute solutions and its relations to soil pH. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 33 N° 5 page 639.
- DEIBNER et MOURGUES - 1967 - Etude des facteurs responsables de la rapidité de réponse et de la sensibilité des électrodes de platine. Chimie Analytique vol. 49 N° 5 Mai page 268.
- DUGEHAULT R. applications pratiques et cours pratiques d'utilisation de l'amplificateur opérationnel (2 volumes) E.T.S.F. 2 à 12 Rue de Bellevue 75019 PARIS.
- DURST - 1969 - Ion selective electrodes.  
U.S.A. National Bureau of Standards, Special publication 314.
- HEWLETT-PACKARD - Juin 1970 - Floating measurements and Guarding.
- LINEBARGER et coll. - 1975 - A new technique for rapid and continuous measurement of redox potentials.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 39 pages 375-377.
- LOYER J.Y. et SUSINI J. (1976) Effets de la dynamique de l'eau dans les sols à excès d'eau. Note N° 2 : Etude d'une méthodologie de mesure en continu sur monolithe de sol, du potentiel d'oxydo-réduction, du pH et de dosage du fer ferreux - ORSTOM DRES TUNIS.
- PUNGOR. E. - 1972 - Ions selective electrodes ADADE-MIAI KIADO-BUDAPEST 1973

- RODRIGO et POLLARD - 1962 - Changes in oxydation-Reduction potentials of two soils on submergence ; Influence of pH and organic matter. J. Sci. Food Agric. 13.Janvier.
- STROBEL - 1962 - Les méthodes physiques en chimie. Masson Editeur, Paris.
- ZOBELL - 1946 - Studies on Redox Potential of marine sediments. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists 30 pages 447-514.
- Notice technique de ANALOG-DEVICES sur l'amplificateur AD 515.
- Bulletin d'application AN-23 de ~~TELEDYNE-PHILBRICK~~ Juin 1976 - Guide pour les amplificateurs opérationnels.
- Notice technique de ANALOG-DEVICES sur le régulateur AD580.
- Notice technique de ANCON sur l'amplificateur 15 A.7 .
- Notice technique METROHM sur l'électrode EA 109 Na.