

La mesure *in situ* de paramètres physico-chimiques (pH et Eh) dans un sol sulfaté acide de Casamance (Sénégal)

Jean-Yves LE BRUSQ †, P. ZANTE (1), M. PERAUDEAU (2)

(1) Pédologues, ORSTOM, Dakar. (2) VSN : Hydrologue, ORSTOM, Dakar

RÉSUMÉ

Le prélèvement d'échantillons dans les sols à milieu engorgé s'accompagne de modifications physico-chimiques. Les mesures de pH et de Eh effectuées au laboratoire sont alors différentes des mesures de terrain. D'autre part le branchement momentané d'un millivoltmètre portable aux électrodes de mesure implantées en permanence dans le sol nous a donné des mesures instables dues à l'oxydation des connexions. La station de mesure utilisée, installée sur un sol sulfaté acide à jarosite, est constituée d'un millivoltmètre branché en permanence aux électrodes situées à 30 et à 60 cm de profondeur. L'étude a montré qu'un seul pont salin peut être utilisé pour plusieurs électrodes. Au cours de la submersion de saison des pluies, à 30 cm de profondeur, les valeurs de pH ont faiblement augmenté ; par contre le Eh a baissé très fortement pour remonter en fin de saison des pluies et ses mesures étaient affectées d'une variation cyclique circadienne : augmentation le jour, diminution la nuit. A 60 cm de profondeur le pH et le Eh sont restés stables.

MOTS-CLÉS : Sols sulfatés acides — Station de mesure « *in situ* » — Mesure du pH et du Eh.

ABSTRACT

THE IN SITU MEASUREMENT OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS (HP AND EH) IN AN ACID SULFATE SOIL OF CASAMANCE (SENEGAL)

In waterlogged soils, sampling produces an alteration of the soil characteristics. Laboratory measurements of pH and Eh are different of those made in the field. On the other hand, the connection of a field millivoltmeter to the measurement electrodes fitted into the soil gave us unstable measures due to the oxidation of the contacts. The measuring units used, installed on a jarosite acid sulfate soil consisted of a millivoltmeter permanently connected to the electrodes which were at 30 and 60 cm depth. This study has shown that a single salinity bridge was sufficient for several electrodes. At 30 cm depth, pH measurements increased weakly during the rainy season ; on the other hand, Eh decreased a lot and increased again at the end of the wet season. During the flooded season Eh showed also a daily variation : increasing during the day, decreasing at night. At 60 cm depth, pH and Eh remained stable.

KEY WORDS : Acids sulfates soils — pH and Eh « *in situ* » measurements.

INTRODUCTION

La caractérisation physico-chimique d'un sol s'effectue le plus souvent par le prélèvement d'échantillons qui sont ensuite analysés au laboratoire.

Si pour certains paramètres et certains types de sols, cette procédure ne soulève aucun problème, il n'en va pas de même pour les sols à milieu confiné, engorgé, où le prélèvement d'échantillons s'accompagne toujours d'une modification de ceux-ci (LOYER *et al.*, 1978) :

départ de gaz sursaturés par rapport à l'atmosphère (CO₂, H₂S, CH₄...), oxydation de certains composés (sulfures, fer ferreux, manganèse...). Les mesures de pH et de Eh effectuées au laboratoire sont alors différentes des mesures de terrain. Même la mesure de terrain, lorsqu'elle est effectuée sur échantillon remanié, peut être faussée par contamination lors du prélèvement ou par défaut d'équilibre entre l'électrode de mesure et le milieu. Ce dernier point survient notamment lors des mesures de Eh.

Lorsqu'en outre, on veut suivre l'évolution dans le temps de ces paramètres physico-chimiques, un deuxième biais est dû au fait que les mesures ne peuvent être effectuées plusieurs fois au même endroit. Pour estimer ce biais, les suivis d'évolution impliquent alors des mesures nombreuses à un instant donné pour tenir compte de la variabilité spatiale (BOIVIN, 1986). C'est pour pal-

lier ces deux inconvénients que nous avons mis en place *in situ* des électrodes permanentes avec lesquelles les mesures sont effectuées régulièrement.

BUT DE L'OPÉRATION

Notre propos était de suivre l'évolution dans le temps du pH et du Eh dans un sol sulfaté acide de Casamance (description en annexe). Pour ce faire, nous avons mis au point et testé sur le terrain, une centrale de mesure constituée d'un pH-mètre sur lequel sont branchées en permanence 4 électrodes (2 pour le pH et 2 pour le Eh), par l'intermédiaire d'un contacteur à 4 positions. Le pH-mètre et le contacteur sont enfermés dans une boîte étanche en plexiglas (Fig. 1). Deux électrodes sont placées à 30 cm de profondeur, 2 autres à 60 cm.

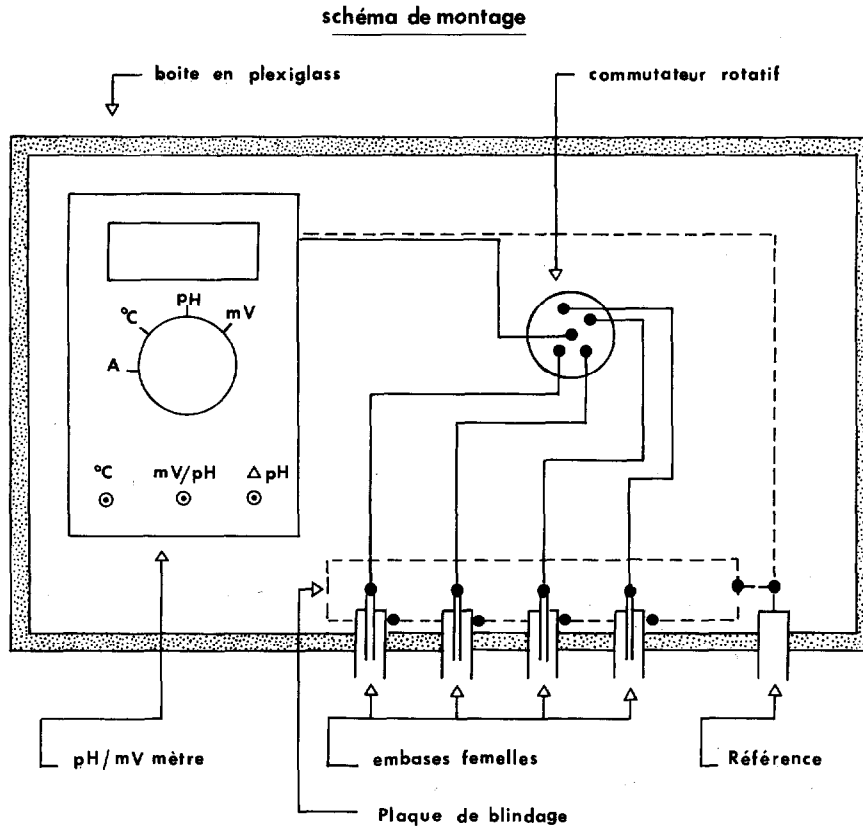


FIG. 1. — Station de mesure du pH et du Eh *in situ*.

PROBLÈMES MÉTHODOLOGIQUES

Étalonnage du dispositif de mesure

MESURE DU PH

Dispositif de mesure

Le dispositif de mesure se compose d'une électrode de pH à boule de verre et d'une électrode de référence au calomel emplie de KCl saturé. Les mesures s'effectuant en profondeur, le contact électrique entre la référence et le point de mesure doit être établi par un pont salin (tube cristal rempli de KCl saturé, terminé par un embout à mèche d'amiante). Il n'apparaît normalement aucune différence de potentiel entre le liquide de remplissage de l'électrode de référence, et le liquide contenu dans le pont salin, à condition qu'ils aient la même composition (KCl saturé). Par contre, au niveau de la mèche d'amiante placée à proximité du point de mesure apparaît un potentiel dit de jonction liquide, dépendant de la composition de la solution du sol, car produit par la diffusion différentielle des ions K^+ et Cl^- du pont salin vers cette solution. Ce potentiel dépend aussi de la diffusion assurée par la mèche utilisée, de fabrication artisanale.

Il en résulte que :

— l'étalonnage doit être effectué avec le dispositif complet, y compris le pont salin et sa mèche d'amiante, — si la composition de la solution du sol, et notamment sa force ionique variait beaucoup, l'étalonnage devrait être revu pour tenir compte de la modification du potentiel de jonction liquide.

Définition du pH

On se heurte ici à un problème fondamental non encore résolu : il n'existe, sauf cas particulier, aucun moyen de mesurer les potentiels de jonction liquide créés par un dispositif expérimental donné dans un milieu donné. Aussi, a-t-on deux définitions différentes du pH (BATES, 1975) :

— une définition quasi-thermodynamique :

$pH = -\log (H^+)$ où (H^+) est l'activité de H^+

L'activité d'un ion isolé ne pouvant être mesurée, mais seulement définie au moyen d'une convention (Mac INNES, GUGGENHEIM) cette définition n'est pas strictement thermodynamique.

— une définition opérationnelle :

$$pH(x) = pH(s) \pm \frac{E(x) - E(s)}{(RT/F)\ln 10}$$

Le signe (+ ou -) dépend des conventions concernant la polarité des électrodes et la représentation conventionnelle des cellules électrochimiques (BATES, 1973).

$pH(s)$ est le pH d'une solution standard, défini quasi-thermodynamiquement et $E(s)$ et $E(x)$ les forces électromotrices de cellules électrochimiques comprenant une

électrode de platine à hydrogène et une électrode de référence. En pratique, on utilise deux solutions standard car la pente ($F/RT \ln 10$) n'est pas forcément égale à la valeur théorique, notamment lorsqu'une électrode à boule de verre remplace l'électrode à hydrogène.

Dans le cas présent, la force ionique des solutions étudiées a peu varié (absence de dessalement du sol), et les variations du Eh n'ont, semble-t-il, pas affecté la mesure du pH (voir ci-dessous). Aussi, l'erreur de mesure commise sur le pH a-t-elle été constante, et même très faible, si l'on retient la définition opérationnelle. On notera toutefois qu'une utilisation thermodynamique stricte des mesures (calculs de produits ioniques par exemple) introduirait une erreur systématique, car la force ionique du milieu de mesure (≈ 1) est nettement plus élevée que celle des standards utilisés.

Étalonnage

L'étalonnage a été effectué dans des tampons de pH 6.8 et 2 à la température de $30^\circ \pm 2^\circ C$. La température *in situ*, durant la période des mesures, était de cet ordre, $\pm 4^\circ C$. Les lectures ont été faites directement en mV ; on n'a pas essayé de régler l'affichage pH du pH-mètre, car plusieurs électrodes, de caractéristiques différentes, étaient utilisées sur le même appareil.

Le dispositif a ensuite été testé sur une vingtaine de pâtes saturées de sols argileux, salés et non salés. Après la mesure, le pH de l'extrait de sol, obtenu par centrifugation, a été mesuré. La différence entre les 2 valeurs de pH obtenues n'a jamais dépassé 0,1 unité pH, et était en moyenne de 0,05 pH. Il est difficile de dire si ces différences sont imputables à un effet « suspension » ou à l'extraction du liquide (départ de gaz dissous).

L'étalonnage a été effectué à nouveau après un séjour des électrodes de 6 mois *in situ*. Les différences observées sur les droites d'étalonnage introduisent une incertitude maximum de 0,06 unité pH sur les valeurs lues.

MESURE DU EH

Les problèmes de jonction liquide sont évidemment les mêmes que pour la mesure du pH.

Il est nécessaire de ramener les mesures de f.e.m. effectuées par rapport à l'électrode au calomel, aux mesures du Eh vrai exprimé par rapport à l'électrode de référence à l'hydrogène (Pt/H_2).

L'étalonnage de l'électrode de mesure du Eh (fil de platine) est effectué dans la liqueur de Zobell dont le Eh est connu à toute température.

La valeur mesurée par cette électrode dans la liqueur de Zobell diffère du Eh vrai d'une valeur constante égale à -249 mV à $30 \pm 4^\circ C$ avec le dispositif utilisé :

$$Eh = E_c - (-(Eh_{z0} - E_{zc})) \text{ soit : } Eh = E_c + 249$$

E_c = Potentiel mesuré sur le terrain.

$E_{h_{20}}$ = Eh Zobell Pt/H₂ donné par les tables pour des températures de 0 à 50 °C.

E_{zc} = Potentiel mesuré dans la liqueur de Zobell par l'électrode (Pt/calomel).

Malheureusement, l'électrode de platine n'est pas totalement inerte. En milieu très aéré, des complexes Pt — O se forment, et en milieu fortement réducteur, le platine réagit avec les sulfures présents. Dans le cas étudié, la présence de sulfures est probable, compatible avec les valeurs de Eh et pH mesurées.

En outre, l'équilibre thermodynamique relatif aux couples redox présents (Fe²⁺/Fe³⁺, SO₄⁼/HS⁻, S/H₂S, etc.) est rarement atteint dans la solution du sol. Le Eh mesuré est en général un potentiel mixte (STUMM ET MORGAN, 1981) déterminé par un ensemble de réactions tel que courants anodiques et courants cathodiques s'annulent, mais n'est pas le potentiel d'équilibre d'un couple redox donné (Fe²⁺/Fe³⁺ par exemple) ni, à fortiori, de l'ensemble des couples, en équilibres simultanés. Aussi, les valeurs mesurées ne sont-elles pas interprétables en terme d'équilibres thermodynamiques, mais sont des indicateurs de l'ambiance physico-chimique.

Les étalonnages des électrodes effectués avant et après un séjour de 6 mois dans le sol différaient de 6 à 8 mV respectivement. Ces valeurs sont faibles comparées à l'intervalle de variation des mesures et acceptables compte tenu des problèmes d'interprétation des valeurs absolues.

Positionnement du pont salin

Lorsque plusieurs électrodes de mesure sont implantées dans un site à des profondeurs différentes, on peut être tenté de n'utiliser qu'une électrode de référence et un pont salin placé à une profondeur quelconque. Ceci est-il justifié ? Nous avons fait l'expérience suivante (Fig. 2) : Deux pâtes saturées de sol, l'une très salée (proche de la saturation pour NaCl), l'autre non salée, ont été mises en contact latéral. Une électrode de pH a été placée dans la partie non salée, et l'extrémité d'un pont salin placée successivement dans les parties salées et non salées. Les 2 lectures diffèrent de 18 mV, soit d'environ 0,3 unité pH. Deux facteurs contribuent à cette différence :

- le potentiel de jonction liquide à l'extrémité du pont salin.

- une différence de potentiel entre les deux pâtes, due à la diffusion différentielle des ions dissous au niveau du contact entre les deux pâtes.

Ainsi, un dispositif constitué d'une électrode de mesure placée en un point donné du sol, d'une électrode de référence et d'un pont salin, peut donner des réponses différentes selon la localisation de l'extrémité

du pont salin par rapport à l'électrode de mesure, s'il existe dans le sol un gradient de salinité. Il en serait de même avec un gradient d'humidité.

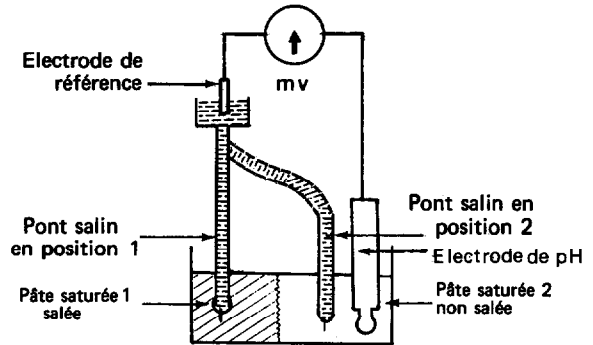


FIG. 2. — Problème du positionnement des ponts salins.

Or, pendant les mesures *in situ*, on pourrait s'attendre à l'apparition d'un gradient de salinité, par dessalement des couches superficielles du sol par les pluies, puis d'un gradient d'humidité par dessèchement de la surface après la fin des pluies. Aussi l'utilisation d'un seul pont salin en contact avec le sol à 45 cm aurait pu fausser les mesures effectuées avec les électrodes placées à 30 et 60 cm de profondeur. D'autre part, relier deux ponts salins en contact avec le sol à 30 et 60 cm de profondeur, à une seule électrode de référence produirait des mesures dépendant d'une manière complexe de ces deux ponts. Enfin, on ne peut connecter deux électrodes de référence à un seul millivoltmètre.

Suite à ces constatations, nous avons mis en place le dispositif suivant (Fig. 3) : deux ponts salins 1 et 2 se terminent à 30 et 60 cm de profondeur dans le sol, à côté des électrodes 1 et 2. L'électrode de référence unique est placée successivement en contact avec les ponts salins 1 et 2.

Avec les deux électrodes, on obtient ainsi quatre mesures dont deux croisées (Electrode 1 - pont salin 2 et inversement). Ce dispositif est utilisé pour les deux électrodes de pH et les deux électrodes de Eh.

Sur l'ensemble des mesures effectuées, nous n'avons jamais constaté de différence supérieure à 1 mV quel que soit le pont salin utilisé. Ceci semble donc autoriser l'emploi d'un seul pont salin pour plusieurs électrodes, tout au moins dans ce type de milieu où l'humidité reste suffisante pour qu'il n'y ait pas d'influence de la part de la résistance du sol. D'autres tests seraient à effectuer pour vérifier la validité de ce montage dans d'autres types de sols.

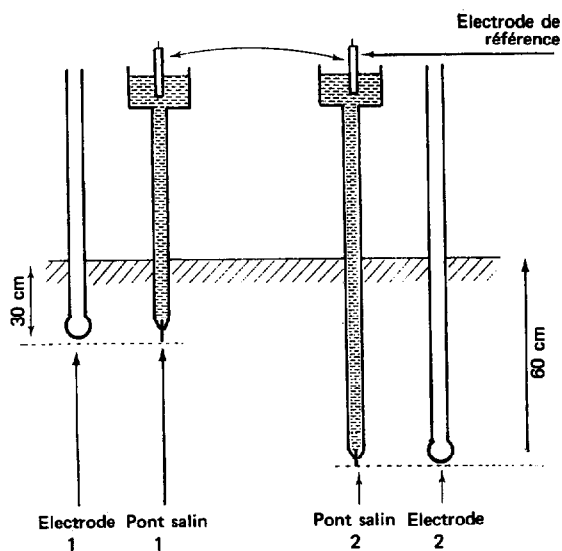


FIG. 3. — Dispositif de mesure à double pont salin

Corrosion des contacts électriques

Lors d'un premier essai de mesures *in situ*, nous avons simplement implanté les électrodes dans le sol et un millivoltmètre portable était connecté aux électrodes au moment des mesures. Il s'est avéré que sous

climat chaud et humide, au contact de sols salés et acides les fiches mâles des électrodes s'oxydaient très rapidement au simple contact de l'air. Cette oxydation provoquait probablement un effet de pile entre les connecteurs d'où une grande instabilité des mesures. Nous avons ainsi opté pour un branchement permanent des électrodes à un boîtier de mesure équipé d'un sélecteur de voies et d'un millivoltmètre. Avec ce dispositif, aucune dérive des mesures n'est intervenue en six mois d'expérience. Le seul inconvénient est l'immobilisation d'un millivoltmètre par site de mesure.

PREMIERS RÉSULTATS

Le dispositif présenté a été testé sur un sol sulfaté acide du domaine fluvio-marin de Casamance (voir description et analyse d'un profil (K 60), voisin du site de mesure en annexe). Nous voulions savoir si le pH du sol, très bas en saison sèche (3 à 3,5), remontait ou non en saison des pluies, et si ces éventuelles variations étaient corrélées avec le Eh, lui-même lié à l'état d'humectation du sol. L'étude s'est déroulée de juillet à décembre 1985. Les pluies (1 146,9 mm), légèrement déficitaires par rapport aux moyennes d'avant la sécheresse, sont tombées du 23 juin au 11 octobre.

TABLEAU I
Koubalan 1985 : Pluviométrie moyenne

DECADE	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
1	0,0	57,0	142,1	301,2	74,7
2	0,0	83,4	117,7	104,6	6,2
3	56,0	164,7	20,1	19,2	0,0
TOTAL	56,0	305,1	279,9	425,0	80,9
ANNEE	1146,9				

La parcelle d'essai était submergée sous 5 à 10 cm d'eau du 15 juillet au 15 octobre.

Résultats concernant les mesures à 30 cm de profondeur

A 30 cm de profondeur (Fig. 4), il s'est avéré que le pH a faiblement augmenté au cours de la saison des pluies, de 2,8 - 2,9 à 3,25, pour redescendre ensuite aux niveaux antérieurs du début de la saison sèche. Par

contre, le Eh baissait très fortement, de 600 mV à - 50 mV fin août, pour remonter ensuite régulièrement à 700 mV dès la fin de la saison des pluies. Cependant, le minimum atteint est resté très au-dessus des valeurs trouvées régulièrement dans les sols de mangrove inondés (- 300 à - 400 mV). Faible remontée du pH et minimum de Eh relativement élevé sont sans doute à mettre en relation.

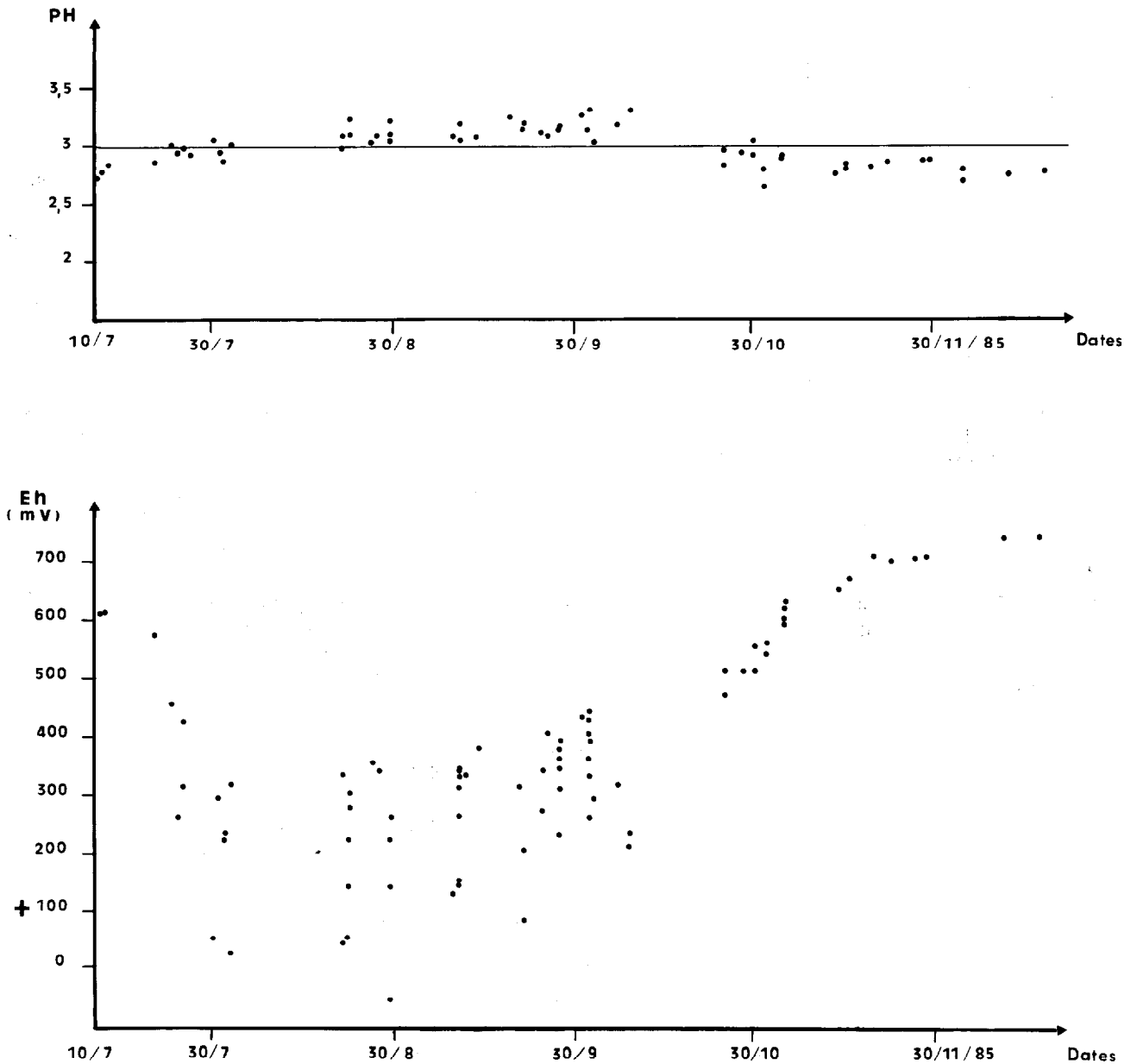


FIG. 4. — Mesures du pH et Eh à 30 cm de profondeur.

La dispersion des mesures de Eh visible sur la figure 4 n'est pas un phénomène aléatoire, mais une variation cyclique circadienne (Fig. 5) : le Eh mesuré à 30 cm croissait régulièrement du matin jusqu'au soir, pour redescendre ensuite pendant la nuit et ce, pendant toute la période de submersion de la parcelle. Dès la fin de la submersion, l'amplitude des variations s'est amortie. Nous pensons, sans certitude, que ces variations sont liées à une activité biologique dans l'eau de surface (pho-

tosynthèse alguaire) (LOYER *et al.* 1982) ou bien à des phénomènes photochimiques, mais la diffusion de substances oxydantes sur 30 cm de profondeur en quelques heures est surprenante.

L'absence de variations cycliques notables des mesures des autres électrodes (pH à 30 cm, pH et Eh à 60 cm) exclut a priori l'influence des changements de température sur l'appareillage ou dans le sol.

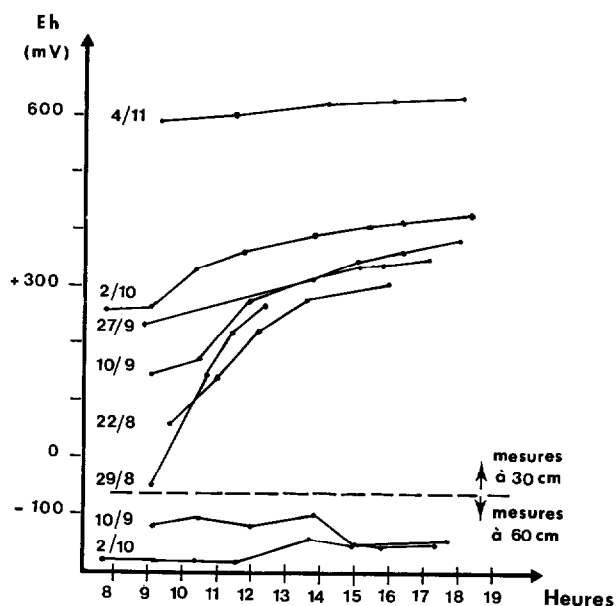


FIG. 5. — Variation du Eh en fonction de l'heure.
Sol K 60. Casamance.

Résultats concernant les mesures à 60 cm de profondeur

Contrairement aux mesures à 30 cm, le pH et le Eh sont restés remarquablement stables durant toute la saison des pluies (Fig. 6) : pH de 3, Eh de - 200 mV, remontant à 0 mV après 2 mois de saison sèche. Ceci est à mettre en relation avec le faible degré d'évolution du sol qui reste quasi-saturé toute l'année à partir de 60 cm de profondeur. La nappe, affleurante en saison des pluies, s'abaisse lentement à 90 cm en fin de saison sèche (mai). Cette stabilité des mesures est par ailleurs un test de l'appareillage, car il est peu probable qu'en cas de dérive due à des altérations des électrodes ou du millivoltmètre, celles-ci se compenseraient mutuellement à 60 cm de profondeur, mais pas à 30 cm.

CONCLUSION

L'appareillage présenté s'est avéré fiable dans des conditions extrêmes d'utilisation : milieu chaud et humide, salé et acide. Les mesures obtenues ont une précision absolue d'environ 0,1 unité sur le pH et 10 mV sur le Eh et la précision relative (comparaison d'une mesure

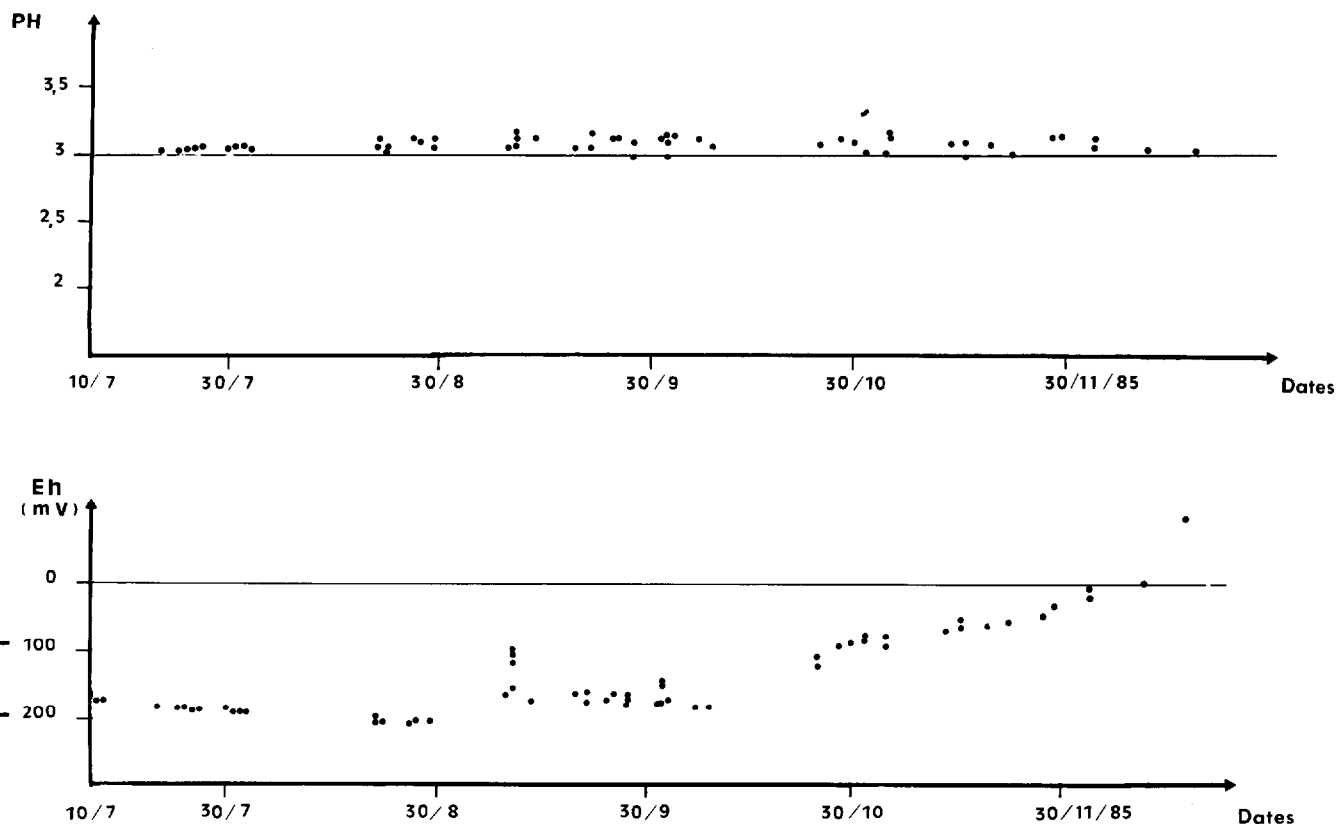


FIG. 6. — Mesures du pH et Eh à 60 cm de profondeur.

à une autre obtenue dans les mêmes conditions) est certainement meilleure pour le pH (0,06 unité pH environ).

Grâce à ce dispositif, nous avons pu mettre en évidence :

— La faible variation du pH, même à 30 cm de profondeur.

— La forte baisse du Eh à 30 cm de profondeur, au cours de la saison des pluies, sans toutefois que cette chute n'atteigne les valeurs habituellement rencontrées dans les sols de mangroves inondées. Par contre, à

60 cm de profondeur, le Eh est resté stable.

— La variation circadienne des mesures de Eh à 30 cm de profondeur qui est venue se surimposer à la baisse saisonnière. Ceci montre l'importance de l'heure à laquelle sont faites les mesures lorsqu'on veut suivre l'évolution du Eh dans ces sols.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 6 février 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- BATES (R.-G.), 1973. — Détermination of pH. Theory and practice — J. WILEY and Sons. New-York.
- BOIVIN (P.), 1986. — Etude de la variabilité spatiale du pH de quelques sols sulfatés acides et potentiellement sulfatés acides en basse-Casamance — 3^e Symposium international des sols sulfatés acides. Dakar, 6/11 janvier 1986.
- LOYER (J.-Y.), BOIVIN (P.), LE BRUSQ (J.-Y.), ZANTE (P.), 1986. — Les sols du domaine fluvio-marin de Casamance (Sénégal) : Evolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur. 3^e Symposium international des sols sulfatés acides. Dakar, 6/11 janvier 1986.
- STUMM (W.), MORGAN (J.-J.), 1981. — Aquatic chemistry — J. WILEY and Sons. New-York - 780 p.
- LOYER (J.-Y.), SUSINI (J.), 1978. — Réalisation et utilisation d'un ensemble automatique pour la mesure en continu et « in situ » du pH, du Eh et du pNa du sol. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 4, 1978 : 425-437.
- LOYER (J.-Y.), JACQ (V.-A.), REYNAUD (P.), 1982. — Variations physico-chimiques dans un sol de rizière inondée et évolution de la biomasse algale et des populations microbiennes du cycle du soufre. *Cah. ORSTOM, série Biol.*, n° 45, 1982 : 53-72.

ANNEXE I

DESCRIPTION DU PROFIL K 60 ET RÉSULTATS ANALYTIQUES

Situation

Tanne (1) vif, croûte de chlorure de sodium en surface, le profil est situé à mi-chemin entre le marigot et les rizières douces.

Description

De 0 à 6 cm: Horizon brun-gris non taché et frais. Argileux à structure polyédrique. Fentes de dessiccation.

De 6 à 26 cm: Horizon argileux gris-clair, à structure polyédrique fine. Porosité moyenne en fins tubules. Taches ocre-jaune et ocre-rouille sur d'anciens conduits racinaires. Quelques taches rouge-vif et filets de jarosite.

De 26 à 90 cm: Horizon argileux et saturé gris beige moyen, à consistance de « beurre ». Jarosite abondante dans d'anciens conduits racinaires. Importante porosité tubulaire.

De 90 à 105 cm: Horizon gris-foncé, sablo-argileux, engorgé. Contient des fibres brunes en décomposition et de nombreux gravillons de couleur grise.

De 105 à 130 cm: Gris-clair et sablo-argileux, nombreux gravillons et forte odeur de H₂S.

pH à 30 cm : 3 ; à 60 cm : 3,4 ; à 90 cm : 4,2

Nappe à 90 cm ; pH = 4,2

(1) Sol salé sans végétation, rarement submergé en saison sèche, situé le long des marigots et en bordure des dépressions envahies par les eaux marines.

TABLEAU II
Résultats analytiques du profil K 60

Profondeur en cm	0 - 6	6-25	25-90	90-110	110-130
------------------	-------	------	-------	--------	---------

ANALYSE MECANIQUE

Argile %	44	58,4	60,5	25,9	10,1
Limon fin %	57,2	16,4	17	12,7	10,7
Limon grossier %	12	7,1	5,2	4,6	6,6
Sable fin %	34	13,1	11,2	24,1	50,8
Sable grossier %	2,3	0,8	1,4	29,7	19,8
Humidité %	3,4	3,9	3,8	2,2	1,1
Total	99,3	99,7	99,1	99,2	99,1

MATIERE ORGANIQUE - SOUFRE - PHOSPHORE - PH

Carbone ‰	6,92	3,81	9,07	8,74	3
Azote ‰	0,46	0,38			
C/N	15	10			
P ₂ O ₅ total ‰	0,43	0,3			
P ₂ O ₅ assimilable	0,01	0,01			
S. total ‰	16,62	14,57	20,08	32,86	11,12
pH 1/2,5 eau	5,1	3,5	3,4	3,1	3,7
pH 1/2,5 KCl	4,8	3,3	3,2	2,9	3,4

CAPACITE D'ECHANGE

C.E.C. mé/100 g	12,9	16,2	17,2		
-----------------	------	------	------	--	--

SELS SOLUBLES - EXTRAITS 1/2,5 (mé/100 g)

Conductivité ms/cm	19,5	19,5	20,5	11	5,5
pH	5,3	3,9	3,3	3	3,7
Calcium	4,31	3,5	3,81	2,62	1,5
Magnésium	35	33,75	28	15,5	6,7
Potassium	3,12	2,31	2,81	1,62	1,12
Sodium	162	164	168,8	79	41,25
Fer			0,047	2,14	0,29
Acidité totale		0,72	1,3	2	0,86
Cl	180	186,3	191,3	91,5	45,5
SO ₄	28,96	18,51	16,97	15,77	6,68

ANNEXE II

CONSTRUCTION DE LA STATION MANUELLE DE MESURE

Le principe de cette station est d'assurer le branchement permanent du millivoltmètre de mesure aux capteurs et d'inclure le tout dans un boîtier étanche afin d'éviter la corrosion des contacts.

Matériel utilisé

- 1 pH/mV-mètre numérique, BIOBLOCK SCIENTIFIC, réf. 93301.
- 1 commutateur rotatif type LEIM unipolaire étanche, 3 à 10 positions selon le nombre de capteurs (VP Electronique, réf. 27 31004 23 : 4 positions).
- Fiches droites mâle, RADIALL, série UHF, type PL 259 B - R 155004 (PIGEON VOYAGEUR).
- Fiches femelles à platine, RADIALL, série UHF, type PL 258 R 155404, fixation par 4 trous 0,3 mm à l'entraxe de 18,25 mm, reçoit la PL 259 B (PIGEON VOYAGEUR).
- Plaque de plexiglass en 6 mm d'épaisseur.
- Joint d'étanchéité en caoutchouc mousse.
- Colle pour plexiglass : ALTUFIX S.
- Tube de colle néoprène BOSTIK 1400.
- 4 vis 6 x 40 tête plate et 4 écrous papillon.
- 1 bouton de commutation rotatif.
- 1 pièce en acier tournée pour la liaison entre le bouton de commutation et le pH/mV-mètre.
- fiche pour branchement de l'électrode de référence KCl.

Montage

Le fil central du câble coaxial du pH/mV-mètre est coupé à la longueur voulue pour être relié au plot central du commutateur rotatif, type LEIM.

L'utilisation d'un câble prolongateur avec connecteur D01 (BIOBLOCK-SCIENTIFIC) évite de couper le câble d'origine du pH/mV-mètre et permet sa réutilisation hors de la station de mesure.

Les plots d'entrée de ce commutateur (3 à 10) sont chacun respectivement reliés au plot central des fiches femelles à platine fixées sur une des parois verticales de la boîte en plexiglass.

La tresse de blindage du câble coaxial du pH/mV-mètre, les masses des fiches femelles et la prise de l'électrode de référence sont reliées à une tôle de blindage fixée au-dessus des fiches femelles.

La pièce en acier tournée permet la liaison entre le sélecteur de mode du pH/mV-mètre et le bouton situé sur la face supérieure du boîtier.

Le pH/mV-mètre est bloqué sur le fond du boîtier par des cales en plexiglass collées mais il reste amovible.

Un joint en caoutchouc mousse est collé au couvercle du boîtier qui se ferme par 4 écrous papillon.

Références fournisseurs

BIOBLOCK SCIENTIFIC : BP 111 — 67404 Illkirch Cedex.

VP Electronique : 9, rue Gabriel Péri — 91300 Massy.

PIGEON VOYAGEUR : 52, bd Saint-Germain — 75341 Paris Cedex 07.

ANNEXE III

MATÉRIEL UTILISÉ POUR LE MONTAGE DES CAPTEURS

Mesure du pH

- Electrode à boule de verre : RADIOMETER G.202B.
- Electrode de référence au calomel : TACUSSEL type C 8.
- Pont salin : constitué par un tube de verre effilé d'une dizaine de centimètres de long et de 0,8 cm de diamètre muni d'une mèche d'amiante. Un tuyau en plastique souple relie ce tube à un flacon fixé à côté de la station de mesure. L'ensemble tube de verre - tuyau de plastique souple est introduit dans un tube en PVC rigide étanchéifié à l'extrémité, qui assure protection, étanchéité et rigidité lors de la mise en place. La longueur du tube en PCV est fonction de la profondeur d'implantation des électrodes, il doit dépasser la surface du sol d'environ 40 cm.
- Tampon pH 6,8 INGOLD NBS
- Tampon pH 2,0 MERCK Titrisol
- Etalonnage sur pH-mètre ORION 701/A.

Mesure du Eh

- l'électrode Eh est fabriquée sur place. Le fil de platine est collé à l'araldite à l'extrémité d'une seringue de 10 ml ; le contact entre le fil de platine et le fil de liaison à la station de mesure est assuré par du mercure. Le corps de la seringue est ensuite rempli de parafine et fermé à l'araldite. L'ensemble seringue - fil de liaison protégé par un tuyau en plastique souple transparent étanchéifié à l'araldite est alors introduit dans un tube en PVC rigide comme pour le pont salin.
- l'électrode de référence et le pont salin sont les mêmes que ceux décrits pour la mesure du pH.

Installation sur le terrain

Les trous sont creusés à la profondeur voulue à l'aide d'un tube en PVC rigide ou en métal de même diamètre que celui utilisé pour le montage des électrodes et du pont salin. L'extrémité du tube est en forme de gouge, ce qui facilite l'extraction du sol. La station de mesure et le flacon du pont salin contenant l'électrode de référence sont placés dans une guérite en tôle fixée sur une cage qui protège ainsi la partie aérienne des électrodes et les câbles de raccordement à la station.

Fournisseurs

- OSI : 141, rue de Javel — 75739 Paris Cedex 15.
- MEDISCIENCES : 115, rue de Javel — 75015 Paris.
- BIOBLOCK-SCIENTIFIC : BP 111 — 67404 ILLKIRCH Cedex.