

Octobre 1965

**ESSAI DE CARACTÉRISATION
DES SOLS
DES POLDERS DE BOL
(RIVES DU LAC TCHAD)**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE FORT-LAMY



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE DE FORT-LAMY

// CARACTERISATION PEDOLOGIQUE DES SOLS DES POLDERS DE BOL
(LAC TCHAD)
=====

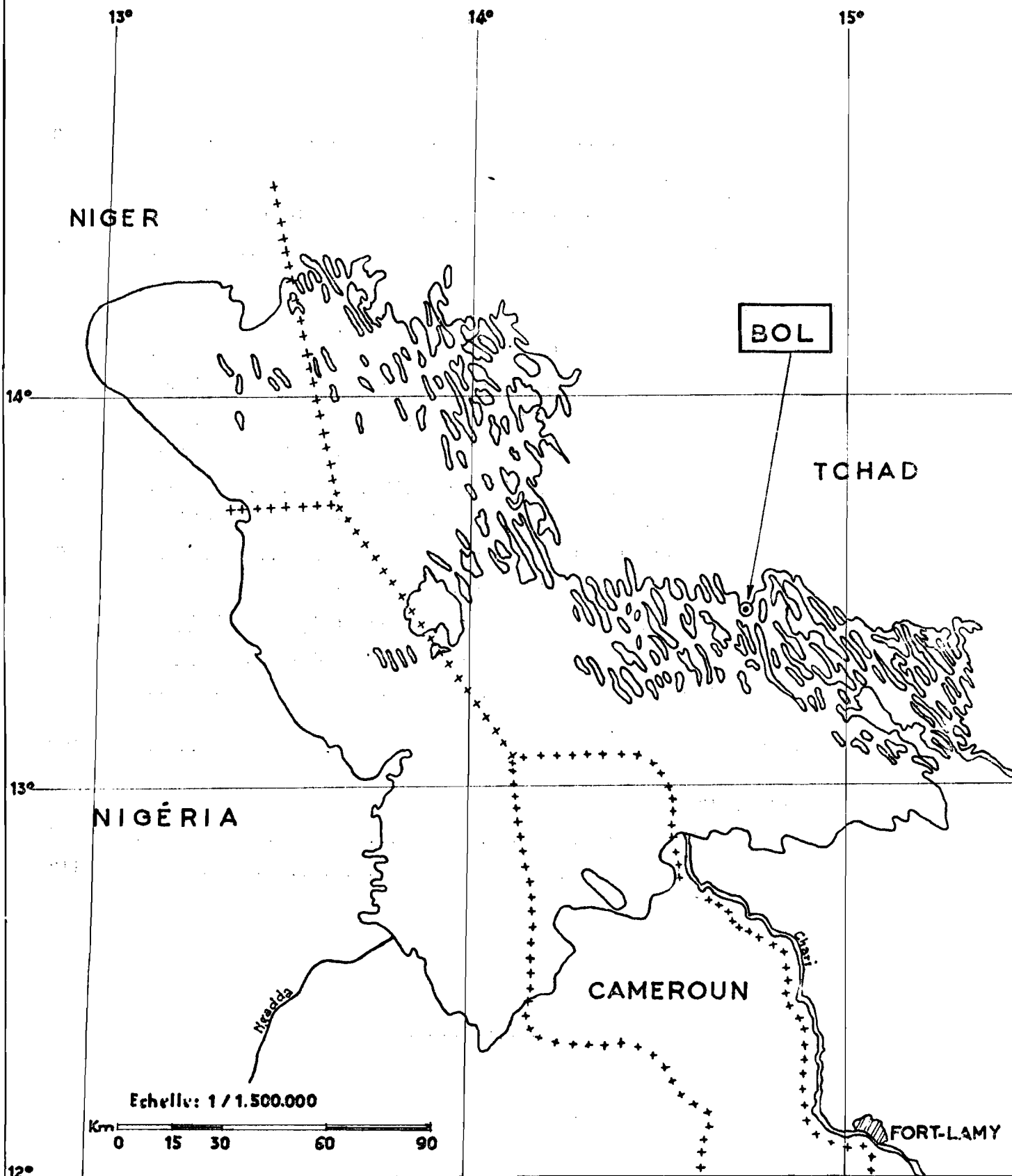
C. CHEVERRY

Août 1965.

- S O M M A I R E -

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	3
I - <u>LE CADRE NATUREL.</u>	
Les facteurs du milieu : Climat - Géologie - Végéta- tion - Variations du niveau du Lac	7
II - <u>ETUDE PEDOLOGIQUE.</u>	
A - Méthodes d'étude	20
B - Une séquence de sols à nappe phréatique faible- ment salée : <u>Séquence P.27</u>	25
C - Une séquence de sols à nappe phréatique forte- ment salée : <u>Séquence P.17</u>	64
D - Une séquence de sols à nappe phréatique salée et alcalisante : <u>Séquence T.4.</u>	73
E - Influence d'un niveau riche en carbonates de calcium proche de la surface : <u>Séquence P.46</u> ...	88
F - Une séquence de sols non exondés : <u>Séquence P.42</u>	94
G - Conclusion	99
III - BIBLIOGRAPHIE	108
IV - RESULTATS ANALYTIQUES	
Méthodes employées	110
Résultats	112

CROQUIS GÉNÉRAL DE SITUATION



CRT 7399

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE:

DES: S. NICOE-

VISA:

Graphique N° 1

- INTRODUCTION -

Le paysage de la région de Bol se présente comme une série d'émergences dunaires, orientées sensiblement Nord-Ouest/Sud-Est, s'avancant dans les eaux du Lac. A la suite d'une transgression du Lac, en effet, les dépressions d'un système dunaire furent occupées par les eaux. Par sédimentation, des éléments fins, enrichis en matière organique, se déposèrent (II). L'isolement de ces bras du Lac par des barrages en sable, l'évaporation de la masse d'eau ainsi emprisonnée ont conduit à la création de "polders", non donné à ces zones agricoles gagnées sur le Lac.

Les premiers "polders" datent du début du siècle. En 1950-1955, la construction de barrages prit un nouvel essor. Deux polders importants furent notamment créés aux environs immédiats de la ville de Bol : Bol - Guini (500 hectares), puis Bol - Bérin (950 hectares). Néanmoins à l'heure actuelle, sur les centaines de bras du Lac qui pourraient, théoriquement, être transformés en polders le long de la rive Nord-Est du Lac, seuls quelques-uns sont créés et utilisés à des fins agricoles. De nouvelles constructions de barrages, de nouvelles mises en valeur sont envisagées et déjà, en mai 1965, une quinzaine de barrages en sable étaient en voie d'achèvement.

Une mise au point des connaissances actuelles sur les modifications de fertilité qu'entraîne la présence à faible profondeur d'une nappe phréatique salée, s'avère nécessaire. Localisée géographiquement aux deux polders de Bol : Bol - Guini et Bol - Bérin, l'étude qui suit tentera de répondre à ce but. Mais une appréciation sur ces problèmes de fertilité ne sera présentée qu'en conclusion d'une étude pédologique dont les deux axes sont les suivants :

D'abord une caractérisation pédologique des divers types de sols observés. Le terme général d'alluvions lacustres récentes ne rend pas compte en effet de l'hétérogénéité de ces sols. Depuis l'exondaison, voici 10 à 15 ans, le matériau sédimentaire de départ a été marqué par

.../...

l'empreinte de processus pédogénétiques tels que l'Hydromorphie, l'Halomorphie (salinisation et alcalisation), la Calcimorphie; et ceci avec des intensités différentes d'un point à l'autre d'un même polder. Les différents types de sols qui en résultent seront décrits, caractérisés, replacés dans le cadre de la classification française des sols (2); C'est là le résultat d'une prospection sur le terrain de janvier à avril 1964.

Ce rapport vise également un second but : exposer la méthode de travail employé, les premiers résultats obtenus dans un programme de recherches sur les sols des polders; programme dont la mise en place sur le terrain a débuté en août 1964. On se propose dans ce programme d'étudier le processus d'Halomorphie et ses diverses manifestations en fonction :

- de la profondeur de la nappe phréatique (études toujours menées le long de séquences de sols, dirigées des parties hautes vers les parties basses des polders).
- des caractéristiques de cette nappe (choix de cinq séquences de sols correspondant à des secteurs des deux polders où la nappe est plus ou moins salée, plus ou moins alcalisante).
- de la période de l'année.

Un objectif plus particulier dans cette même optique sera de définir les conditions d'apparition des manifestations morphologiques de l'alcalisation (dégradation de la structure) sur un matériau argileux très riche en une matière organique bien humifiée.

Les deux polders de Bol Guini et de Bol Cérin fournissent le meilleur cadre pour une telle étude. Depuis 1954, en effet, l'O.R.S.T.O.M. y effectue des observations, des mesures, (travaux de M. PIAS, LEPOUTRE, GUICHARD, BOUTEYRE, pour la pédologie, de M. BOUCHARDEAU, LEFEVRE, BILLON, CALLEDE, RIOU, pour l'hydrologie et la bioclimatologie). De plus, dans les domaines respectifs de l'agronomie, de l'hydrogéologie, les études SOGETHA (18) et les travaux de la Mission Hollandaise de Wageningen (7), sur ces mêmes polders, fournissent des données intéressantes auxquelles il sera fait référence.

Remerciements.

Mes remerciements s'adresseront tout particulièrement à M. BOCQUIER, Directeur du centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, pour ses nombreux conseils, à MM. DUPONT, FROMAGET, POISOT pour leur aide sur le terrain et à Fort-Lamy, à M. CHANUT chef du Laboratoire O.R.ST.O.M. de Fort-Lamy, qui s'est chargé des analyses d'échantillons.

Monsieur le Préfet de Bol et son administration nous ont toujours facilité la tâche sur place. Que MM. GRIMAL, DRYER, VERNIER, ARGILLIER, DUVIVIER, BONDON et tout le personnel du SEMA Blé trouvent également ici l'expression de notre gratitude pour les multiples services qu'ils nous ont rendus.

I - LE CADRE NATUREL :

LES FACTEURS DU MILIEU.

- A. CLIMAT
- B. GEOLOGIE
- C. VEGETATION
- D. VARIATIONS DU NIVEAU DU LAC

-----ooOoo-----

A. LE CLIMAT

La région de Bol appartient à la zone Sahélo-Saharienne de la classification d'AUBREVILLE :

- Pluviométrie de l'ordre de 300 mm, concentrée sur trois mois de l'année : juillet, août, septembre.
- Température moyenne annuelle élevée : 28°, avec de fortes amplitudes journalières.
- Humidité moyenne faible : 38 % à 12 heures.

Trois stations météorologiques sont implantées autour de Bol : l'une sur la dune, une dizaine de mètres au dessus du niveau du Lac, une seconde sur une île du Lac, proche du rivage; la troisième enfin, sur le polder même, à Matafo. Les observations pédologiques de terrain présentées dans ce rapport ayant le plus souvent trait à l'année 1964, une référence spéciale sera faite aux données météorologiques de cette même année (4).

1. Température.

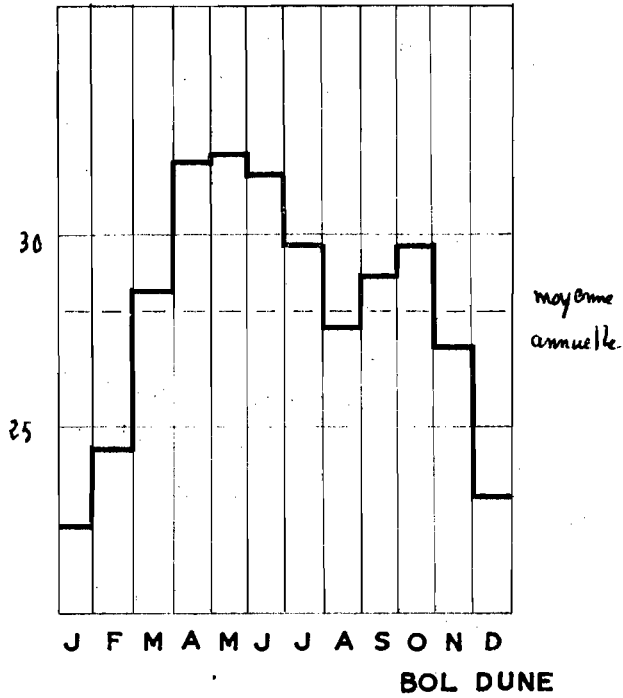
La température de l'air présente au cours de l'année deux maxima : le plus élevé en avril-mai (maxima moyens : 39°), le second en octobre. L'effet rafraichissant de la saison des pluies se manifeste entre ces deux pointes. Les amplitudes journalière sont marquées : amplitude moyenne de 13° sur la dune.

2. Hygrométrie.

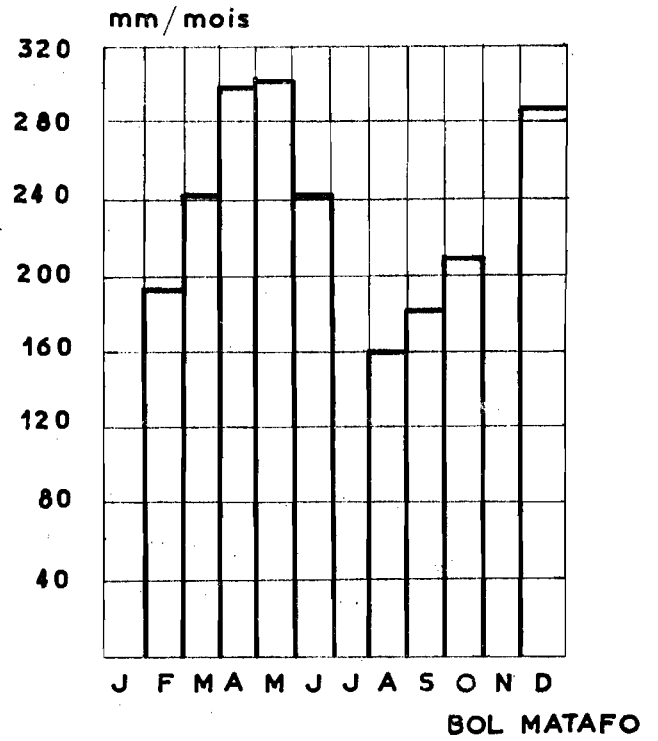
L'Hygrométrie la plus faible est notée en mars (17 % à 12 heures) et augmente ensuite jusqu'en août (74 % à 12 heures). En saison sèche, les hygrométries à la surface du polder sont plus élevées que celles au sommet de la dune.

.../...

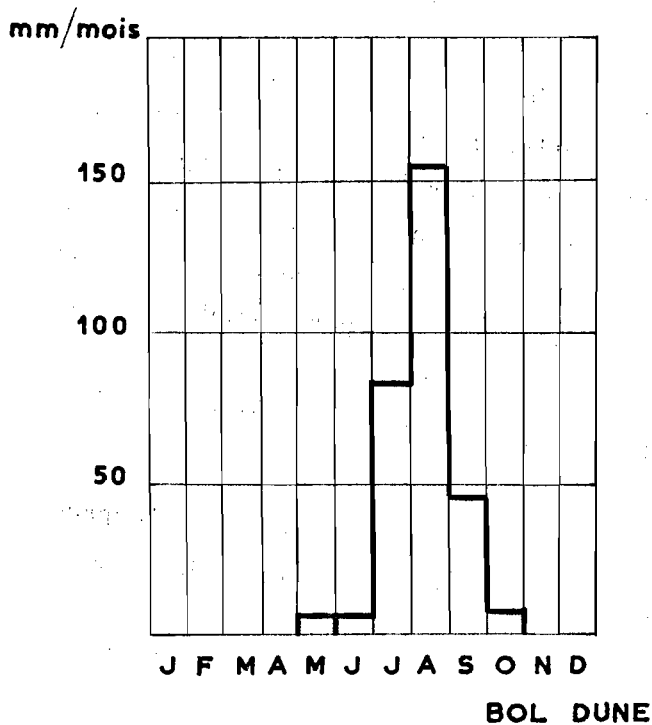
TEMPÉRATURES MENSUELLES
MOYENNES (9 Années d'observation)



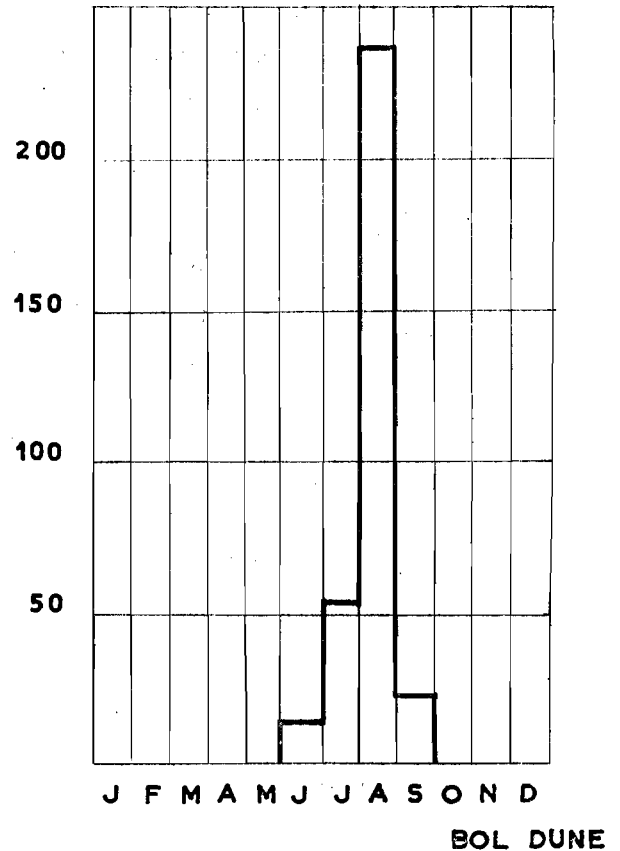
ÉVAPORATION EN BAC COLORADO
Enterré (Année 1964)



PRÉCIPITATIONS MENSUELLES
Moyennes de 29 années d'observation



PLUVIOMÉTRIE EN 1964



3. Evaporation.

Des bacs Colorados installés dans les trois stations permettent de mesurer l'évaporation d'une surface donnée d'eau libre. Cette évaporation annuelle sur le polder (bac Colorado enterré) est de l'ordre de 3 200 mm, et présente deux maxima : l'un en février-mars, l'autre en octobre-novembre (la courbe de variation annuelle revêt donc une allure comparable à celle des températures). En 1964, l'évaporation fut légèrement supérieure à la moyenne, par suite d'une saison sèche elle-même plus marquée.

Dans l'étude des processus pédologiques : salinisation par remontée d'eau à partir d'une nappe phréatique en particulier, l'évaporation représente un facteur climatique-clé. Une meilleure estimation de l'évaporation réelle en surface des polders s'avère nécessaire. Elle est tentée par deux biais :

- Calcul de l'évaporation potentielle par la formule de PENMANN (quelques chiffres sont fournis plus loin).
- Mesure de l'évapotranspiration potentielle par la méthode de THORNWHAITE : un tel dispositif (évapotranspiromètre) est en place depuis peu sur le polder.

4. Pluviométrie.

La moyenne annuelle, sur 29 années d'observation, est de 292 mm, avec de très fortes variations inter-annuelles : les extrêmes signalés sont respectivement de 46 et 700 mm. En 1964, la pluviométrie fut de 327 mm, soit légèrement supérieure à la moyenne, mais exceptionnellement concentrée (235 mm pour le seul mois d'août). Généralement, les pluies sont peu nombreuses, mais intenses : des averses de plus de 60 mm par exemple ont une période de retour de trois ans; elles commencent par une courte période à forte intensité, jusqu'à 210 mm/h, puis, au bout de 5 à 10 minutes, l'intensité baisse.

Cette pluviométrie, enfin, est très hétérogène dans l'espace; 18 pluviomètres sont implantés dans les deux polders de Bol - Guini et

Bol - Bérim : les chiffres obtenus varient entre 219 et 365 mm, soit une très forte dispersion (4).

5. Calcul de quelques indices climatiques.

- Indice de DE MARTONNE : $I = P/T + 10 = 3$
- Indice d'AUBERT-HENIN : $I = \frac{agp^3}{I + agp} 2 = 13$ mm (sur dune, avec $a = 2$).
- Calcul mensuel de la différence entre la pluviométrie (moyenne des années d'observation) et l'évaporation potentielle calculée d'après la formule de PENMANN :

	Juillet	Août	Septembre
Pluviométrie	70	154	46
E.T.P. PENMANN	209	182	195
P - ETP	négatif	nég.	nég.

Ces indices traduisent tous un climat assez aride. Mais le pédoclimat des sols de polders étant avant tout sous la dépendance d'une nappe phréatique peu profonde, ils ne seront pas utilisés, du moins sous cette forme, dans l'étude pédologique.

-----ooOOoo-----

B. GEOLOGIE

I. LES DUNES SABLEUSES

Oreintées Nord/Ouest/Sud-Est, larges d'un km environ, ces dunes dominant les eaux du Lac d'une dizaine de mètres et les polders de 12 à 14 m. Les sables sont éolisés (grains ronds, mats), mais conservent certains caractères d'émoûssés luisants, un peu translucides. Leur étude minéralogique (7) met en évidence la grande homogénéité de la couche sableuse sur une épaisseur de 70 m au moins. Les minéraux trouvés : zircon, tourmaline, épidote, sont très résistants. La présence d'une association volcanique (titanite, augite, hornblende) laisse supposer que cette couche proviendrait de formations anciennes et altérées du Tibesti.

L'hypothèse d'un transport fluviatile de ces sables, par des fleuves venant du Nord, et d'une reprise sur place par le vent, aboutissant au système dunaire actuel, a été avancée (3) (8). Les principales unités pédologiques différenciées sur ces formations dunaires (6) sont des :

- Sols peu évolués; non climatiques; à faciès brun-subaride; (sur remaniement éolien récent).
- Sols steppiques; brun subarides ou brun-rouge; (sur la partie haute, faiblement vallonnée des dunes).

-----ooOoo-----

II. LES POLDERS : ETUDE DU MATERIAU.

a) Méthodes d'Etude.

Les polders correspondent aux interdunes. Dans ces parties basses, les sables sont recouverts d'une couche d'éléments fins, allant jusqu'à 12 m d'épaisseur, à dominance limoneuse à la base, argileuse au sommet.

b) Caractères de l'argile fissurée

L'argile fissurée est le matériau qui constitue le plus souvent la base des profils (entre 50 et 200 cm de profondeur). Sa composition granulométrique apparaît assez homogène d'un point à l'autre des deux polders étudiés (voir tableau) : 60 % d'argile, 10 % de limon, 2 % de limon grossier. Les pourcentages, plus variés, de sables fins et grossiers sont fonction de l'éloignement des points de prélèvement par rapport aux pentes dunaires sableuses.

	Argile 0-2 μ	Limon 2-20 μ	Limon grossier 20-50 μ	Sable fin 50-200 μ	Sable grossier 200-2 000 μ
Nord-Est Guini 80-90 cm	62	8	2	10	11
Nord-Guini 40-50 cm	58	9	2	22	2
Nord-Bérin 55-65 cm	59	13	3	8	1
Sud-Guini 50-60 cm	70	11	2	2	2
Sud-Bérin 100-120 cm	53	10	1	11	1

1 - Texture

Elle est argilo-humifère ou humo-argileuse, car la teneur en matière organique est élevée : 6 à 12 % (la terminologie employée est celle proposée par HENIN) (10). Il s'agit d'une matière organique bien humifiée, très bien liée à la matière minérale, à C/N compris le plus souvent entre 10 et 14.

Les données sur la nature minéralogique de cette argile sont encore rares. M. SIEFFERMANN a interprété les diagrammes A.T.D. de six échantillons de ce matériau argileux comme traduisant la présence d'un minéral kaolinitique mal cristallisé, probablement interstratifié à une

montmorillonite. L'examen au microscope d'argile dispersée fournit un élément nouveau intéressant : certains des échantillons sont très riches en diatomées; d'autres en sont pratiquement dépourvus. D'ailleurs, parmi les six diagrammes d'A.T.D., l'un présente un crochet à 550° interprété comme dû à du quartz finement divisé et qui pourrait correspondre à la présence de ces diatomées.

Les sondages profonds de la Mission Hollandaise ont montré que ce dépôt, correspondant à une transgression récente, n'est pas le seul dépôt sédimentaire lié aux eaux du Lac; d'autres couches ou lentilles, argileuses ou limoneuses, sont enfouies plus profondément, témoins dans l'histoire géologique de cette région, des phases de transgression et régression lacustres (3) (II). Seule sera étudiée dans ces pages la couche superficielle de 2 à 3 m d'épaisseur. Les processus d'hydromorphie, d'halomorphie, de Calcimorphie intéressant cette couche seront en effet considérés comme :

- liés à l'action d'une nappe phréatique peu profonde dont la zone de battement se situe entre 0 et 200 cm de profondeur, suivant l'endroit et la saison considérés.
- actuels, c'est à dire n'ayant commencé à jouer comme facteur de différenciation des profils que depuis l'exondation artificielle, récente, des terres, voici environ dix ans.

Dans cette optique, toute caractéristique morphologique ou analytique qui apparaîtra comme liée soit à des conditions de sédimentation dans les eaux du Lac, soit à des processus pédologiques anciens (exondation antérieure par exemple), sera considérée comme caractéristique du matériau lui-même. Pour définir ce matériau, les moyens d'études suivants ont été employés :

- Examen morphologique des profils (150 profils observés).
- Analyse granulométrique (70 échantillons analysés à Fort-Lamy).
- Analyse thermique différentielle (6 échantillons analysés à Yaoundé grâce à l'obligeance de M. STEFFERMANN).
- Analyse totale (méthode triacide) : 5 échantillons analysés à Bondy.

- Examen au microscope d'échantillons d'argile dispersée : recherche des diatomées.
- Examen de la matière organique et de son degré de décomposition.

2 - Structure

C'est une caractéristique du matériau : elle est prismatique grossière, fortement développée, avec fréquemment des fentes de retrait; cette structure sera considérée comme antérieure à l'exondation récente (10 ans), car on l'observe dans des parties du polder (Bérim Sud) qui, elles, n'ont jamais été exondées. Son origine pourrait correspondre à une forte dessiccation, non irréversible, lors d'une phase d'exondation antérieure.

Le comportement de cette structure en conditions d'engorgement total (sous la nappe phréatique notamment) traduit d'autres propriétés physiques de ce matériau : sa plasticité et son pouvoir de gonflement à l'eau sont réduits. On observe en effet fréquemment que, sous l'eau, les fentes de retrait se rétrécissent, mais ne disparaissent pas.

3 - Caractères chimiques

C'est un matériau chimiquement très riche : sa capacité d'échange est comprise entre 25 et 40 m.eq/100 g de sol, en corrélation avec la teneur en matière organique. Les teneurs en magnésium (3 à 10 m.eq.) et en potassium (0,5 à 1 m.eq.) sont assez constantes. Les teneurs en Ca et Na semblent plus liées aux processus pédologiques actuels, mais sont difficiles à saisir par les méthodes d'analyses actuelles. Ce matériau sera désigné sous le terme d'"argile fissurée" dans la suite de ce rapport.

c) Autres matériaux

Dans une grande partie des polders (bordure Ouest, zone Nord de Bol Guini, zone Nord de Bol Bérim), l'argile fissurée précédemment définie occupe la totalité du profil; par contre, dans l'extrémité Sud du

polder Guini, et de Bérin, d'autres matériaux la recouvrent, sur les 20 à 50 cm superficiels.

La caractérisation minéralogique de ces matériaux, les observations sur leur succession et leur extension sont encore insuffisantes pour en tirer des conclusions d'ordre sédimentologique (niveaux et conditions de sédimentation dans le Lac lors des derniers millénaires). Seront simplement signalés les matériaux suivants, observés dans la partie Sud des deux polders :

- Un matériau argilo-limoneux, de couleur plus claire que l'argile fissurée, à structure nettement moins développée, moins consistante, plus plastique.

- Un matériau enrichi en matière organique moins bien décomposée allant parfois jusqu'à la tourbe argileuse.

d) Conclusion

Un problème délicat d'interprétation se posera devant certains profils : les horizons décelés sont-ils des horizons pédologiques, liés aux processus actuels (ou parfois à des processus ayant joué lors d'expansions antérieures), ou bien des niveaux sédimentaires ? Ce type de jugement sera porté et la distinction sera tentée à l'occasion des descriptions de profils présentées séquence par séquence.

-----ooOOoo-----

C. VEGETATION

Les dunes sableuses sont le domaine de la pseudo-steppe arbus-tive à Acacia Raddiana, Balanites Aegyptiaca, Leptadenia spartium. Dans la strate herbacée, Aristida pallida, Hyparrhenia ruffa dominant. Les nombreux villages installés sur ces dunes, leurs troupeaux, ont entraîné une dégradation de cette pseudo-steppe : le nombre des Acacias diminue, alors que le Calotropis procera prolifère.

Quant aux polders, pour rendre compte de leur végétation, il est d'abord nécessaire de résumer quelques points de leur régime hydrique. Malgré leur isolement du Lac depuis plus de dix ans, ces polders ne sont pas complètement asséchés; des infiltrations d'eau venant du Lac compensent des pertes d'eau par évaporation, et entretiennent en certaines zones basses des nappes d'eau libre permanente (en particulier près des barrages). Entre ces zones submergées et les terres constamment exondées (et cultivées), prend place toute une gamme de terrains; ceux-ci, chaque année, sont inondés plus ou moins longuement, après les premières fortes pluies et la remontée du niveau de la nappe qui en résulte.

Cette zone intermédiaire est le domaine des roseaux et des prairies. La séquence de roseaux la plus fréquemment observée, en allant de la dune vers le centre du polder, comporte :

- une ceinture de Phragmites sp., aussi bien sur les bas de pentes sableuses que dans les terres argileuses de bordure.
- ensuite, une autre zone concentrique de Typha cf. Australis, correspondant à une submersion quasi-permanente.
- enfin, vers les parties basses, une zone moins homogène, où l'on observe encore les Typha, mais avec Cypérus papyrus, Polygonum sp., Herminiera melanoxylon.

Les prairies, elles, n'existent que lorsque la submersion est temporaire. La surface qu'elles occupent est réduite; les plus communes sont des : - prairies à Paspalum cf. commersonii. - prairies à Cynodon dactylon. - prairies à Leptocloa sp. (associé à des Sesbania).

Là où la nappe phréatique est proche de la surface, Hypoméa aquatica apparaît. On peut également signaler la présence de graminées telles Echinocloa, Vétivéria, de Carex autre que le Cypérus papyrus, de Juncus. Les Sporobolus, par contre, observés dans les ouaddis voisins ne l'ont pas été dans les polders.

Tous ces genres et espèces se retrouvent dans des conditions de salinité fort diverses. Ainsi, une petite mare en voie d'assèchement (conductivité de l'eau : 4 m.mhos; nappe phréatique du secteur au même niveau de salinité) est conquise, à partir de ses bords, concurremment, par le Cynodon dactylon, un Leptocloa, une Cypéracée; des mares nettement moins salées sont conquises par les mêmes plantes. On ne peut donc mettre en évidence actuellement une végétation spécialement adaptée à l'halomorphie et qui par là même servirait d'indicateur dans la recherche des sols particulièrement salés.

-----ooOoo-----

D. VARIATION DU NIVEAU DU LAC

Il est nécessaire d'envisager, parmi les facteurs du milieu, le niveau du Lac et ses variations. Ce niveau varie d'année en année (en fonction de l'apport du fleuve Chari, de la pluviométrie, de l'évaporation ...). Notons par exemple qu'en 1908 la cote du Lac était à 280,3 m (surface totale inondée : 13.700 km²). En 1956, cette cote atteignait 282,95 m. (surface inondée : 23 590 km²). Le maximum fut atteint en Janvier 1963. Depuis ce maximum annuel reste stationnaire, avec une très légère baisse en 1964. Ce ne sont là que des variations récentes, mesurées.

Il apparaîtra que ce niveau du Lac influe sur l'intensité de l'infiltration d'eaux vers la nappe phréatique sous le polder.

-----ooOoo-----

II - ETUDE PEDOLOGIQUE

A. METHODE D'ETUDE : CHOIX ET IMPLANTATION DE
CINQ SEQUENCES DE SOLS

I - CHOIX DES SEQUENCES.

Une nappe phréatique, partout présente à faible profondeur, se révèle le principal facteur pédogénétique actuel; en effet :

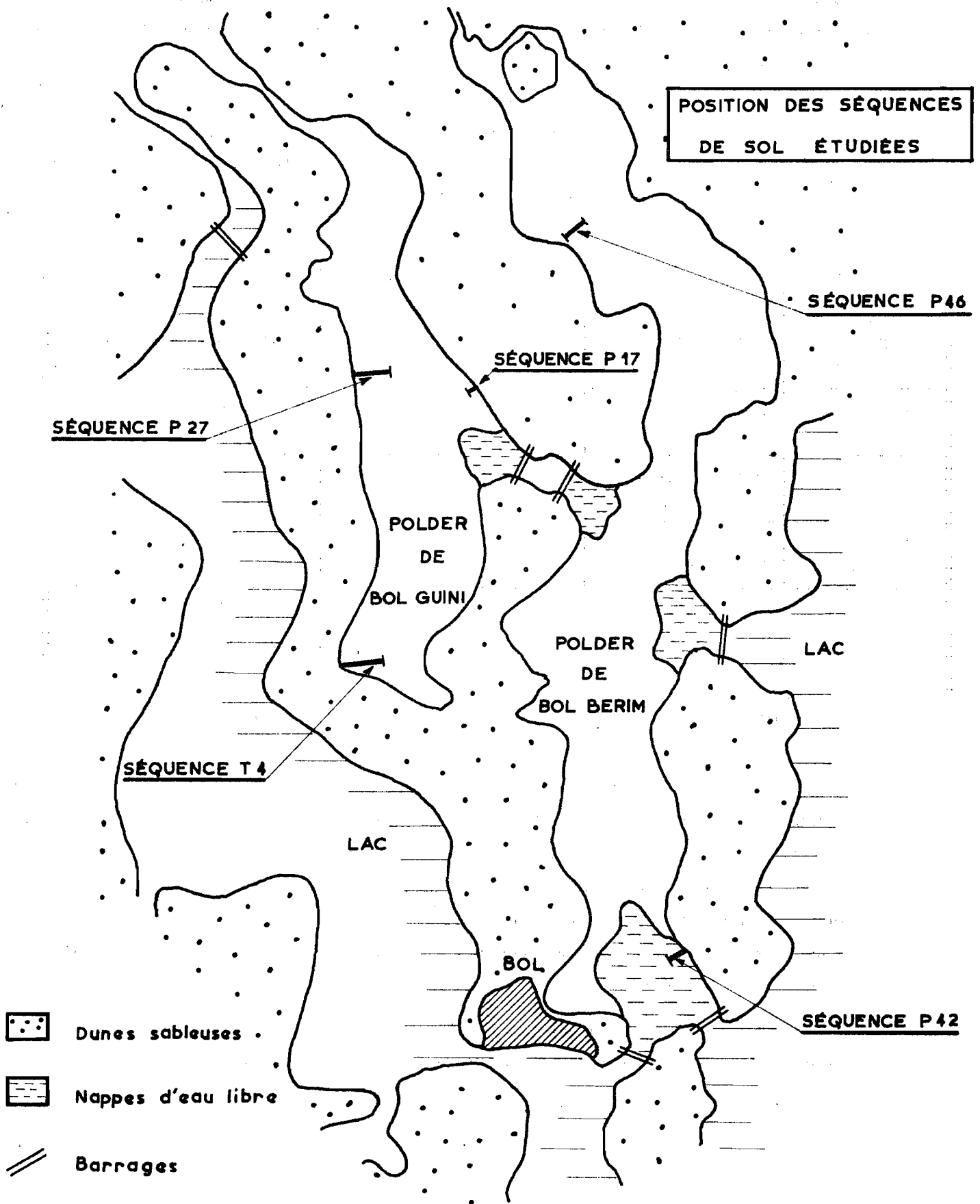
- l'hydromorphie (engorgement total ou non, temporaire ou non, parfois submersion),
- la salinisation (remontée de sels à partir de la nappe par la frange capillaire; cristallisation de ces sels en surface),
- l'alcalisation (forte proportion de sodium fixé sur le complexe),
- la carbonatation (accumulation de carbonates à faible profondeur),

sont autant de processus liés à la présence de cette nappe et à ses caractéristiques : pente - profondeur par rapport à la surface - niveau de salinité - nature des sels dissous. Des études antérieures (7) (12) (13) ont montré que l'on pouvait définir dans un polder des "secteurs" à l'intérieur desquels la nappe présente des traits communs. Ceci avant tout pour des raisons hydrogéologiques : mouvements latéraux de nappe, zones d'alimentation privilégiées de celle-ci à partir de niveaux aquifères plus profonds.

C'est en fonction de ces considérations que fut adoptée la méthode d'étude suivante : cinq séquences de sols, longues de 50 à 300 m, larges de 10 à 20 m furent choisies; orientées perpendiculairement aux dunes ces séquences partent des points hauts du polder vers ses parties basses, centrales; le long de la séquence, à un moment donné, toute une gamme de profondeurs décroissantes de la nappe par rapport à la surface du sol peut ainsi être observée.

.../...

LES POLDERS DE BOL GUINI ET BOL BERIM



Chacune de ces séquences se situe dans l'un des "secteurs" de polder défini plus haut et correspond donc à un type, chimique notamment, de nappe phréatique. Ainsi, la séquence P.27 aura une nappe phréatique faiblement salée, à forte dureté carbonique, - la séquence P. 17 une nappe fortement salée, mais sans caractère alcalisant, - la séquence T.4 une nappe salée et alcalisante, - la séquence P.46 une nappe moyennement salée. La dernière séquence correspond à une partie basse de polder constamment submergée et fut choisie pour ce trait particulier.

Nom de la séquence	Localisation	Conductivité (m.mhos) de la nappe	Caractère chimique de la nappe
P.27 (P)	Polder Guini bordure Ouest	0,5 à 1	dominance des anions HCO_3^- et cations Ca^{++}
P.17 (Q)	Polder Guini bordure Est	5 à 9	dominance de l'anion SO_4^{--} sur HCO_3^-
T.4 (R)	Polder Guini corne Sud/O.	3 à 6	dominance des anions HCO_3^- et cations Na^+
P.46 (S)	Polder Bérin Zone Nord	2 à 3	équilibre $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{--}$ et $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$
P. 42 (T)	Polder Bérin zone Sud	2 à 3	nappe d'eau libre permanente.

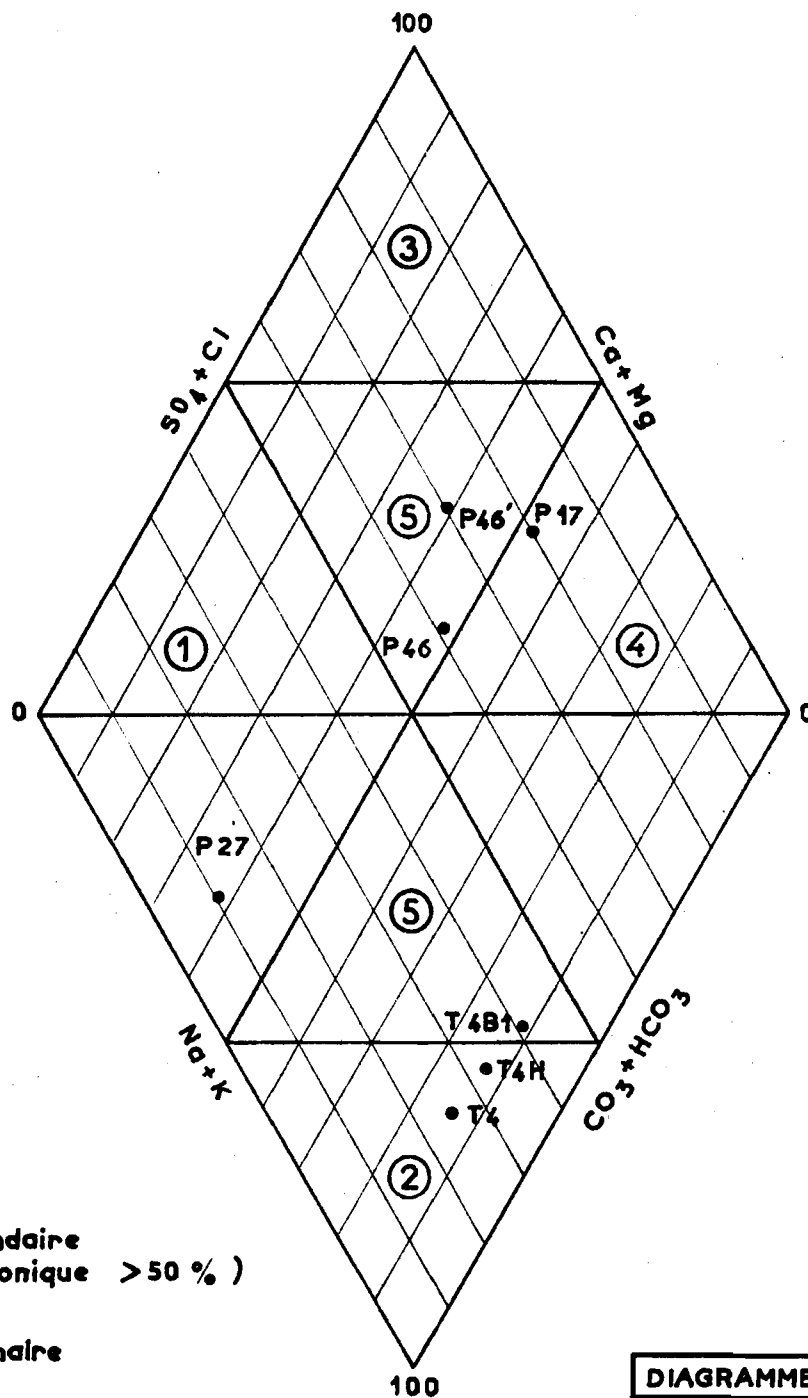
(P), (Q) ... : symboles utilisés pour désigner chaque séquence dans les numérotations de profils.

Les caractères chimiques de la nappe ne sont évidemment pas constants à l'échelle des 50 à 300 m de longueur de chacune des séquences; C'est pourquoi deux valeurs figurent dans la colonne "conductivité de la nappe", et elles représentent les valeurs extrêmes mesurées parmi les nombreuses observations effectuées le long de chaque séquence. Cette hétérogénéité sera jugée comme secondaire par rapport à celle qui existe entre les différentes séquences.

Le diagramme de PIPER (15) fournit une représentation commode pour mettre en évidence les différences de nature entre les types de nappe

CARACTÈRE CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

AU NIVEAU DES SÉQUENCES de SOLS ETUDIÉES



- ① Alcalinité secondaire (dureté carbonique > 50 %)
- ② Alcalinité primaire
- ③ Salinité secondaire
- ④ Salinité primaire
- ⑤ Aucune des propriétés précédentes

DIAGRAMME DE PIPER

(voir graphique n° 4). On remarque que les quatre séquences représentées (par 1, 2 ou 3 analyses d'eau) correspondent chacune à une catégorie du diagramme. Si le passage d'une eau faiblement salée (cas de P.27) à une eau fortement salée (cas de P.17, T.4) s'accompagne systématiquement d'une importance plus grande prise par le sodium vis à vis du calcium (par suite de la faible solubilité des sels de calcium), l'importance relative des sulfates et des bicarbonates se révèle une caractéristique importante de l'eau et par suite du sol. Il apparaîtra en effet que l'alcalisation des sols ne se manifeste que lorsque les bicarbonates prennent une place prépondérante par rapport aux sulfates au niveau de la nappe. (Opposition entre la séquence P.17 et la séquence T.4).

II - IMPLANTATION DES SEQUENCES.

L'implantation de chaque séquence a compris des mesures de planimétrie, d'altimétrie, ainsi que l'installation de piézomètres. Chaque mois (ou tous les deux mois en saison sèche) sont effectuées le long de ces bandes de terrain des observations sur la végétation ou les cultures, l'état de surface et sur un ou plusieurs profils pédologiques.

De plus, sur chaque séquence, trois "emplacements" sont définis : l'un sur la partie haute de la séquence, un autre sur la partie moyenne, le dernier enfin dans la partie basse. Ces "emplacements" sont des zones d'environ 200 m², à l'intérieur desquelles sont systématiquement effectuées observations et mesures concernant le régime hydrique des sols (prélèvements de profils hydriques) et le régime des sels (tests de conductivité sur ces mêmes échantillons). Une telle surface est jugée homogène de ce point de vue, ce qui permet les comparaisons de saison à saison.

-----OOoOO-----

B. UNE SEQUENCE DE SOLS A NAPPE PHREATIQUE

FAIBLEMENT SALEE : P.27

I - INTRODUCTION

Située en bordure Ouest du polder Guini, cette séquence, longue de 250 m, est orientée Ouest-Est. Trois parties apparaissent sur le profil en travers (graphique n° 5) :

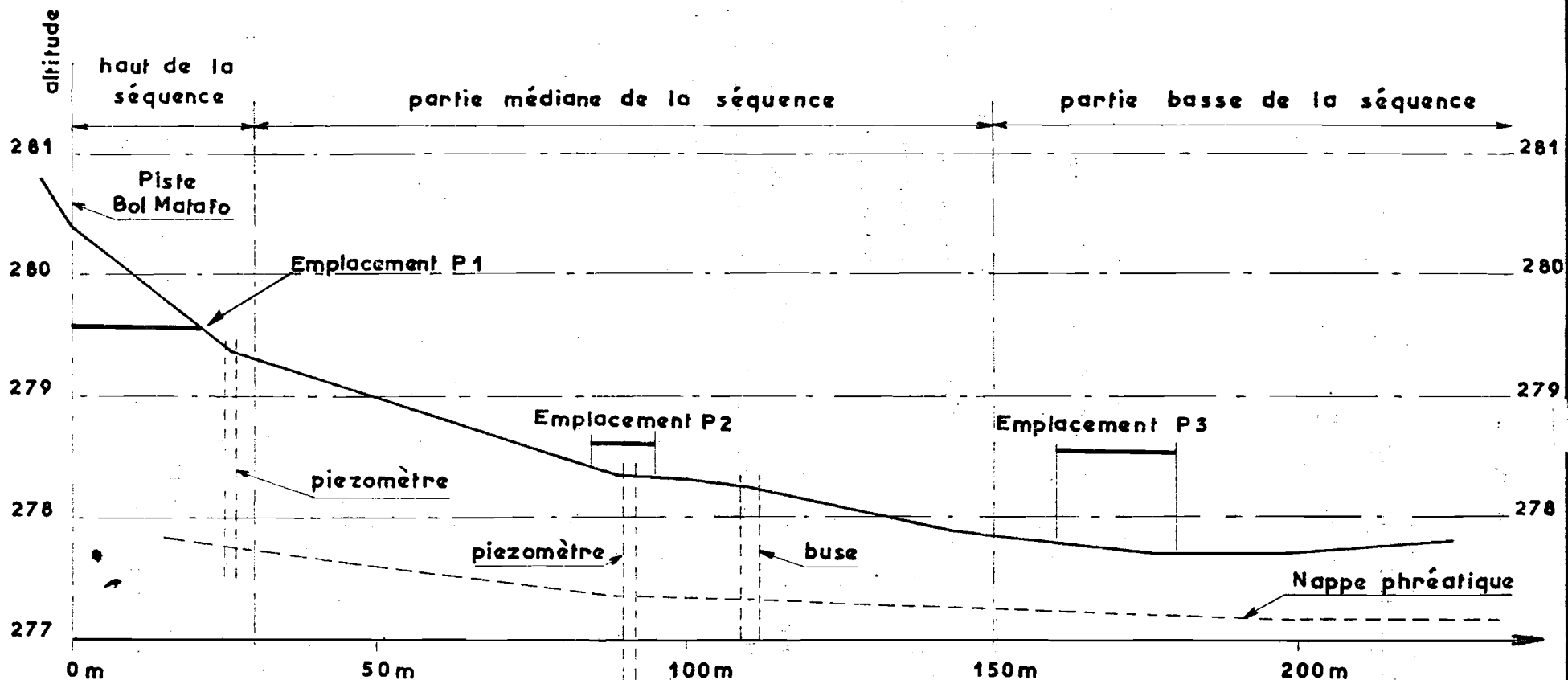
- la partie haute (longueur 35 m) se caractérise par une pente forte (5 % ou plus). C'est le raccordement entre les matériaux sableux de la dune et les matériaux fins du polder proprement dit. La nappe phréatique y étant profonde, cette zone n'est pas ou peu cultivée.
- la partie médiane (longueur 125 m), de pente faible (1 à 1,5 %) régulière; zone très cultivée car la nappe phréatique, peu profonde (toujours à moins de 1,50 m de la surface), ne submerge jamais les sols, même en saison des pluies.
- la partie basse, de pente nulle, submergée pendant 3 à 4 mois; cette zone n'est cultivée qu'en fin de saison sèche (Mars à mi-juillet).

Les sols de cette séquence sont tous des : SOLS HYDROMORPHES, moyennement humifères, humiques à gley, faiblement salés. Mais, suivant la partie de la séquence et la période de l'année où le profil est observé, ces caractères d'hydromorphie, d'halomorphie sont plus ou moins accusés. Pour étudier leurs différents aspects, trois "emplacements" (terme dont la signification a été définie dans le chapitre précédent) furent choisis : P.1, P.2, P.3, représentatifs des trois parties de la séquence.

Le plan adopté pour l'étude de cette séquence répondra aux préoccupations suivantes : en premier lieu, présenter les caractéristiques

.../...

PROFIL EN TRAVERS DE LA SÉQUENCE DE SOLS P 27



Echelle: 10 m

Ouest

Est

locales de la nappe phréatique, considérée comme facteur-clé de l'évolution des sols. Ensuite, par l'étude d'un profil donné de la séquence, traduire la complexité d'une bonne caractérisation d'un sol de polder, de sa classification. Reprendre l'étude des principaux processus en cause, là où leurs manifestations sont les plus intéressantes : "emplacements" P.2 et P.3 pour l'hydromorphie et l'halomorphie, "emplacement" P.1 pour la carbonatation. Enfin, tenter une synthèse des données précédentes, à l'échelle de la séquence, sous forme d'une appréciation de la fertilité des sols. Ces rubriques sont ainsi présentées :

II - LA NAPPE PHREATIQUE, au niveau de la séquence.

III - ETUDE D'UN PROFIL DE LA SEQUENCE : P.2 1.*

* La numérotation des profils, valable pour toute l'étude, se compose de trois signes; une lettre, symbole de la séquence (voir page 20); - un premier chiffre, qui correspond à l'emplacement; - un deuxième chiffre qui est une indication de date de l'observation. Ainsi, le profil P.2 1. est un profil de la séquence P.27 (P), situé à l'intérieur de l'emplacement P.2., observé lors de la première série d'observations effectuées dans ce programme, soit en décembre 1964.

IV - LES PROCESSUS D'HYDROMORPHIE ET D'HALOMORPHIE, dans leurs manifestations :

- en partie médiane de la séquence (sols qui ne sont jamais submergés).
- en partie basse (sols soumis à une submersion temporaire).

V - LE PROCESSUS DE CARBONATATION*, en haut de séquence.

* Le terme de carbonatation sera préféré à celui de calcimorphie lorsque la présence d'un horizon riche en carbonates de calcium sera sans influence morphologique sur les autres horizons du profil.

VI - CONCLUSION : FERTILITE DES SOLS DE LA SEQUENCE, en rapport avec l'action des processus précédents.

II - LA NAPPE PHREATIQUE, au niveau de la séquence.

A - SON NIVEAU.

Le graphique n° 6 présente les variations au cours de l'année du niveau de la nappe en P.27; (observations sur une buse, proche de l'emplacement P.2, installée depuis plusieurs années). Variations dont voici les principaux traits :

- En année de pluviométrie normale (cas de l'année 1964 avec 289 mm) le niveau de la nappe passe très rapidement du minimum au maximum (soit une amplitude de 70 cm) après les fortes pluies.
- Au cours des dix mois suivants, le niveau de la nappe baisse d'abord rapidement (fin Septembre, Octobre), puis régulièrement. Le palier observé en Janvier-Février est attribué à l'influence du Lac Tchad, dont le niveau est alors à son maximum annuel (12). L'irrigation, pratiquée avec les eaux de la nappe durant cette saison sèche, peut, si la mesure est effectuée très rapidement après, entraîner des perturbations (à caractère très temporaire, étant donnée la forte perméabilité du matériau).

Sur ce même graphique sont représentés par des traits horizontaux les niveaux de l'emplacement P.2 (partie médiane de la séquence) et de l'emplacement P.3 (partie basse); est ainsi mise en évidence, par exemple, la submersion pendant trois mois de la partie basse et le fait que, pendant les trois mois suivants encore, la nappe y reste très proche de la surface. Ces considérations seront reprises lors de l'étude du processus de salinisation.

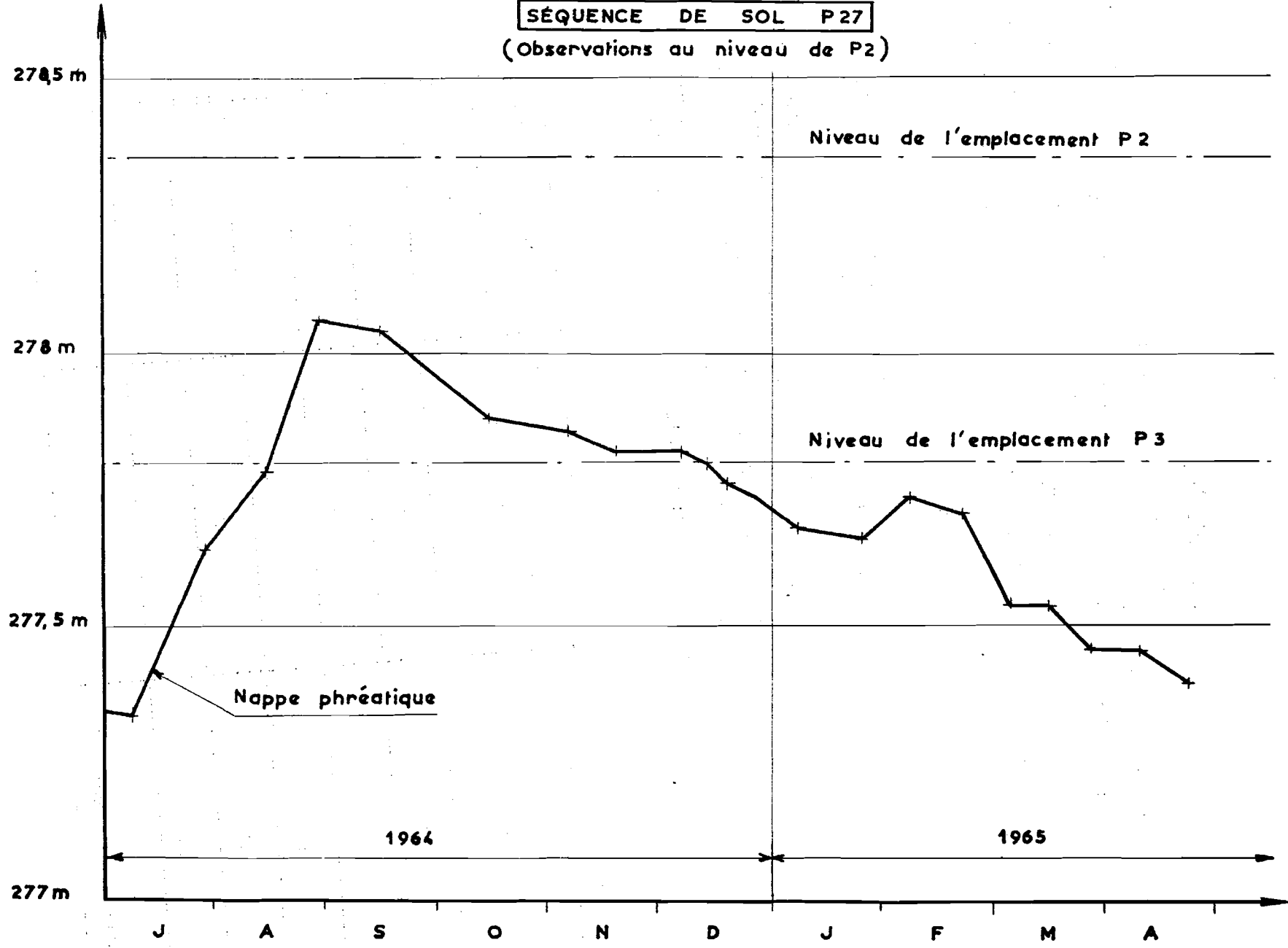
B - SA PENTE.

La nappe phréatique est en pente, faible, suivant l'axe de la séquence (Ouest-Est), vers le centre du polder. Les mesures de nivellement associées aux mesures de profondeur de la nappe indiquent une pente de 0,5 % entre 20 et 90 m de la piste (piste qui sert de repère Ouest, voir le graphique n° 5), de 0,2 à 0,3 % entre 90 et 160 m, la pente devenant indécélable dans la partie basse de la séquence.

VARIATION DU NIVEAU DE LA NAPPE

SÉQUENCE DE SOL P27

(Observations au niveau de P2)



C - SALINITE DE LA NAPPE.

Les échantillons d'eau furent prélevés dans la buse déjà citée, dans les piézomètres récemment installés, dans des "chaddoufs" en fonctionnement : ces "chaddoufs" sont des puits d'où les cultivateurs locaux tirent l'eau pour irriguer leurs terres (par submersion de petites parcelles carrées d'un mètre de côté). L'eau prélevée au fond de sondages à la tarière est également, après décantation, soumise à une mesure de conductivité (conductimètre CHAUVIN et ARNOUX).

Des nombreuses mesures effectuées, il ressort que la salinité de la nappe croît régulièrement d'Ouest en Est, passant de 0,4 à 1 m.mho en extrémité de séquence, ce qui correspond à une teneur en sels de 0,25 à 0,6 g/l. Au niveau de la séquence P.27 la nappe phréatique est donc faiblement salée. Si l'on prolonge les prélèvements, au delà des limites de la séquence, dans la même direction (Est), on constate que le gradient de salinité croissante ne fait que s'accroître: le tableau présente une série d'observations effectuées en Mai 1965.

Localisation (distance en m./piste)	Profondeur de la nappe/ surface du sol. (cm)	Conductivité de la nappe en m.mhos.
200 (extrémité séquence)	54	1,0
350	54	1,0
450	52	1,2
550	51	1,8
650	30	4,5
720	70	7,0
800 (bordure Est du polder)	98	8,5

Ce tableau met déjà en évidence l'opposition entre la bordure Ouest du polder, large de 300 m, où la nappe phréatique est faiblement salée et la bordure Est qui paraît constituer par sa nappe un véritable réservoir de sels. La séquence P.27 sera jugée représentative de la bordure Ouest.

Variations de cette salinité au cours de l'année.

Les résultats obtenus depuis la mise en place du programme sont résumés sous forme de tableau. Les chiffres relatifs à l'emplacement P.1 représentent la valeur moyenne des mesures effectuées aux quatre chaddoufs situés à ce niveau. Il en est de même dans la première colonne relative à l'emplacement P.2. La deuxième colonne concerne la buse proche de P.2. A l'emplacement P.3, enfin, les eaux furent prélevées par sondage à la tarière. Les valeurs sont des valeurs de conductivité, exprimées en m.mhos :

	Emplacement P.1	Emplacement P.2		Emplacement P.3
Décembre 1964	0,5	0,8	0,9	1,0
Janvier 1965	0,5	0,8	1,0	1,0
Février -	0,4	0,8	1,1	-
Mai -	0,6	0,8	2,0	1,0
Juillet -	0,5	0,7	1,5	0,8
7 Août -	-	0,9	0,9	1,7

- Il apparaît qu'en saison sèche la salinité de la nappe ne varie pas de manière significative. Seules les valeurs relatives à la buse augmentent : il s'agit là d'un phénomène, localisé à l'eau de la buse, de concentration par évaporation.
- En début de saison des pluies 1965 (120 mm de pluie sont tombés entre le 1^{er} Juillet et le 10 Août), la salinité paraît augmenter dans la partie basse de la séquence. Elle ne varie pas ailleurs.

III - ETUDE D'UN PROFIL DE LA SEQUENCE : P.2.I. Introduction aux divers problèmes pédologiques posés par les sols de polders.

A - CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE.

Le profil P.2.I, situé à 90 m de la piste, en pente Est de 1 %, fut observé le 15 Décembre 1964; la nappe était alors à 56 cm de profondeur; la surface du sol dénudée, sans végétation.

0 - 8 cm : sec sur le cm. supérieur, légèrement humide ensuite; gris-sombre (10 YR 4/1, sec: 10 YR 2/1, humide); texture humo-argilo-sableuse; les divers éléments structuraux sont juxtaposés sans aucune liaison entre eux. Ces éléments sont :

- des polyèdres de 0,5 à 5 cm, bien individualisés, tachés jaune-rouge (assez nombreuses petites taches, diffuses, sur les faces), durs (peu déformables, mêmes humides), non poreux*, faiblement carbonatés.

* Dans toutes les descriptions de profil, la porosité s'appliquera aux éléments structuraux et non à l'horizon.

- des éléments arrondis de 2 à 3 cm, peu cohérents; sous une faible pression de la main; ils se résolvent en très petits polyèdres de 2 à 5 mm, et en poussière fine; assez poreux; faiblement carbonatés; ce sont des agrégats.

- des sables moyens et grossiers, aux faces grises, déliés.

Passage distinct, irrégulier à :

8 - 24 cm : humide, brun-gris (2,5 Y 5/2; 2,5 Y 2/2); nombreuses petites taches brun-sombre (7,5 YR 5/6), distinctes; texture humo-argilo-sableuse passant à humo-argilo-limoneuse; structure polyédrique moyenne, faiblement développée; peu dur; non poreux; carbonaté; enracinement fin, dense, non taché. Cet horizon se présente en fait sous forme d'une série de poches presque jointives, séparées par des zones proches, dans leurs caractères, de l'horizon 0 - 3 cm. Passage distinct à :

.../...

24 - 56 cm : humide; gris très sombre (apparition d'une teinte gleyeuse : 10 YR 3,5/1; 5 GY 4/1); nombreuses taches, de taille moyenne, de couleur brun-sombre ou jaune rouge (notamment 2,5 YR 3/4); texture argilo-humifère; structure prismatique grossière, fortement développée, à débits en plaquettes ou polyèdres, à faces de forme conchoïdale; les éléments structuraux sont tachés sur leurs faces, mais pas dans leur masse, peu déformables; non poreux; des lits sableux, d'un mm d'épaisseur, sub-horizontaux, les séparent; non carbonaté; enracinement fin, abondant, presque exclusivement sur les faces des prismes. Passage graduel, régulier à :

56 - 80 cm : (nappe à 56 cm); très humide, gris-verdâtre sombre (5 BG 4/1); non taché; texture argilo-faiblement humifère; structure prismatique grossière, fortement développée, à fentes de retrait verticales, fines; éléments structuraux peu déformables, non poreux; non carbonaté; enracinement très réduit.

De 80 à 120 cm, les mêmes caractéristiques sont observées.

B - INTERPRETATION DU PROFIL.

1°) Le matériau

- Morphologiquement, un seul matériau paraît constituer les divers horizons : l'argile fissurée, avec sa couleur, sa forte teneur en argile, sa structure prismatique bien développée, sa consistance. Des structures de plus en plus fines (plaquettes puis polyèdres), apparaissent vers le haut du profil, par fragmentation des prismes. La dessiccation (au moment de l'exondaison du polder et, chaque année, lorsque le niveau de la nappe phréatique s'abaisse) en est à l'origine; mais les pratiques culturales (arrachage pied par pied du blé et du maïs) accentuent dans l'horizon de surface ce caractère d'émiettement de la structure. La carbonatation a joué sur ce matériau, en particulier entre 8 et 24 cm et s'est manifestée par un éclaircissement de la couleur, une structure moins développée et moins consistante; mais elle a joué sous forme de poches et non d'un niveau régulier.

- Les résultats analytiques (page 112) montrent que le problème du matériau est en fait plus complexe :

- . les deux horizons 0 - 8 cm et 8 - 24 cm sont les plus riches en limon, et en une matière organique bien mêlée à la matière minérale bien humifiée (C/N de 13 à 14); ils ont les plus fortes capacités d'échange (40 m.e./100 g de sol ou plus); la carbonatation joue sur le deuxième horizon (16 % de Ca CO₃).
- . les trois horizons suivants : 24 - 56, 56 - 70 et 70 - 120 cm ont en commun leur texture (typique de l'argile fissurée : 60 % d'argile, II et 16 % de limon), leur absence de carbonatation. Par contre, la teneur en matière organique décroît de 9,6 à 2,2 % et la capacité d'échange de 31 à 18 m.e./100 g de sol; l'examen au microscope révèle que les frustules de diatomées sont nettement plus abondantes à la base du profil (70 - 120 cm) que dans les deux horizons 24 - 56 et 56 - 70.

Malgré ces différences analytiques, le matériau, dans le cas de ce profil et dans l'optique choisie, sera considéré comme unique, sur les 120cm envisagés; ceci en raison de l'homogénéité de la structure le long du profil, et de son comportement à l'eau (faible pouvoir de gonflement à l'eau); les différences analytiques sont à rattacher à de légères variations dans les conditions de sédimentation au fond du Lac. C'est là un problème d'ordre sédimentologique.

2°) Les processus pédologiques actuels

- Hydromorphie.

Le teinte gleyeuse (5 GY 4/1) apparaît vers 25 cm, mais les deux horizons supérieurs ont également subi des phénomènes de réduction, puis d'oxydation du fer (taches brun-jaune à jaune-rouge); l'ensemble du profil est donc touché par l'hydromorphie; la connaissance des variations du niveau de la nappe en ce point le confirme : au moment de l'observation, en Décembre, le niveau est en baisse; son maximum avait été atteint fin Août, juste après les fortes pluies. A ce moment là, toute l'épaisseur du profil était soit submergée, soit en conditions d'engorgement total (voir graphiques de profils hydrique, page 1). La structure et sa consistance n'en avaient guère été affectées.

- Halomorphie. a/ Salinisation.

Les sels sont accumulés dans la partie supérieure du profil (conductivité de l'extrait de saturation de 4,3 m.mhos entre 4 et 14 cm). La salure des horizons suivants est faible, et régulière (0,8 à 0,5 m.mhos). Dans l'horizon supérieur, les rapports bicarbonates sur sulfates d'une part, et calcium sur sodium d'autre part, sont voisins de l'unité; dans les horizons suivants, les sulfates disparaissent et le calcium prend le pas sur le sodium.

La raison de l'accumulation de sels en surface apparaît sur le graphique n° 6 : en Octobre, Novembre, la nappe phréatique alors proche du sol (30 à 50 cm) permettait aux phénomènes de remontée des sels par l'intermédiaire de la frange capillaire, de jouer à plein sous l'influence de l'évaporation; cette remontée ne va pas, ici, jusqu'à l'apparition d'efflorescences salines en surface.

b/ Alcalisation.

Aucun signe d'alcalisation (dégradation de la structure notamment) n'apparaît : la proportion de sodium fixé sur le complexe reste faible : Na/T inférieur à 4 %; le fait que la nappe soit faiblement salée (et par la même que le sodium n'y tienne pas une place prépondérante) l'explique.

- Carbonatation

L'accumulation de carbonates se manifeste entre 15 et 25 cm et a profondément transformé certaines propriétés du matériau (par exemple diminution de la consistance de la structure en milieu engorgé). Ces caractères paraissent trop marqués pour pouvoir être attribués à une carbonatation récente, n'ayant joué que depuis l'exondaison, voici quatorze ans. Ce jugement s'appuiera sur l'étude de la partie haute de la séquence (page 26).

Le caractère de forte dureté carbonique de la nappe conduit certainement aussi à une précipitation actuelle de CaCO_3 , dans la partie supérieure de la zone de battement de la nappe (par baisse de tension de CO_2).

3°) Classification du profil

Deux processus guident le choix de la classe de sol : l'Hydromorphie et l'Halomorphie (assez forte conductivité de l'extrait de saturation jusqu'à 15 cm : supérieure à 4 m.mhos). Dans la plupart des sols de polders, le choix entre ces deux processus, au niveau de la classe, apparaîtra arbitraire : le plus souvent, deux classifications parallèles seront proposées (tableau récapitulatif page 103).

Dans le cas du profil P.2.1, les caractères essentiels du profil sont ainsi classés par ordre d'importance jugée décroissante :

- la présence à faible profondeur d'un horizon de gley.
- la richesse (10 % ou plus sur 50 cm) en une matière organique très bien mêlée à la matière minérale, bien humifiée (C/N=14); le terme d'"Anmoor" pour qualifier ce type de matière organique est provisoirement choisi.
- l'Halomorphie due à une remontée de sels à partir de la nappe; mais il n'y a pas d'efflorescences en surface; la conductivité de l'extrait de saturation est aux environs de la valeur limite de 4 m.mhos et ceci uniquement sur les 15 cm supérieurs.
- enfin, la saturation du complexe absorbant par le magnésium et surtout le calcium.

Cet ordre conduit à la classification suivante :

SOL HYDROMORPHE, moyennement humifère;
sol humique à gley,
faiblement salé, à anmoor calcique.

-----ooOOoo-----

IV - LES PROCESSUS D'HYDROMORPHIE ET D'HALOMORPHIE

dans leurs manifestations :

- en partie médiane de la séquence.
- en partie basse.

.../...

A - INTRODUCTION : METHODES DE MESURES.

Les observations et mesures porteront sur le comportement hydrique des sols au cours de l'année : dessèchement progressif en saison sèche, réhumectation en saison des pluies (directe par le haut du profil, indirecte par remontée du niveau de la nappe). Elles porteront également sur les types de répartition des sels dans les profils à ces diverses périodes. Une interprétation sur les liens qui existent entre régimes hydriques et mouvements des sels dans les profils sera tentée.

Les mesures d'humidité sont effectuées sur des échantillons prélevés en place, à la main, dans des boîtes en aluminium de 125 cm³; ceci jusqu'à 40 cm de profondeur. Les prélèvements profonds, eux, sont effectués à la tarière; tous les échantillons sont passés le jour même à l'étuve. (24 hrs à 100°).

La plupart des mesures de salinité sont en fait des "tests", pratiqués sur les échantillons déjà séchés à l'étuve : échantillonnage de la terre des boîtes, pesée, dilution au 1/5; contact terre-eau de 12 hrs, avec agitations périodiques, mesure de conductivité sur l'eau de décantation.

Sur les graphiques de ce rapport figureront parfois simultanément des courbes de salinité obtenues par la méthode précédente (E.1/5), d'autres obtenues d'après des mesures sur extrait de saturation (E.S.). Dans le cas des sols de Bol, le coefficient permettant de passer d'un type de mesure à l'autre, calculé d'après une série de mesures parallèles, s'avère voisin de 4,5. Mais ce coefficient varie suivant la capacité de rétention et le niveau de salinité de l'échantillon : 4,5 est une valeur fréquemment obtenue pour des échantillons de salinité moyenne.

Dans l'optique choisie, il s'agit simplement de comparer les "domaines" de salinité d'échantillons analysés par des méthodes différentes. C'est pourquoi, dans un but de simplification graphique, l'unité des abscisses (axe des conductivités) représentera 1 m.mho pour l'extrait 1/5, et 4 m.mhos pour l'extrait de saturation.

-----oo00oo-----

.../...

B - HYDROMORPHIE ET HALOMORPHIE AU NIVEAU DE L'EMPLACEMENT P.2

Les manifestations des deux processus seront d'abord envisagées suivant un ordre chronologique :

- en début de saison sèche (1^o Octobre - 15 Décembre).
- en pleine saison sèche (15 Décembre - 30 Juin).
- en début de saison des pluies (1^o Juillet - 10 Août).
- conclusion.

1^o) - En début de saison sèche.

L'étude, dans les pages précédentes, du profil P.2.1, observé en Décembre, a déjà fourni des indications sur cette période. Le profil hydrique de P.2.1 (graphique n^o 7) montre que, durant ces 45 premiers jours de saison sèche, l'humidité de la couche superficielle de sol (0 - 5 cm) est tombée à 10 % alors que tous les horizons sous-jacents, par contre, restent très humides (humidité supérieure à 50 %). Parallèlement, le type de répartition des sels se caractérise par une accumulation en surface (graphique n^o 8).

Cette période est donc marquée par :

- une nappe phréatique proche du sol (30 cm début Octobre), mais dont le niveau baisse (56 cm le 15 Décembre).
- un engorgement total de la partie du sol au dessus de la nappe. Le sol restant dénudé, sous l'influence de l'évaporation, de la forte macroporosité, la couche de sol tout à fait superficielle se dessèche assez profondément et constitue une amorce de "mulch".
- une remontée de sels ou du moins une accumulation relative de sels dans la partie supérieure du profil.

2^o) - En pleine saison sèche - étude du profil P.2.2.

Entre Décembre et Mai, l'emplacement P.2 fut cultivé en blé, avec une irrigation par submersion. L'eau utilisée est celle de la nappe, dont la teneur en sel est d'environ 0,5 g/l. En 12 à 14 irrigations réparties sur cette période, 7.000 m³/ha furent ainsi apportés. La dernière ir-

rigation eut lieu le 20 Avril et le blé fut récolté, par arrachage pied par pied dans les premiers jours de Mai.

Le profil P.2.2, qui sera maintenant étudié, est à 15 m de P.2.1; au même niveau; il fut observé le 15 Mai. La surface du sol était à nouveau dénudée et très motteuse.

a) - Caractérisation morphologique du profil.

- 0 - 7 cm : sec; gris-sombre; humo-argilo-sableux; très remanié par l'arrachage récent du blé : structure fine, fortement développée (les éléments étant indépendants les uns des autres); faiblement carbonaté; pas d'efflorescences salines.
- 7 - 20 cm : sec; brun-gris; texture légèrement plus limoneuse; nombreuses petites taches brun-fer, distinctes; structure polyédrique moyenne, moyennement développée; très carbonaté; certains canaux biologiques sont tapissés d'une pellicule blanchâtre, carbonatée.
- 20 - 40 cm : humide; brun-gris sombre; très taché, brun-fer (7,5 YR 5/6), les taches sont localisées sur les faces des éléments structuraux; argilo-humifère; structure fortement développée, en plaquettes et polyèdres; quelques fentes de retrait, fines; non carbonaté.
- 40 - 70 cm : humide; gris-sombre; peu taché; argilo-humifère; structure prismatique grossière, fortement développée, à fentes de retrait (d'épaisseur inférieure au cm); non carbonaté; juxtaposition d'un enracinement fin taché et d'un autre non taché.
- 70 - 105 cm : très humide; gris-verdâtre sombre (couleur gleyeuse); très taché, soit jaune-rouge vif, soit brun; ces taches, de taille moyenne, aux limites très distinctes, ont jusqu'à un mm d'épaisseur, sont localisées aux faces des prismes; argilo-faiblement humifère; structure prismatique, à fentes de retrait plus fines que de 40 à 70 cm; non carbonaté.
- 105 - 140 cm: (nappe à 105 cm): mêmes caractéristiques, mais disparition presque complète des taches.

b) - Interprétation.

a/ Hydromorphie.

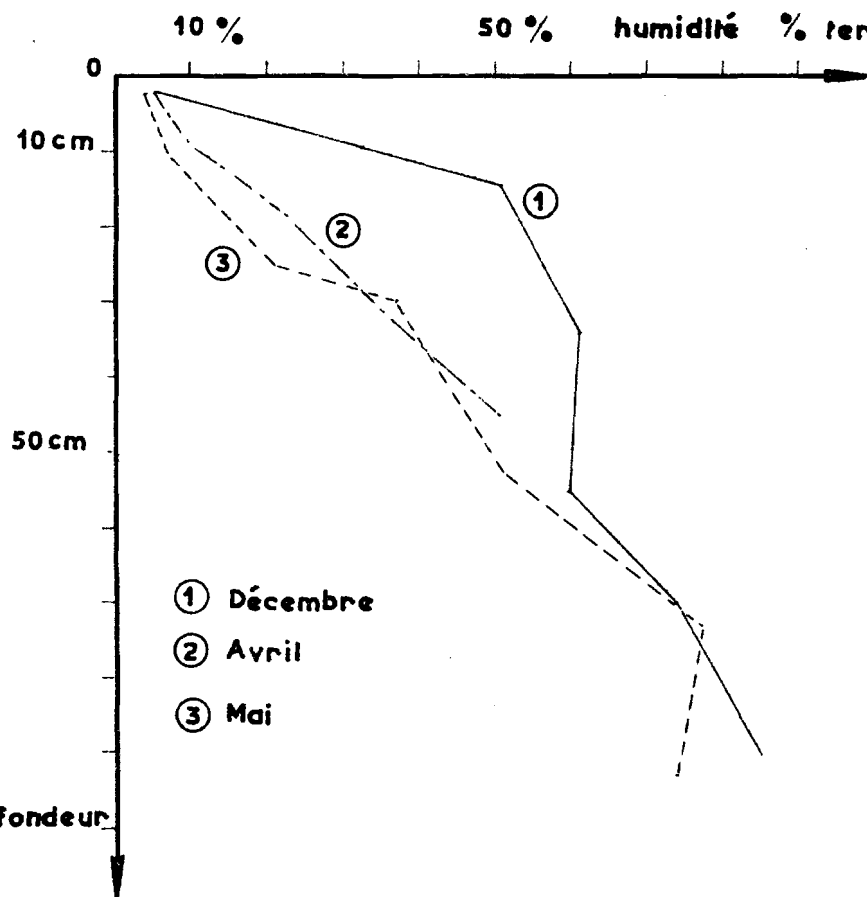
Dans le profil de Décembre (P.2.1), le gley apparaissait à 24 cm; ici à 70 cm; l'examen des profils hydriques (graphique n° 7) traduit que, dans les deux cas, la teinte franchement gleyeuse se développe pour une humidité supérieure à 60 %; le dessèchement a gagné en profondeur, jusqu'à 50 cm : ces horizons se sont réoxydés, plus violemment sur les faces des éléments structuraux; le caractère irrégulier, suivant les horizons, de la densité et de l'intensité de ces taches n'est pas expliqué. Les irrigations n'ont fait que retarder, et peut être limiter en profondeur, ce dessèchement.

b/ Halomorphie.

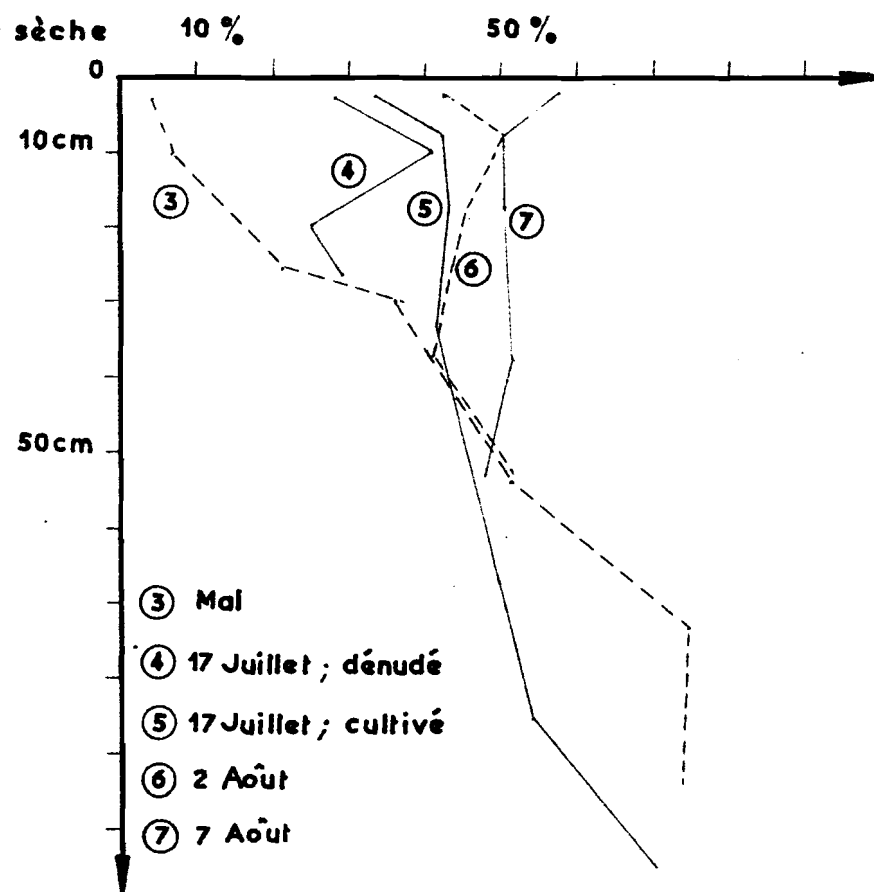
Le type de répartition des sels en P.2.2 (Mai) est très différent de celui observé en P.2.1 (Décembre) : il se caractérise par une homogénéité de la salure sur les 60 cm supérieurs, sans accumulation de surface; les observations faites dans la période intermédiaire (Janvier, Février, Avril) ont montré qu'il n'y avait jamais eu d'apparition d'efflorescences en surface. Trois facteurs justifient ce changement de répartition des sels : (graphique n° 8).

- l'irrigation du blé a nécessité un aménagement du terrain, fin Décembre, après l'observation de P.2.1; la terre de surface a été rabattue pour constituer de petites diguettes délimitant des carrés d'un mètre de côté; la remontée des sels ayant déjà joué avant cette opération culturale, les diguettes constituent une réserve de sels, qui sont ainsi provisoirement éliminés de la partie du profil utilisée par les plantes (la terre des diguettes n'a pas été prélevée en P.2.2.).
- les irrigations par submersion (environ 600 m³/ha et par irrigation) ont constitué un apport de sels, mais ont certainement eu également, une action de lessivage.
- depuis la fin des irrigations, il n'y a pas eu de remontée des sels; en Avril-Mai, la nappe phréatique est à son niveau le plus bas, l'humidité des horizons supérieurs faible (moins de 30 % entre 0 et 30 cm, ce qui est une humidité faible pour un ma-

SÉQUENCE P.27 EMPLACEMENT P2.: PROFILS HYDRIQUES



SAISON SÈCHE
DESSÈCHEMENT DU PROFIL

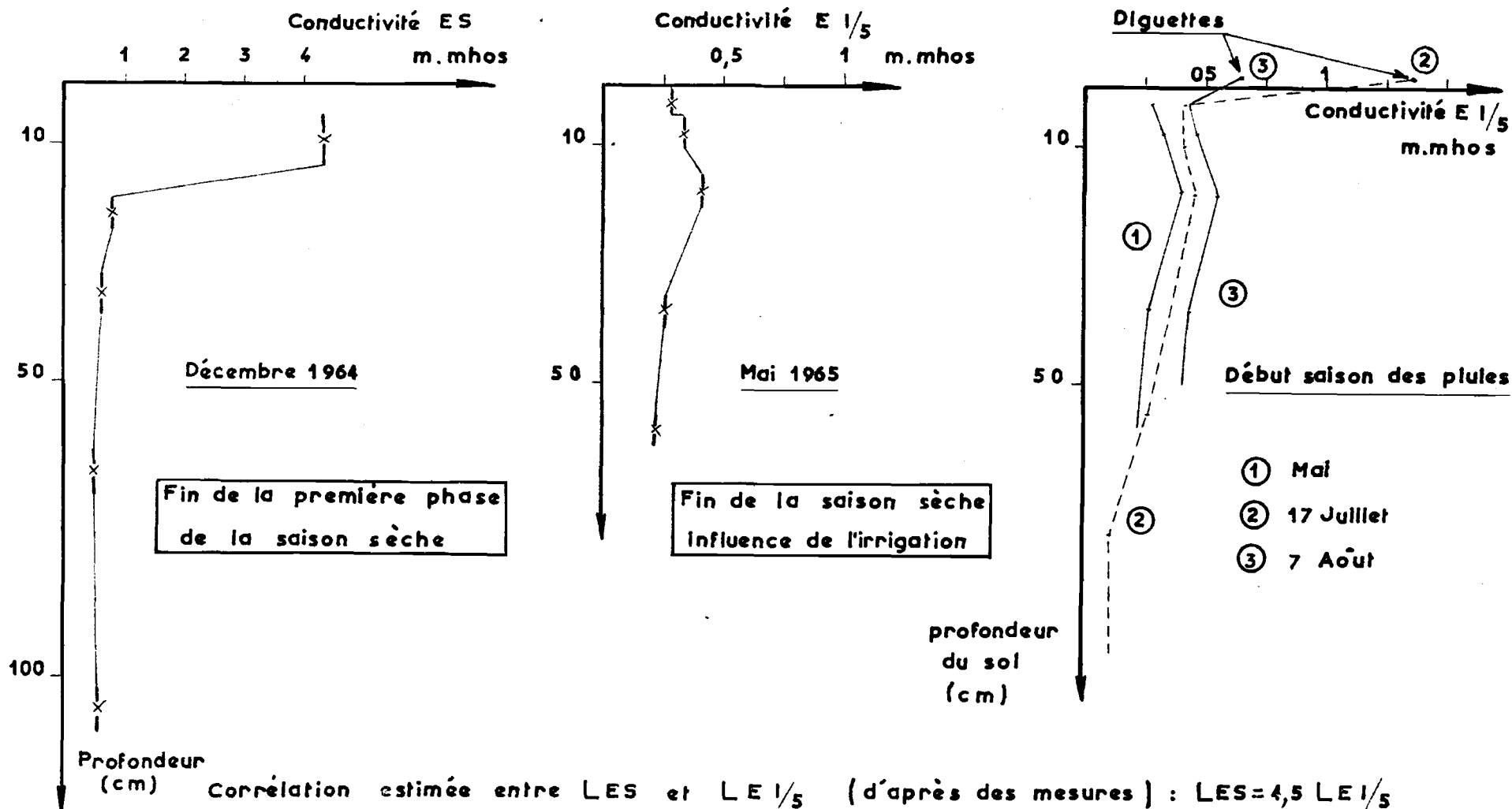


SAISON SÈCHE
RÉHUMECTATION DU PROFIL

SÉQUENCE P 27 **EMPLACEMENT P 2**

REPARTITION DES SELS DANS LES PROFILS :

EN SAISON SÈCHE - EN DÉBUT DE SAISON DES PLUIES



tériau dont la capacité de rétention est de 60 à 70 %); la frange capillaire ne remonte pas jusqu'en surface. Les phénomènes de salinisation sont en grande partie bloqués.

Cette période du 15 Décembre au 30 Juin est donc avant tout marquée par :

- une baisse régulière du niveau de la nappe, jusqu'à son niveau minimum.
- un dessèchement de la partie supérieure (50 cm) du profil, avec les phénomènes de réoxydation qui lui sont liés et qui se manifestent de manière beaucoup plus spectaculaires sur les faces des éléments structuraux.
- un blocage des phénomènes de remontée de sels en fin de saison.

L'irrigation, pratiquée sur le blé, intervient en retardant le dessèchement et en participant à l'homogénéisation de la teneur en sels sur les 60 cm supérieurs. Dans cette première étape de l'étude, cette irrigation est considérée comme un facteur "accidentel", dont le mode d'action propre n'est pas approfondi.

3°) - En début de saison des pluies : réhumectation des profils.

Tous les prélèvements de profils hydriques de cette période furent effectués à l'intérieur d'un carré de 5 m de coté, soit une surface nettement plus restreinte que celle de l'emplacement (200 m²). Quatre séries d'observations seront présentées, sous forme d'un tableau, correspondant à quatre dates : 17 Juillet, 2 Août, 4 Août, 7 Août. Dans ces trois derniers cas, les observations et prélèvements sur le terrain furent pratiqués 24 hrs après une forte pluie.

Les graphiques n° 7 et 8 reprennent les chiffres du tableau ci-après et permettent une série de remarques :

- Profils hydriques : le profil de Mai est un profil "sec". En Juin les irrigations ont repris, pour une culture de maïs et n'ont cessé que début Juillet. C'est ce qui explique que le profil du 17 Juillet soit plus humide que celui de Mai, alors que 10 mm de pluie seulement sont tombés.

Les premières fortes pluies (2 Août) ont réhumecté le sol, mais uniquement sur les 30 cm supérieurs. Le 7 Août, toute la partie du sol au

dessus de la nappe est ramenée à une humidité voisine de la capacité de rétention (60 à 70 %).

Date de l'observation	15 Mai	17 Juillet	2 Août	4 Août	7 Août
Pluviométrie cumulée en mm.	0	10	60	100	120
Niveau de la nappe/sol (cm)	105	90	77	68	54
Conductivité de la nappe (m.mhos)	0,7	0,7	0,9	0,85	0,8
Profils hydriques : (% terre sèche)					
0 - 5 cm	4	28	42	-	58
5 - 10 cm	7	41	50	-	50
15 - 20 cm	- (15)	25	45	-	51
30 - 40 cm	36	- (41)	41	-	52
"Profils de salure"^{**} : (conductivité E : 1/5)					
diguette	-	1,3	-	-	0,7
0 - 5 cm	0,25	0,4	-	-	0,4
5 - 10 cm	0,3	0,4	-	-	0,45
15 - 20 cm	0,4	0,45	-	-	0,5
35 - 40 cm	0,25	0,35	-	-	0,45

* "Profils de salure" : cette expression, commode, est employée dans certains tableaux de chiffres, au sens de : répartition des sels dans le profil.

- Profils de salure : les trois profils ont une allure voisine et traduisent une salure homogène sur les 50 cm supérieurs (diguette exclue); leurs niveaux de salinité ne sont pas significativement différents. On peut donc considérer que seules les diguettes accusent durant ce début de saison des pluies une baisse significative de salinité, un lessivage.

- Le niveau de la nappe, lui, a brutalement remonté, dès les premières pluies; mais la salinité de cette nappe n'a pas varié de manière significative.

Un rapprochement de ces diverses données permet une interprétation sur le mode d'action des processus d'hydromorphie et d'halomorphie durant ce début de saison des pluies :

Les 120 premiers mm de pluie ne peuvent :

- alimenter directement la nappe,
- lessiver les sels de la partie supérieure du profil (sinon les diguettes).

En effet, avant le 10 Août, la capacité au champ des horizons supérieur n'est pas atteinte, la salinité de la nappe n'augmente pas de manière significative, celle des sols ne diminue pas (diguettes exclues). Cette interprétation suppose, puisque le niveau de la nappe, lui, augmente très rapidement, une alimentation latérale de cette même nappe.

Le programme ayant débuté en Décembre 1964, ni la fin de la saison des pluies, ni le début de la saison sèche n'ont fait l'objet d'observations du même genre; des observations partielles effectuées en 1964 permettent néanmoins d'estimer que :

La nappe phréatique continue à se rapprocher de la surface du sol (30 cm à son niveau maximum); lorsque la pluviométrie a dépassé 150 - 180 mm, les couches supérieures sont alors à la capacité au champ*; les pluies suivantes ont une action de lessivage, mais qui ne joue plus que sur une épaisseur faible, vu le niveau élevé de la nappe. Le début de la saison sèche (Octobre, Novembre) est la période privilégiée de remontée des sels vers la surface par l'intermédiaire de la frange capillaire.

* Les quelques mesures de capacité au champ, effectuées par la méthode Combeau-Quentin (cylindre enfoncé de 15 cm dans le sol, d'un diamètre de 35 cm) ont donné une capacité de 70 %).

4*) - Conclusion sur l'action de l'hydromorphie, de l'halomorphie, au niveau de l'emplacement P.2.

Il apparait donc que ces deux processus agissent de manière liée sur les sols. Le tableau suivant met en évidence ces relations entre stades

de la nappe, régimes hydriques et régime des sels :

Nappe phréatique : son niveau et son sens de variation.	Régimes hydriques du sol (horizons au dessus de la nappe).	Régimes des sels	Période	Mode d'utilisation du sol.
Proche du sol (30 à 50 cm); descend progressivement	Engorgement total; "mulch" très superficiel.	Accumulation en surface (remontée)	Début saison sèche	Sol dénudé
Profonde (80 à 100 cm) stable	Dessiccation progressive sur 50 cm d'épaisseur.	Ralentissement, blocage de la remontée	Fin saison sèche	Blé (irrigué) puis Maïs (irrigué).
Assez profonde (100 à 50 cm) remonte brutalement	Lente réhumectation; humidité encore inférieure à la capacité au champ.	Pas de mouvement de sels.	Début saison des pluies	Sol dénudé
Proche du sol (50 à 30 cm) remonte rapidement	Engorgement total	Lessivage des sels sur 30 cm.	Fin saison des pluies	Maïs

Ce mode d'action des deux processus est classique en pays sub-arides; mais la nature très particulière du matériau argileux des sols de polders conduit à poser un problème : la structure à faible profondeur est prismatique grossière, très développée, à fentes de retrait et se révèle très stable lors de la phase de réhumectation du sol, par suite du faible pouvoir de gonflement à l'eau de l'argile.

Lors de très fortes pluies, y a-t-il possibilité d'une percolation directe de l'eau de pluie vers la nappe, par les fentes de retrait, sans que les horizons de surface aient atteint leur capacité au champ ? Une expérimentation plus fine est envisagée pour aborder cette question (suivant le principe appliqué pour la détermination de la capacité au champ).

C - HYDROMORPHIE ET HALOMORPHIE AU NIVEAU DE L'EMPLACEMENT P.3

L'emplacement P.3 est à 160 m de la piste, à une altitude moyenne de 277,80 m, soit 60 cm plus bas que P.2. Toute cette partie basse de la séquence est submergée par les eaux durant quatre mois (15 Août - 15 Septembre); durant les trois mois suivants, la nappe reste proche de la surface. Les régimes hydriques, les régimes des sels, leur calendrier seront donc fort différents de ceux précédemment observés en P.2.

On se propose de mettre en évidence leurs aspects propres à travers l'étude de deux profils : l'un, P.3.1 observé en Décembre 1964; l'autre P.3.2 en Mai.

1°) - Manifestations des deux processus en début de saison sèche :

étude du profil P.3.1.

a) - Caractérisation morphologique.

Le 13 Décembre 1964, date de l'observation, l'emplacement est exondé depuis une quinzaine de jours, et la nappe phréatique n'est qu'à 8 cm de profondeur; surface du sol très humide, lissée sur 1 mm d'épaisseur; des flaques d'eau, de couleur légèrement purineuse émaillent la surface; pas d'efflorescences; végétation de roseaux (typhales) de 2 m de haut, par flots; de nombreuses plages sont sans aucune végétation.

0 - 2 cm : très humide; brun-gris très sombre (10 YR 3/2); argilo-limoneux, humifère; structure polyédrique fine, moyennement développée; carbonaté. Passage distinct, régulier à :

2 - 15 cm : très humide; gris-verdâtre sombre (teinte gleyeuse) (5 BG 4/1); argilo-limoneux humifère; structure polyédrique moyennement développée de taille plus irrégulière que de 0 à 2 cm; les éléments structuraux sont déformables, mais seulement sous une pression assez forte entre les doigts, non poreux; porosité tubulaire due à une action biologique; carbonaté; passage distinct, régulier, à :

25 - 50 cm ; très humide; gris-verdâtre sombre (5 BG 5/1); tâches noires peu nombreuses, de taille moyenne, distinctes, donnant avec

HCl une légère odeur d'H₂S; argilo-humifère; structure prismatique grossière fortement développée (éléments structuraux difficilement déformables, non poreux).

b) - Interprétation. (Résultats analytiques page 112).

a/ Hydromorphie :

L'engorgement est total, toutes les couleurs sont de teinte gleyeuse; début d'oxydation sur les deux cm supérieurs (couleur plus brune); cet état d'engorgement n'a pas d'action dégradante vis à vis de la structure, qui reste bien développée; seule une pellicule de surface est à l'état dispersé.

b/ Halomorphie : - salinisation.

Il n'y a pas d'accumulation de sels en surface; les huit cm au dessus de la nappe ont la même teneur en sels que les horizons sous-jacents et cette salinité (conductivité de l'E.S. de 1,3 m.mhc) est voisine de celle de la nappe (1 m.mho). La submersion temporaire de saison des pluies a redistribué sur la partie supérieure du profil les sels accumulés en surface durant la saison sèche.

- alcalisation.

Le complexe absorbant (capacité d'échange très forte : 44 et 39 m.e/100 g de sol) est saturé par le calcium et le magnésium; le rapport Na/Ca est inférieur à 4 % dans les deux horizons : il n'y a pas d'alcalisation ce qui rendrait compte, partiellement, de l'absence de dégradation de la structure lors des phases de submersion.

c/ Carbonatation :

Pas d'accumulation nette de carbonates à un niveau donné : 6 % de 0 à 10 cm; 3,6 % de 20 à 30 cm; non carbonaté à 50 cm.

Ce profil sera classé en même temps que P.3.2.

2°) - Manifestations des deux processus en fin de saison sèche :

étude du profil P.3.2.

C'est à la surface de la fine pellicule décrite en P.3.1 qu'apparaissent, fin Décembre, les efflorescences salines, brunes et blanches

.../...

(les blanches correspondent à un état de dessiccation plus poussé); en Janvier, la surface est couverte à 50 % par les efflorescences. Vers la fin de ce même mois, les flots de roseaux conservés jusqu'alors sont coupés et le terrain défriché : travail du sol qui fragmente la fine couche saline, la mélange aux dix cm supérieurs.

La partie supérieure du sol est alors motteuse; le caractère apparent des efflorescences a disparu; il n'y aura plus, dans ce sol très fragmenté, aéré de nouvelles formations d'efflorescences. Un maïs, semé en poquets en Février est cultivé les trois mois suivants, sans irrigation bien entendu. Sa croissance est normale, son aspect végétatif satisfaisant. En Mai, ce maïs est arraché, pied par pied. L'arrachage accentue la fragmentation de l'horizon de surface.

a) - Description du profil P.3.2.

Situé à 180 m de la piste, ce profil est observé le 20 Mai 1965, quelques jours après l'arrachage du maïs; la nappe est à son niveau minimum.

- 0 - 4 cm : sec; gris-sombre (10 YR 4/1; 10 YR 3/2); nombreuses petites taches jaune-rouge, distinctes; nombreuses petites blanchâtres, diffuses, sans réaction à HCl (efflorescences salines mélangées au sol); argilo-limoneux humifère; structure polyédrique fine fortement développée; les éléments structuraux sont durs, non poreux; amorce d'une sur-structure polyédrique grossière, peu cohérente, par agrégation de ces éléments; enracinement fin, abondant, non taché; carbonaté dans la masse; passage distinct, peu régulier à :
- 4 - 15 cm : légèrement humide; gris (10 YR 5/1; 10 YR 4/2); certain éclaircissement de la couleur par rapport à l'horizon précédent; même réseau de taches, petites et moyennes, jaune-rouge et rouge-jaune, distinctes argilo-limoneux humifère; structure polyédrique fortement développée, fine et moyenne; enracinement abondant; carbonaté, l'épaisseur de cet horizon est irrégulière autour du profil. Passage distinct, irrégulier à :
- 15 - 35 cm : humide; gris-sombre (5 Y 4/1); nombreuses taches moyennes,

.../...

jaune-rouge, rouge-jaune ou rouge (10 R 4/6), très distinctes; argilo-limoneux humifère; structure prismatique grossière fortement développée, mais avec des sous-structure en plaquettes horizontales (de 3 - 5 cm) ou même polyédrique moyenne, tout aussi développées; les éléments sont assez durs, non poreux; enracinement encore abondant, localisé presque entièrement sur les faces des prismes, partiellement taché; faiblement carbonaté; passage distinct, régulier à :

35 - 70 cm : très humide (nappe à 54 cm); gris-verdâtre sombre (gleyeux) (5 BG 4/1) rares taches jaune-rouge à la partie supérieure de l'horizon; à l'intérieur des éléments structuraux; quelques taches moyennes, diffuses, plus noires; argilo-humifère; structure prismatique grossière à fentes de retrait (allant jusqu'à 3 cm d'épaisseur) au dessus de la nappe; ces fentes subsistent sous la nappe, mais moins larges; non carbonaté.

b) - Interprétation.

a/ Structure.

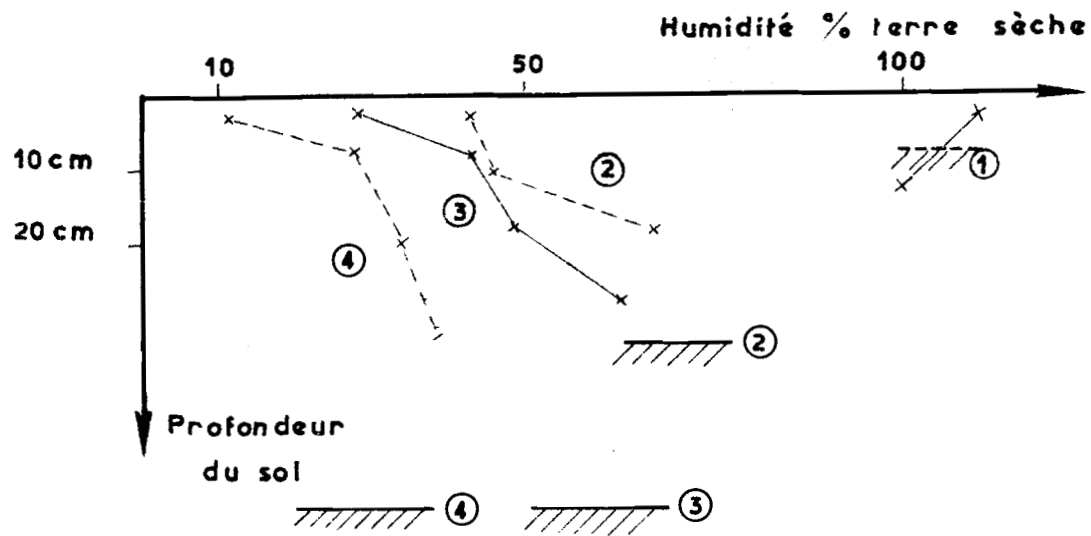
En période d'engorgement total, ou de submersion, deux structures subsistent : une structure polyédrique assez fine en surface et une structure prismatique en profondeur. La dessiccation progressive, dans les horizons libérés de la nappe, se manifeste par des phénomènes de retrait, par une accentuation du caractère prismatique en profondeur (élargissement des fentes de retrait). Cette unité structurale, prisme de 15 x 15 x 10 cm, se fragmente dans un ordre déterminé lors de la dessiccation : plaquettes horizontales de 3 - 5 cm d'épaisseur, puis polyèdres aux formes d'abord extrêmement anguleuses. Ces dernières "sous-structures" disparaissent durant la saison des pluies suivante. Le phénomène de battement annuel de la nappe (amplitude 70 cm) n'a donc qu'une influence limitée sur la structure.

b/ Hydromorphie et Halomorphie.

Le profil hydrique (graphique n° 9) traduit un dessèchement assez profond du sol sur 35 cm (humidité inférieure à 40 %), malgré la faible profondeur de la nappe (54 cm) : en l'absence d'irrigation et durant ces

SÉQUENCE P 27 **EMPLACEMENT P 3**

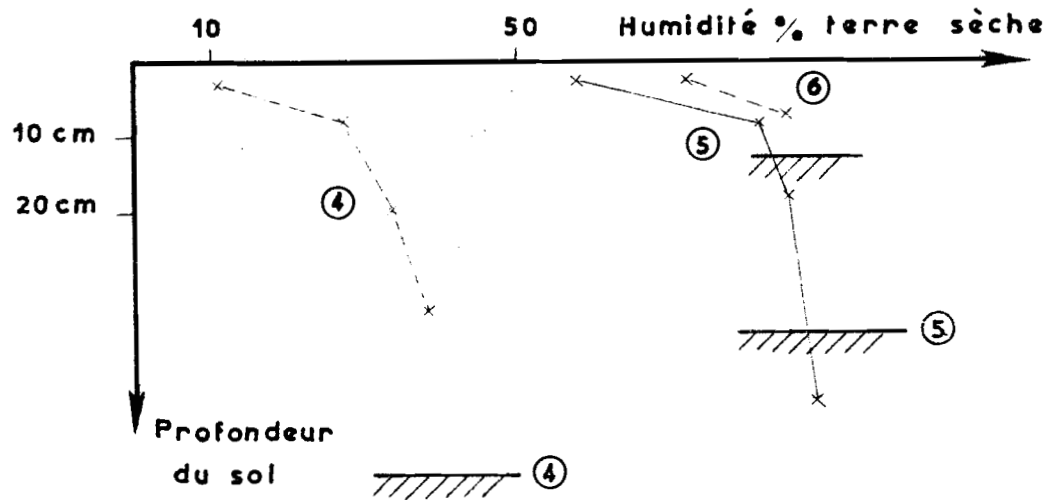
PROFILS HYDRIQUES



Dessèchement du sol en saison sèche

Courbes	①	Décembre	Nappe à 8 cm
	②	Février	" 33 cm
	③	Avril	" 55 cm
	④	Mai	" 55 cm

/// : Niveau de la nappe.

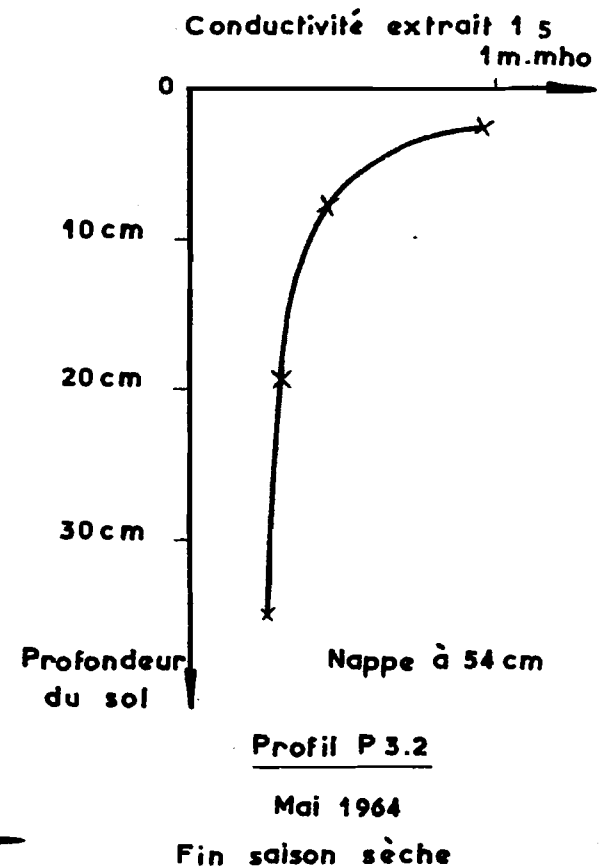
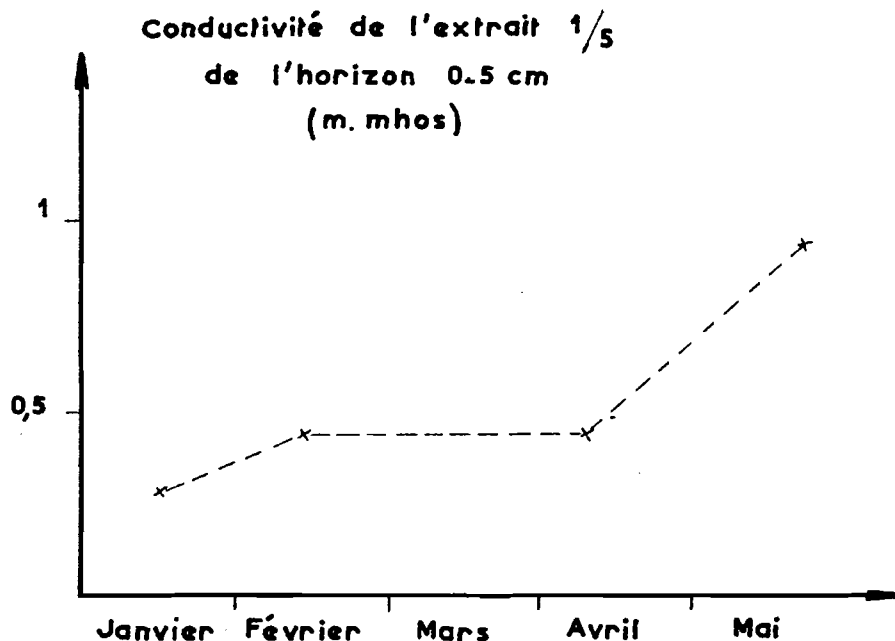
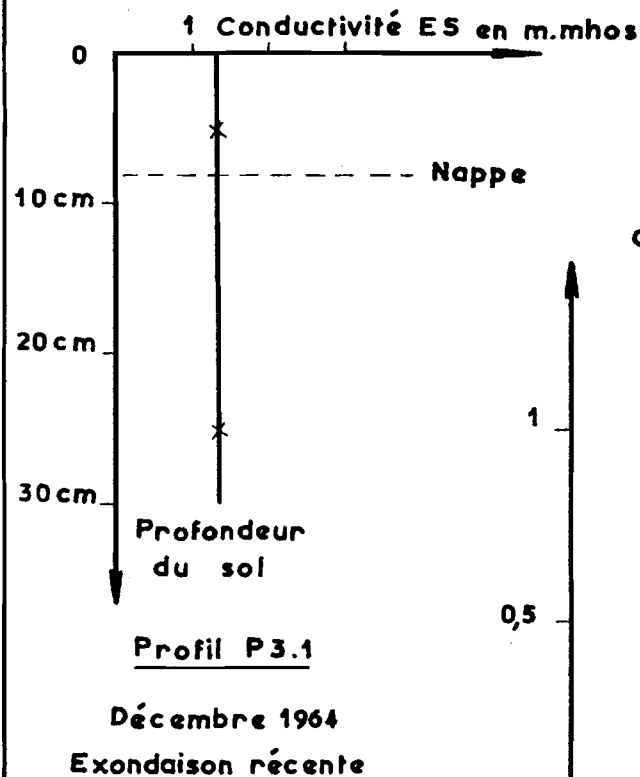


Réhumectation des sols en début de saison des pluies

Courbes	④	Mai	Nappe à 55 cm
	⑤	17 Juillet	" 36 cm
	⑥	4 Aout	" 13 cm

SÉQUENCE P 27 **EMPLACEMENT P 3**

RÉPARTITION DES SELS DANS LES PROFILS



VARIATIONS DE SALINITE DES SOLS (0.5 cm)

Au cours de la saison sèche

Corrélation entre LES et LE 1/5 : environ $LES = 4,5 LE \frac{1}{5}$

mois de très forte évaporation, la frange capillaire ne conserve au sol une forte humidité que sur une vingtaine de cm au dessus de la nappe. L'absence de toute tache de teinte jaune ou rouge à l'intérieur des éléments structuraux indique le caractère brutal de la réoxydation dans ce milieu à forte macro-porosité.

Les signes de salinisation sont peu spectaculaires : plages blanches, diffuses, dans l'horizon 0 - 4 cm (anciennes efflorescences de surface); ceci tient au "malaxage" subi par les dix cm supérieurs : au moment de la préparation du terrain pour le maïs (les cinq cm supérieurs sont rabattus et constituent les bords des poquets), et ensuite à l'arrachage du maïs.

La courbe de répartition des sels (à partir du fond des poquets) est typique d'une remontée de sels, avec accumulation en surface : dans les mois qui ont suivi le semis de maïs, le phénomène de remontée des sels a continué de jouer.

c) Classification des deux profils P.3.2 et P.3.1

- Présence à très faible profondeur d'horizons de gley; - richesse (9 % sur 40 cm) en une matière organique bien humifiée (C/N entre 12 et 14); - extrait de saturation dont la conductivité n'est supérieure à 4 mhos que sur les cinq cm supérieurs et encore d'une manière très temporaire (fin de saison sèche); - saturation du complexe absorbant par le magnésium et surtout le calcium : au niveau de la classe, c'est donc le processus d'hydromorphie qui sera ici choisi.

SOLS HYDROMORPHES, moyennement humifères;
sols humiques à gley,
faiblement salés, à anmoor calcique.

3°) - Manifestations des deux processus en début de saison des pluies.

Les premières pluies ont sur les sols de l'emplacement P.3 une action beaucoup plus brutale que sur ceux de P.2. Le tableau résume les observations :

- Dès les premières pluies, l'humidité du sol rejoint la capacité au champ.
- la conductivité de la nappe augmente de manière significative.

- La conductivité de l'horizon 0 - 5 (à partir du fond des poquets) diminue, tout au début; le lessivage des sels est réel, mais joue sur une faible épaisseur, vu le niveau atteint par la nappe.

Date de l'observation	20 Mai	17 Juillet	4 Août	4 Août	7 Août
Pluviométrie cumulée en mm.	0	10	60	100	120
Niveau nappe/sol en cm	54	36	24	13	3
Conductivité nappe (m.mhos)	0,9	0,7	0,7	1,7	2,7
<u>Profils hydriques</u> (humidités en % de terre sèche).					
- diguette		41			86
- fond du poquet					
0 - 5 cm	11	58	61	73	100
5 - 10 cm	28	33	78	85	
15 - 20 cm	34	86	88		
50 - 55 cm	36	90			
<u>Profils de salure</u> (E.I/5)					
fond du poquet					
0 - 5 cm	0,95	0,5	0,5		0,6

4°) - Conclusion sur l'action de l'hydromorphie, de l'halomorphie, au niveau de l'emplacement T.3

<u>Nappe phréatique</u>	<u>Régimes hydriques</u>	<u>Régimes des sels</u>	<u>Période</u>
Proche du sol (0 à 35 cm) descend progressivement	Engorgement total	Accumulation en surface (efflorescences)	mi-saison sèche (1° Décembre-15 Mars)
Assez profonde (35 - 55 cm) stable	Déshydratation du sol sur 35 cm	Ralentissement de la remontée de sels.	fin saison sèche (15 Mars-1° Juill.)
(55 à 0 cm) remonte brutalement	Engorgement total	Lessivage des sels	début saison des pluies (1° Juillet-10 Août).
Submerge le sol (+ 20 cm) descend lentement	Submersion	Homogénéisation de la salure du sol et de la nappe	fin saison pluies et début saison sèche.

Les relations entre stades de la nappe, régimes hydriques (des horizons au dessus de la nappe), régimes des sols, apparaissent sur le tableau ci-joint et sont nettement différentes, dans leur calendrier notamment, de celles observées au niveau de P.2.

-----ooOoo-----

D - CONCLUSION SUR LE PROCESSUS D'HALOMORPHIE

LE LONG DE LA SEQUENCE P.27.

Les observations qui précèdent permettent d'aborder une question essentielle pour l'utilisation de ces sols : leur niveau de salinité augmente-t-il d'année en année ?

1°) - En partie basse de la séquence (P.3)

Chaque année, pendant quatre mois, la nappe "réimprègne" toute l'épaisseur du sol. A la fin de cette période, salinités de la nappe et du sol sont au même niveau (page 52). Or la salure de la nappe en P.27 n'a pas augmenté de manière significative depuis 1960 (1).

Cette zone étant l'objet d'une très forte évaporation d'eau légèrement salée (aussi bien en période de submersion qu'en période de nappe phréatique proche de la surface), donc de gain absolu de sel, cet équilibre local suppose un départ de sels vers d'autres points du polder, grâce à un mouvement latéral de la nappe.

2°) - En partie médiane de la séquence (P.2)

Si l'on veut, à ce niveau de la séquence, préciser la notion de "bilan annuel de salinisation", deux autres facteurs doivent être pris en considération : la pluviométrie et la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation.

Les 150 premiers mm tombés servent avant tout à réhumecter le profil; en année de pluviométrie moyenne (1962 : 314 mm; 1963 : 270 mm), les phénomènes de remontée de sels l'emportent sur ceux de lessivage. Le "bilan de salinisation annuel" est alors positif, les sols se salent (1). En année de forte pluviométrie (1961 : 504 mm), ce bilan est négatif. On

.../...

constate en effet que cette année là, les courbes de salinité des sols (0 - 20 cm) accusent un décrochement vers le bas. Il est à noter que plus cette tranche de la pluviométrie (à rôle de lessivage efficace) est importante, plus la nappe remonte haut dans le profil et plus l'épaisseur de sol lessivée diminue.

L'irrigation complique le problème, mais surtout en apparence : l'eau utilisée est en effet celle de la nappe. Une irrigation avec des quantités d'eau suffisantes permet un lessivage des sels du sol, mais enrichit la nappe au même endroit (aucun système de drainage n'existe).

La séquence P.27 - caractérisant la bordure Ouest de la partie centrale du polder de BOL GUINI - tire son originalité, et la stabilité de sa fertilité, du fait d'un mouvement latéral, Ouest-Est, de la nappe (7) (12) et de l'élimination naturelle de sels qui en résulte.

-----oo0oo-----

V - LE PROCESSUS DE CARBONATATION, en haut de la séquence P.27

La carbonatation, dans les profils précédemment étudiés, apparaissait comme un processus secondaire vis à vis de l'hydromorphie et de l'halomorphie. Morphologiquement, l'horizon le plus riche en carbonates se traduisait (par rapport au matériau que représente l'argile "fissurée") par l'apparition d'une couleur plus claire et d'une structure plus friable à l'état sec. Les teneurs en CaCO_3 atteignaient 15 %.

La nappe phréatique actuelle, avec son caractère de forte dureté carbonique est-elle, seule, à l'origine de cette accumulation, qui se situe dans sa zone de battement ? Il semble bien en être ainsi en P.3.1 et P.3.2. L'étude de la partie haute de la séquence, par contre, introduit de nouvelles données et montre que la carbonatation actuelle ne serait pas la seule à avoir laissé des traces : des processus, voisins dans leur mode d'action, auraient déjà joué lors d'exondations antérieures.

Cette partie haute de la séquence correspond à la zone de raccordement entre les matériaux sableux de la dune et les matériaux fins, sédi-

.../...

mentaires du polder; sa pente est forte. Six profils (P.I.0 à P.I.5.), alignés dans le sens de la pente furent observés. L'un de ces profils, P.I.3, sera d'abord présenté; la comparaison avec les profils voisins permettra d'émettre une hypothèse sur la manière dont le processus de carbonatation a marqué les sols. Le graphique n° 11 représente la coupe en travers de l'emplacement P.I., long de 50 m, avec la position précise des six profils.

A - DESCRIPTION DU PROFIL P.I.3

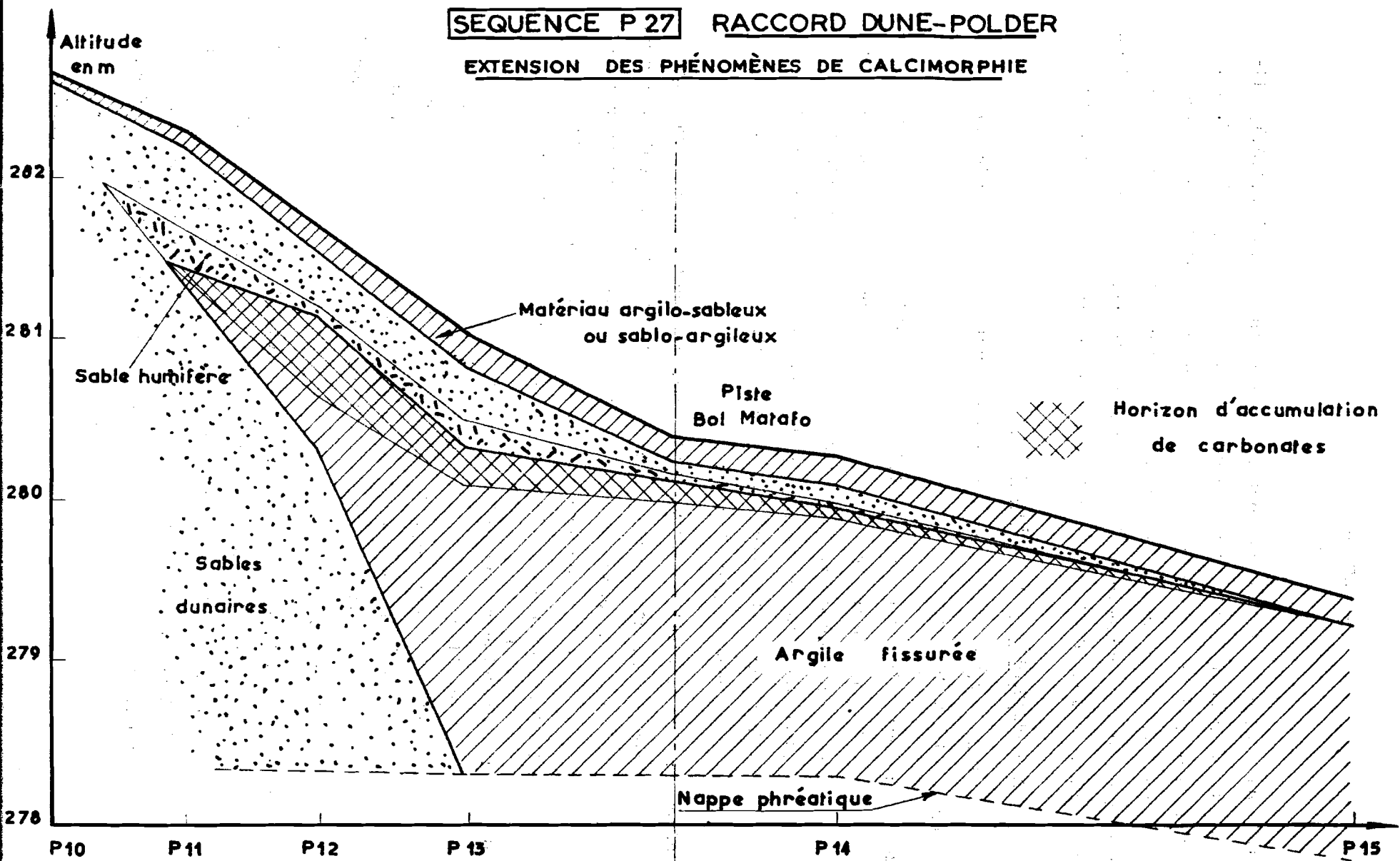
Situé à 7,50 m de la piste; altitude 281 m; pente supérieure à 20 %; observé le 25 Mai 1965.

- 0 - 20 cm : sec; gris-sombre (10 YR 4,5/1); sablo-légèrement argileux; faiblement humifère; deux éléments texturaux nettement distincts :
- des sables dunaires, déliés, colorés par une pellicule de matière organique; - des polyédres argileux (de taille variée : 1 à 40 mm), bien individualisés; horizon non carbonaté. Passage tranché, régulier à :
- 21 à 55 cm : sec; gris-clair (10 YR 7/2); sableux (sables fins et moyens dominants, mâts, arrondis : sables dunaires), non humifère; sans structure ni consistance; vers 30 cm apparaissent d'assez nombreuses taches ocre-rouille, de taille moyenne, distinctes; horizon non carbonaté. Passage distinct, régulier à :
- 55 - 68 cm : sec; gris-brun (10 YR 5/2); sablo-légèrement argileux; faiblement humifère (mélange intime des deux constituants texturaux et d'une matière organique bien humifiée); nombreuses taches moyennes, jaune-rouge; structure polyédrique moyenne, faiblement développée; peu dur; faiblement carbonaté. Passage tranché régulier à :
- 68 - 92 cm : sec; couleur hétérogène : blanche (2,5 Y 8/0), gris très sombre (2,5 Y 3/0), par plages aux limites distinctes; argilo-limoneux; humifère; structure prismatique grossière, fortement développée, à fentes de retrait verticales, larges de 0,5 à 1 cm; dur; très fortement carbonaté dans les plages blanches. Passage tranché, régulier à :

.../...

SEQUENCE P 27 RACCORD DUNE-POLDER

EXTENSION DES PHÉNOMÈNES DE CALCIMORPHIE



Conductivité nappe ; L m mhos	0,2	0,35	0,4	(Niveau et conductivité nappe observés en Août)	0,65
----------------------------------	-----	------	-----	--	------

Echelle: 2 m

Ouest

Est

92 - 137 cm: légèrement humide; gris très sombre (2,5 Y (10)) argilo-humifère; structure prismatique grossière, fortement développée, à fentes de retrait; intercalation entre les éléments structuraux de lits sableux peu épais (1 mm), sub-horizontaux; non carbonaté.

B - INTERPRETATION DU PROFIL P.1.3

L'originalité de ce profil tient en deux points (originalité par rapport aux profils précédemment étudiés : P.2.1, P.3.1...) :

- l'intercalation d'un horizon (21 - 55 cm) purement sableux, non humifère, d'origine dunaire, entre des horizons humifères, plus ou moins argileux, proches dans leurs caractères (de 68 à 137 cm en particulier) des horizons observés au niveau des emplacements P.2 et P.3, d'origine sédimentaire.

- les caractères morphologiques et la position dans le profil de l'accumulation de carbonates. Les carbonates sont ici accumulés dans la partie supérieure des horizons très argileux, à structure prismatique. La couleur blanche est marquée et les limites de la carbonatation régulières (teneur en CaCO₃ de l'horizon 68 - 92 cm : 22 %).

Cette accumulation de carbonates prend donc place en milieu argileux, et au contact d'un horizon nettement plus sableux (55 - 68 cm); elle peut être interprétée comme un phénomène pédologique de concentration de carbonates à partir d'une nappe phréatique, et non correspondant à un niveau sédimentaire distinct. Au moment de l'observation, la nappe est à plus de 2,50 m; son amplitude de battement n'a pas encore été suivie avec précision, mais paraît du même ordre que celle notée quelques mètres plus bas (70 à 90 cm au cours de l'année).

Une nappe si profonde peut-elle provoquer, en 10 à 15 ans, une carbonatation si marquée ? Cela paraît peu probable : la carbonatation observée en haut de séquence paraît due à une action de nappe antérieure à la période actuelle.

C - EXAMEN COMPARE DE LA SERIE DE PROFILS P.I (P.1.0 à P.1.5).

L'examen comparé de six profils alignés, la connaissance précise

de leurs altitudes respectives, a permis de relier entre eux, de profil à profil, les horizons interprétés comme équivalents et par là même de reprendre à l'échelle de cette partie de séquence les deux problèmes évoqués lors de l'étude de P.I.3 : la superposition de matériaux et l'origine de la carbonatation.

1°) - La superposition de matériaux.

La couche sableuse, dunaire, intercalée entre les horizons sédimentaires (horizon 21 - 55 cm en P.I.3), diminue d'épaisseur vers l'Est et disparaît au niveau du profil P.I.5; il en est de même de la couche déjà humifère mais encore très sableuse (horizon 55 - 68 cm en P.I.3). La superposition de matériaux disparaît donc vers le polder, le matériau paraissant alors homogène (comme en P.2.I, page 33).

Vers l'Ouest, la superposition de matériaux disparaît également : en P.I.0 le profil est uniquement sableux (alors qu'en P.I.I, l'horizon argileux a encore 5 cm d'épaisseur); l'horizon supérieur, correspondant à l'autre phase de sédimentation, diminue aussi d'épaisseur vers l'Ouest (graphique n° 11), la proportion de sable augmentant dans l'horizon lui-même. D'après ces observations l'interprétation suivante est proposée :

- Une phase d'exondaison est intervenue entre deux phases de submersion par les eaux du Lac (sédimentation); l'horizon sableux intercalaire a pris place pendant cette phase d'exondaison et correspond à un apport dunaire (colluvionnement en période de remaniement éolien ?).
- Les deux sédimentations ont eu lieu dans des conditions de modelé voisines, dunaires (pente ascendante des couches sédimentaires au contact de la dune).

2°) - L'origine de la carbonatation.

Le tableau suivant présente la teneur en carbonates dans les divers profils de la séquence.

C'est sur une bande de 10 m de large (profils P.I.2 et P.I.3) que la calcimorphie joue sur la plus grande épaisseur de sol et est la plus

intense (20 et 22 % de CaCO₃). Vers l'Est, l'horizon carbonaté se rapproche de la surface, mais devient moins épais et la teneur en carbonates diminue; en P.I.5, seules quelques petites poches vers 10 - 15 cm rappellent cet horizon. Vers l'Ouest, la carbonatation diminue rapidement d'importance : 1 % de carbonates dans la fine couche argileuse de P.I.I. La carbonatation observée dans cette partie haute de la séquence P.27 apparaît donc comme un processus :

- - pédologique (action de nappe).
- de bordure de dépôt sédimentaire.
- non lié au niveau actuel de la nappe (trop profond d'une part et qui ne justifierait pas une épaisseur et une intensité de la carbonatation plus marquée en P.I.2 et P.I.3 qu'en P.I.4 et P.I.5).

P.I.0 0 à 80 cm : 0 % 80 - 90 cm : 0,1 % 90 cm et plus : 0 %	P.I.3 0 - 55 cm : 0 % 55 - 68 cm : 0,1 % 68 - 92 cm : 22 % 92 - 137 cm : 0 %
P.I.I 0 - 60 cm : 0 % 60 - 84 cm : 0,2 % 84 - 89 cm : 1 % 89 - 120 cm : 0,2 % au dessous : 0 %	P.I.4 0 - 33 cm : 0 % 33 - 38 cm : 5 % au dessous : 0 %
P.I.2 0 - 59 cm : 0 % 59 - 104 cm : 20 % 104 - 131 cm : 4 % au dessous : 0 %	

L'idée d'un processus pédologique ayant joué lors d'une exondaison antérieure n'est actuellement qu'une hypothèse de travail.

-----ooOoo-----

VI - CONCLUSION : INFLUENCE DES PROCESSUS ETUDIÉS SUR LA FERTILITÉ DES SOLS DE LA SÉQUENCE P.27.

A - LES TRAITs DOMINANTS de la séquence peuvent se résumer ainsi :

- Une nappe phréatique faiblement salée (teneur en sel inférieure à 0,6 g/l); cette nappe est réalimentée par des eaux d'infiltration;

.../...

un écoulement vers l'Est entraîne dans cette direction une partie des sels; si bien que depuis plusieurs années, la salinité de la nappe n'a pas augmenté de manière significative.

- Sols moyennement salés; la salinisation procède d'une remontée de sels à partir de la nappe, suivant un processus classique, mais qui joue à des périodes de l'année, avec des modalités diverses suivant la partie de la séquence considérée (opposition entre les emplacements P.2 et P.3). Ces sols ne sont pas affectés par l'alcalisation.

- La carbonatation, dans ses manifestations, apparaît comme actuelle dans la partie basse de la séquence, mais comme antérieure à l'exondaison récente dans la partie haute.

B - INFLUENCE SUR LA FERTILITE DES SOLS.

La fertilité des sols de polders est un "héritage" recueilli au moment de l'exondaison, voici 10 ou 15 ans : richesse en matière organique bien humifiée (10 % à C/N de 12 à 14), forte capacité d'échange (20 à 40 m.e/100 g de sol), bien équilibrée; teneur en phosphore satisfaisante; bonne structure et bonne stabilité de cette structure.

La fertilité actuelle résulte du mode d'utilisation de ces sols depuis dix ans (culture assez intensive : 2 à 3 cultures par an; absence totale d'apports minéraux sous forme d'engrais), et de l'action au cours de la même période des processus pédologiques étudiés dans les pages précédentes. A l'échelle du polder, ces processus jouent avant tout comme des facteurs réduisant peu à peu la fertilité initiale des sols :

- par salinisation excessive de la couche exploitée par les racines.
- par dégradation de la structure sous l'action combinée de l'alcalisation et de l'hydromorphie.
- par sensibilisation excessive au dessèchement des couches superficielles, sous l'influence d'une carbonatation très marquée à faible profondeur (effet parfois observé).

Ces divers effets jouent évidemment avec des intensités fort diverses suivant le secteur du polder étudié. Dans le cas de la séquence P.27,

l'examen en 1964 - 1965 des cultures de blé et de maïs (état végétatif, enracinement, récoltes) permet un diagnostic qui concorde avec celui que suggère l'étude pédologique :

En dix ans, les sols de la zone de P.27 ont relativement peu "souffert" de l'action des processus pédologiques cités; leur niveau de salinité est encore très compatible avec la culture du blé; leur structure reste excellente. C'est une séquence bénéficiant d'une élimination naturelle des sels; associé à une irrigation avec des eaux faiblement salées, le système de culture se révèle efficace, valable; la fertilité diminuera certes (notamment sous l'influence d'un facteur non abordé ici : les fortes exportations d'éléments chimiques par les plantes, non compensées par des apports d'engrais), mais lentement.

-----ooOoo-----

Remarques :

Dans le but d'exposer la méthode de travail choisie, cette séquence P.27 a fait l'objet d'un assez long développement. Les chapitres consacrés aux séquences suivantes seront axés sur une présentation brève des grandes caractéristiques propres à chacune d'elles; mais, sur le terrain et au laboratoire de Boi, elles furent l'objet du même type de travail que P.27.

C. UNE SEQUENCE DE SOLS A NAPPE PHREATIQUE

FORTEMENT SALEE : P.17

I. - INTRODUCTION.

Située en bordure Est du polder Guini, orientée vers l'Ouest, cette séquence fait presque face à P.27 (croquis n° 3); en cet endroit, le contact entre la dune et le polder est assez brutal et la zone de raccordement entre matériaux sableux et matériaux fins est d'extension très limitée. Le point choisi comme repère est au niveau de cette rupture de pente entre dune et polder. La coupe en travers indique une pente faible (1 %) et régulière de 0 à 50 m à partir du repère, nulle de 50 à 80 m (limite Ouest de la séquence), le niveau étant alors celui du fond du polder.

Quelques traits essentiels caractérisent cette séquence :

- la très forte salinité de la nappe (5 à 9 m.mhos) (3 à 5,5 g/l).
- le faible rôle joué par l'alcalisation, ce qui sera mis en relation avec la richesse de la nappe et des sols en sulfures et sulfates.
- la très forte salinité des sols.

II - LA NAPPE PHREATIQUE.

- Sa pente, à l'échelle de la séquence, est nulle (ou du moins n'a pas été décelée avec les moyens mis en oeuvre).

- Les variations de son niveau, au cours de l'année, sont voisines de celles décrites en P.27; on note en particulier une remontée très rapide du niveau dès les premières fortes pluies : 37 cm entre le 17 Juillet et le 5 Août (33 et 36 cm en P.27 pour la même période).

- Sa salinité s'avère très élevée, en légère augmentation entre Décembre 1964 et Juillet 1965 (de 6,7 à 7,7 m.mhos au niveau de l'emplacement Q.2); la composition chimique de cette eau mérite d'attirer l'attention.

L'eau dont l'analyse est présentée ici, fut prélevée en Décembre, en Q.2.

<u>Cations</u> (m.e./l)		<u>Anions</u> (m.e./l)	
Ca ⁺⁺	25,8	SO ⁻⁻	58,3
Mg ⁺⁺	13,2	Cl ⁺	3,8
K ⁺	1,4	HCO ₃ ⁻	13,0
Na ⁺	41,0	CO ₃ ⁻⁻	-
Somme	81,4	Somme	75,1

Le fait frappant est la dominance des anions sulfates sur les anions bicarbonates; en employant la classification de PIPER (graphique 4), cette eau a un caractère de "salinité primaire". Son pH est de 7,3; elle correspond à une conductivité de 7,5 m.mhos.

III - CARACTERISATION D'UN PROFIL DE LA SEQUENCE : Q.2.I.*

A - DESCRIPTION DU PROFIL.

Situé au point 35 m (partie médiane de la séquence); observé le 18 Décembre 1964; la nappe est à 12 cm de profondeur; le sol est couvert d'une prairie dense à Paspalum sp.

* Le symbole de cette séquence est la lettre Q; trois emplacements furent choisis : Q.I en haut de séquence (à 2 m du repère). Q.2 en partie médiane (entre 30 et 40 m du repère). Q.3 en partie basse (entre 60 et 70 m du repère).

0 - 10 cm : très humide; gris très sombre (10 YR 3/1); non taché; quelques débris organiques (feuilles) peu décomposés; argilo-sableux humifère; structure grenue moyenne (2 - 3 mm), moyennement développée; les éléments sont consistants, non poreux; enracinement fin très dense; horizon carbonaté. Passage très distinct, régulier à :

10 - 20 cm : (nappe à 12 cm); gris-verdâtre sombre (5 GY 4/1); petites taches blanchâtres, assez nombreuses, distinctes; argilo-sableux humifère (passant à argilo-humifère); structure prismatique

.../...

moyenne faiblement développée (plasticité assez marquée); enracinement fin, dense, pénétrant les prismes; horizon faiblement carbonaté. Passage tranché, régulier à :

- 20 - 22 cm : bande gris-noirâtre, ondulée, assez nombreux débris végétaux (feuilles, racines) mal décomposés, lités; la structure prismatique n'est pas interrompue au niveau de cette bande.
- 22 - 45 cm : gris-verdâtre (5 GY 5/1); non taché; humo-argilo-limoneux; structure polyédrique moyenne faiblement développée, avec traces, dans la partie supérieure de l'horizon, d'une structure prismatique; enracinement fin très dense; horizon très carbonaté. Passage distinct, régulier à :
- 45 - 55 cm : gris-noir (5 Y 3/1); assez nombreux débris végétaux (feuilles), noirâtres, mal décomposés; humo-argileux; structure polyédrique fine fortement développée; faiblement carbonaté. Passage distinct, régulier à :
- 55 - 80 cm : gris-verdâtre sombre (5 GY 4/1); humo-argileux; structure prismatique grossière, moyennement développée (éléments peu durs, non poreux); enracinement fin encore dense, mais localisé aux faces des prismes; non carbonaté.

B - INTERPRETATION.

1°) - Le matériau.

La succession des horizons dans ce profil apparaît complexe : à la base (55 - 80 cm), l'argile fissurée est analogue à celle observée dans tous les profils de P.27, mais avec ici des caractères moins marqués : structure moins développée, moins consistante, sans fentes de retrait nettes. Les résultats analytiques (page 115) indiquent également une teneur en argile (48 %) plus faible que celle de l'argile fissurée habituelle (60 à 70 %).

Au dessus, de 20 à 40 cm, se différencient une série d'horizons plus limoneux, plus riches en une matière organique parfois moins bien décomposée (26 % à C/N de 16, entre 20 et 22 cm), très carbonatés (23 % entre 20 et 45 cm) ce qui est en liaison avec le léger éclaircissement de la cou-

leur à ce niveau; la structure est parfois très particulière, telle celle de l'horizon 45 - 55 cm : polyédrique fine avec des éléments très bien individualisés. Enfin les deux horizons supérieurs (0 - 10 et 10 - 20 cm) ont des caractéristiques de couleur, de structure les rapprochant de l'argile fissurée (avec des teneurs en argile nettement inférieures).

Ce profil présente donc une superposition de matériaux liée à l'histoire de la sédimentation en ce point. Ce problème ne peut être approfondi que par l'étude de séquences sédimentologiques et une meilleure connaissance de la nature minéralogique des divers matériaux fins.

2°) Les processus pédologiques actuels.

La nappe est à 12 cm et l'engorgement du sol total (humidité de 0 à 10 cm : 90 %). La salinité de la nappe (conductivité de 7,0 m.mhos) et celles des divers niveaux du sol, sont du même ordre (5,2 à 8 m.mhos pour les E.S. des horizons). Les sels solubles sont surtout des sulfates.

La proportion de sodium fixé sur le complexe absorbant ne dépasse pas 5 % (les résultats manquent pour certains horizons); le pH est égal ou inférieur à 8,0 : l'alcalisation reste faible dans ce profil. L'augmentation des valeurs d'Is dans les horizons de surface correspond plutôt à une caractéristique de ce matériau qu'à une dégradation de la structure localisée à la partie supérieure du profil.

D'après l'examen de ce seul profil, il n'est pas possible de dire si la richesse en carbonates (23 %) de l'horizon 22 - 45 cm est due à un processus pédologique actuel ou si elle est une caractéristique du matériau.

3°) - Classification du profil.

Le niveau élevé de salinité de ce sol (dont la conductivité de l'E.S. des divers horizons reste supérieure à 4 m.mhos pendant toute l'année), autorise le choix du processus d'Halomorphie au niveau de la classe; l'alcalisation ne jouant qu'un rôle secondaire, le profil serait alors classé :

SOL HALOMORPHE, à structure non dégradée,
Salin,
à horizon de surface friable.

Mais ce choix ne mettrait en évidence ni l'Hydromorphie, ni le caractère de la matière organique. C'est pourquoi une classification basée sur l'hydromorphie sera proposée et jugée préférable :

SOL HYDROMORPHE, moyennement humifère,
Humique à gley,
très salé (à salinisation primaire, à base de sulfates).

IV - MANIFESTATIONS DE L'HYDROMORPHIE ET DE L'HALOMORPHIE, aux diverses saisons.

Ces deux processus jouent à l'échelle de la séquence P.17 de manière très classique :

- Entre Décembre et Mai, le niveau de la nappe baisse régulièrement, le sol se dessèche sur une épaisseur croissante, les sels s'accumulent en surface. En Q.2, partie médiane de la séquence la prairie masque les manifestations visibles de ce phénomène. En Q.I, par contre, la prairie fut défrichée en Décembre et des "carrés" mis en place pour un semis de blé : sur ces petites surfaces ainsi dénudées et légèrement tassées juste après le semis, en quelques jours, un "manteau" très blanc d'efflorescences apparut, couvrant 80 % de la surface. La pureté de la couleur blanche traduit une forte dominance de sulfates de sodium.

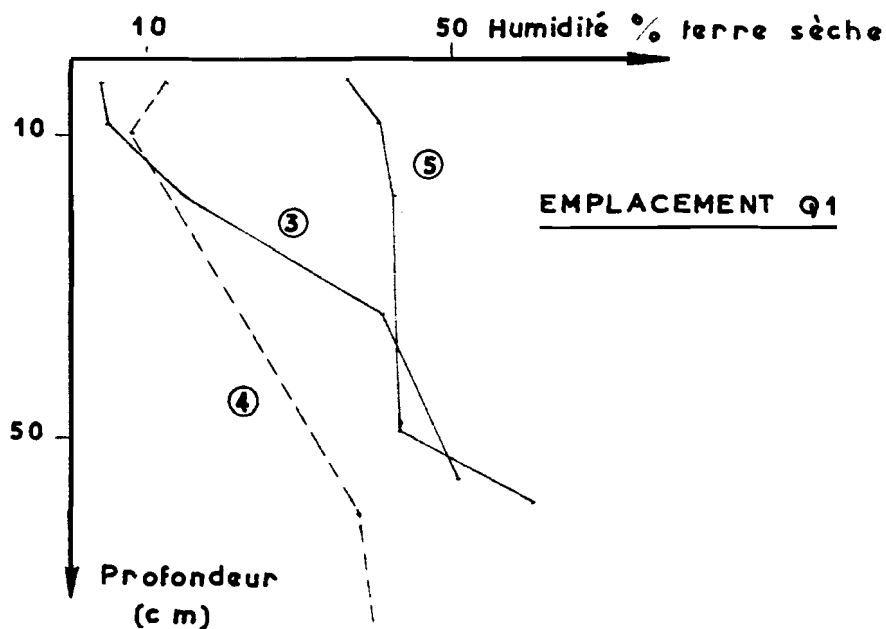
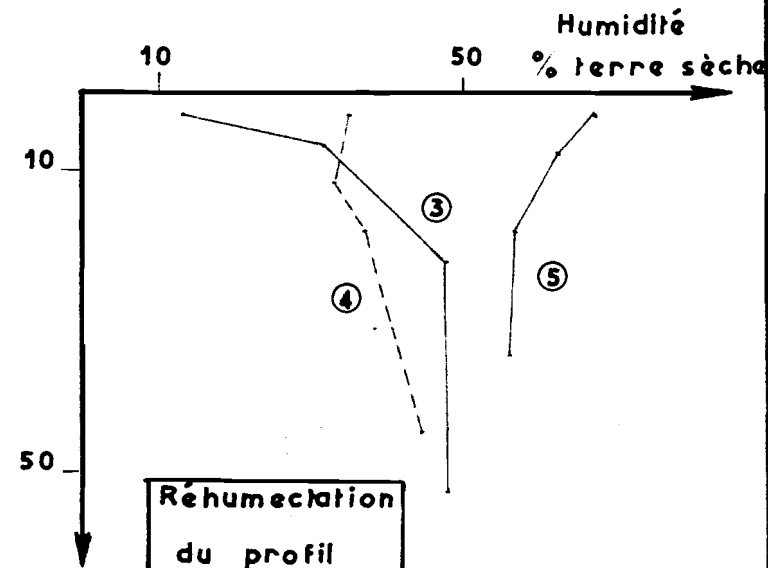
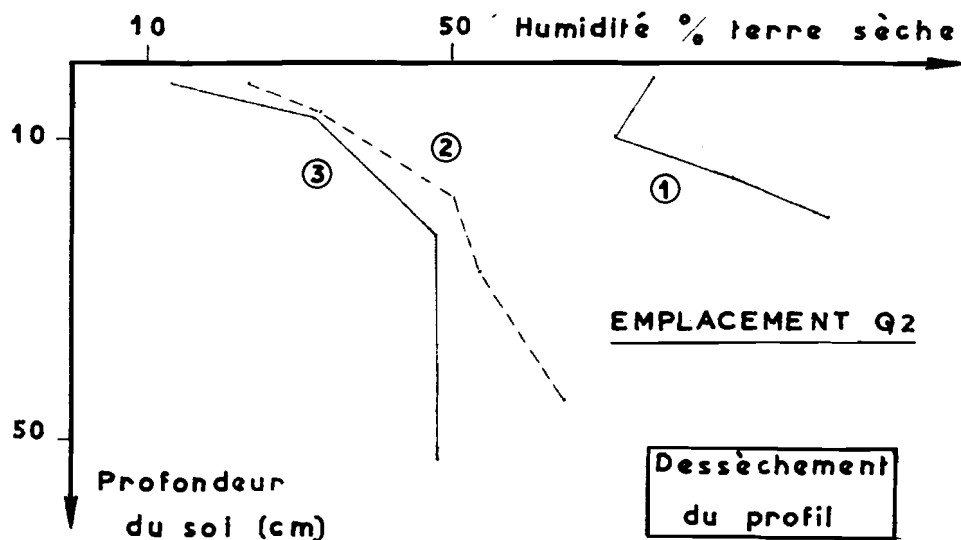
- Entre fin Mai et le 21 Juillet, les premières pluies (10 mm seulement) ont légèrement réhumecté la couche supérieure du sol mais n'ont pas empêché le dessèchement des horizons profonds de se produire (graphique n° 12), et n'ont pas modifié le type de répartition des sels (toujours accumulés en surface).

- Entre le 21 Juillet et le 5 Août (pluviométrie cumulée supérieure à 100 mm), la réhumectation des sols se produit : Q.2 est déjà proche de la capacité au champ estimée (60 à 70 %) Q.I se réhumecte d'une façon homogène sur toute son épaisseur ce qui repose le problème du mode de pénétration de l'eau. Parallèlement, les sels sont lessivés de l'horizon superficiel, mais la répartition des sels dans le profil n'est pas encore homogène.

- Les observations ne couvrent pas la fin de la saison des pluies 1965; en 1964, durant la même période, le niveau de l'eau a continué à mon-

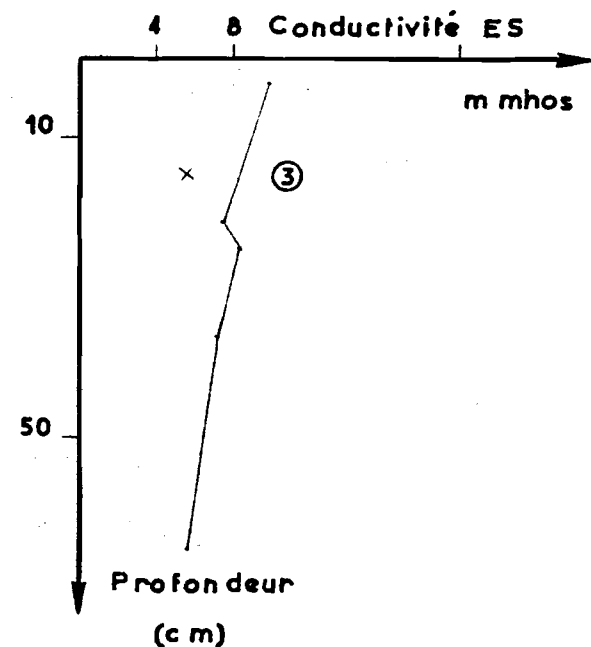
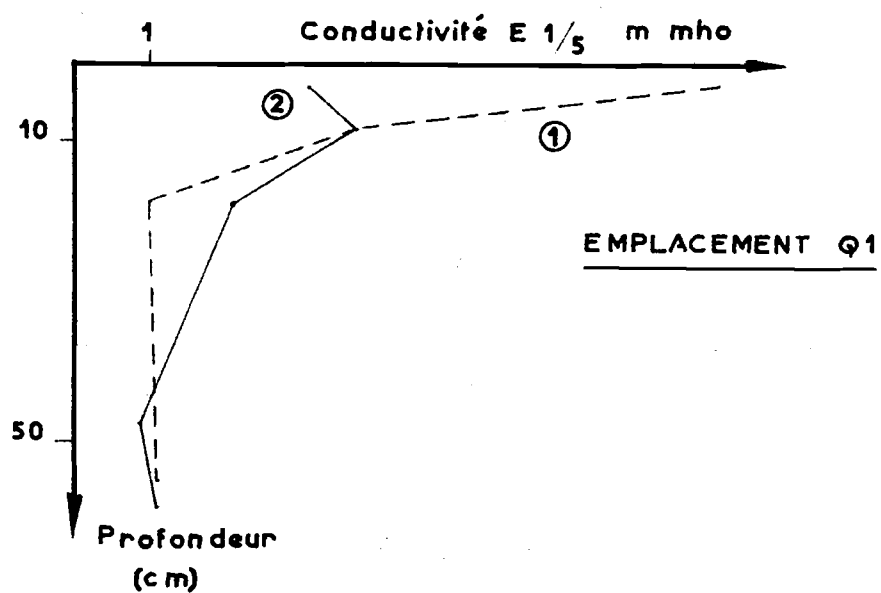
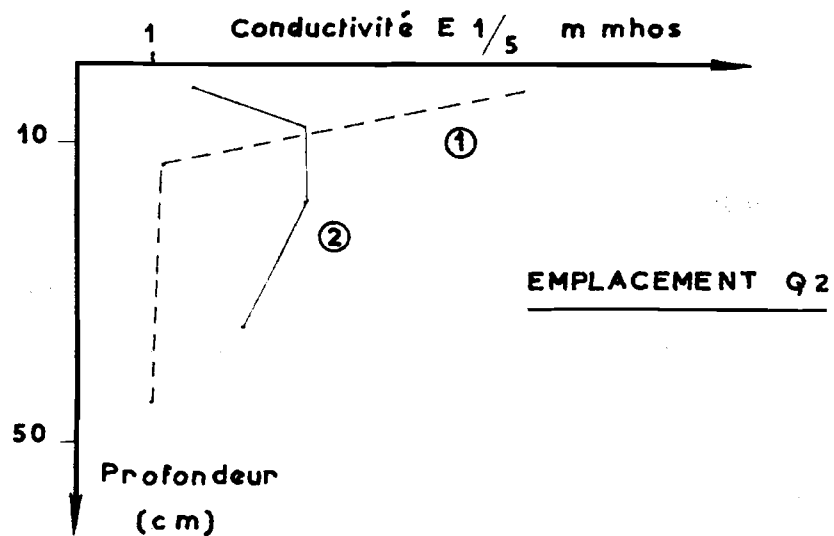
SÉQUENCE DE SOL P17

PROFILS HYDRIQUES



			Q1	Q2
①	Décembre	nappe à	-	11
②	Avril		-	60
③	Mai		84	60
④	21 Juillet		87	53
⑤	5 août		50	29

SÉQUENCE P17 RÉPARTITION DES SELS DANS LES PROFILS



		Q1	Q2
①	Mai nappe	93	72
②	5 août "	50	29
③	décembre "	-	11

ter; la nappe submerge alors la partie basse de la séquence (50 à 70 m du repère) et est sub-affleurante de 20 à 50 m. Le lessivage des sels du sol par les pluies n'a donc qu'une efficacité très réduite puisque le sel ne fait que rejoindre une nappe proche et elle-même très salée.

V - CONCLUSION : FERTILITE DES SOLS DE P.17

A - LES TRAITES DOMINANTS de cette séquence se résument ainsi :

Une nappe très salée, des sols très salés, une absence d'alcalisation. Le faible rôle de l'alcalisation est attribué à la dominance des anions sulfates (ou sulfures) sur les bicarbonates, beaucoup plus qu'aux fortes teneurs en CaCO_3 des horizons 20 - 45 cm : l'étude de la séquence suivante (T.4) s'attachera à le montrer.

Les observations systématiques sur P.17 ne portent que sur un an, si bien que les variations de salinité de la nappe et des sols à l'échelle de plusieurs années ne sont pas connues; les mesures effectuées en 1959 - 1960 (12) dans ce secteur indiquaient des chiffres déjà élevés, mais inférieurs aux chiffres actuels.

B - FERTILITE DES SOLS.

L'étude pédologique laisse supposer que la fertilité des sols de P.17 est réduite. De fait, les parties basse et médiane de la séquence ne sont jamais cultivées : c'est le domaine des roseaux et "prairies". Par contre, en haut de séquence une culture de blé fut tentée fin Décembre 1964, sur une bande large de 20 m. La technique des "carrés" (terre superficielle rabattue sur les bords, juste avant le semis, pour constituer des "diguettes") joue un rôle favorable car la graine de blé, semée d'ailleurs profondément (5 cm) est ainsi placée dans un milieu moins riche en sels. Mais cela ne dure pas : au bout de 5 à 6 jours, le champ apparaît comme recouvert d'un véritable tapis de neige (efflorescences de Na_2SO_4); la germination est néanmoins excellente (supérieure à 90 %).

Le même champ fut examiné à la Mi-Janvier; le développement végétatif du blé était homogène de pied à pied, mais médiocre (12 cm de hauteur) : l'enracinement en particulier s'est révélé très réduit : si les ra-

cines séminales étaient normales, les racines secondaires, elles, étaient très rares : le blé souffrait de la salinité de l'horizon 0 - 5 cm, beaucoup plus que de l'hydromorphie. La récolte fut médiocre.

L'irrigation avec l'eau de la nappe est évidemment impensable, étant donnée sa teneur en sels; par ailleurs, il n'y a pas d'évacuation naturelle de ces mêmes sels. Une utilisation intéressante des sols de P.17 supposerait un apport d'eaux d'irrigation nettement moins salées (eaux du Lac par exemple, à conductivité de 0,2 m.mho seulement), et la mise en place d'un système de drainage (complexe vue l'absence d'écoulement naturel). Cette solution, classique certes, déjà envisagée (7) (18), mais très coûteuse, ne semble pas pouvoir être actuellement mise en oeuvre.

Il est plus sage de s'attacher aux séquences type P.27 et de renoncer provisoirement à la culture de séquence P.17.

-----ooOoo-----

D. UNE SEQUENCE DE SOLS A NAPPE PHREATIQUE

SALEE ET ALCALISANTE : T.4.

I - INTRODUCTION.

Longue de 400 m, cette séquence est située dans le coin Sud-Ouest du polder Guini (orientation Ouest-Est); une source (voir profil en travers sur le graphique n° 14) alimente la nappe phréatique en eaux salées (3 à 5 m.mhos, soit 1,8 à 3 g/l), riches en bicarbonates et en sodium. Sous l'influence de cette nappe se développent des sols salés à alcalis, caractérisés par :

- leurs pH très élevés (supérieurs à 9).
- une forte proportion de sodium fixé sur le complexe absorbant (15 à 20 %).
- une dégradation de la structure dans les horizons les plus alcalins; l'apparition en surface d'efflorescences noires ("salant noir") lorsque la nappe est proche du sol.

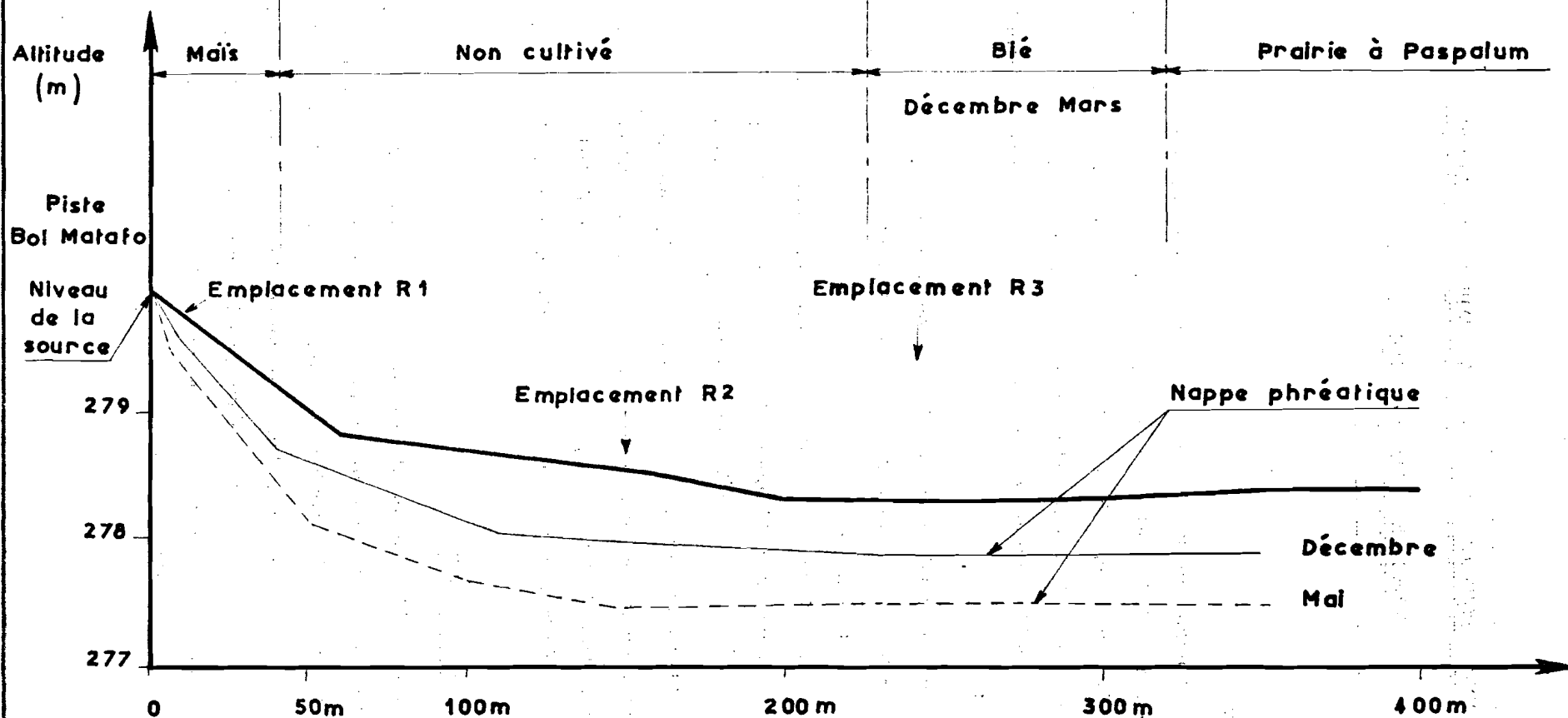
L'alcalisation globale de cette séquence de sols sera attribuée à la dominance, dans les eaux de la nappe, des ions bicarbonates sur les ions sulfates. Dans les profils, les niveaux de précipitation des sulfates de calcium et sodium seront à des pH inférieurs à ceux des horizons proprement alcalins.

II - LA NAPPE PHREATIQUE.

Sous l'influence de la source, la nappe phréatique présente, dans sa partie amont, une pente Ouest-Est très marquée. En haut de séquence, la nappe est proche de la surface du sol et ses variations de niveau au cours de l'année fortement amorties. Dans le reste de la séquence, en particulier entre 200 et 400 m du point de repère (choisi au niveau de la source; voir graphique n° 14), la pente de la nappe est nulle et ses variations de niveau voisines de celles décrites en P.27.

SÉQUENCE T4 CROQUIS GÉNÉRAL

(Profil en travers du sol , de la nappe ;
Emplacement des points d'étude)



Conductivité de la nappe (en m.mhos à 25°)

Décembre	3,4	2,9	4,0	3,6	3,9	4,0
4 Aout		3,0	3,0	3,5	4,0	5,7

Trois analyses d'eau furent effectuées, en haut de séquence (10 m), en partie médiane (155 m), en partie basse (250 m). Le tableau ci-dessous présente les résultats :

Emplacement	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{Ca}	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	CO ₃ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	S	L	pH	SAR
R.1 (10 m)	4,4	2,0	1,2	35,	42,6	9,0	1,0	-	30	40	3,2	8,5	19,5
R.2 (150 m)	3,2	2,4	0,8	32,	38,4	6,7	0,5	-	28	35	2,8	8,5	19,
R.3 (250 m)	4,8	2,8	1,0	52	60,6	17,0	2,0	-	46	65	4,9	8,8	27

(cations, anions en m.e/l; conductivité, L, en m.mhos).

$$S.A.R. = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}} \quad (\text{"Sodium Adsorptio Ratio"}) (16).$$

Tout au long de la séquence, la nappe présente donc un caractère alcalin : pH élevés, dominance des bicarbonates sur les sulfates, valeurs du S.A.R. largement supérieures à 10. Les valeurs de la conductivité, mesurées paraissent un peu faibles par rapport à la somme des cations ou anions (on admet en général que $S_{Ca} = 10$ l. Si ce caractère alcalin est dû aux apports d'eau de la source, on constate que cette influence se fait sentir sur l'ensemble de la séquence, soit 400 m; (elle disparaît ensuite : le pH diminue sur la bordure Est du polder).

La teneur en sel de cette nappe (1,8 à 3 g/L) s'avère très hétérogène d'un point à un autre (graphique n° 14), parfois à très courte distance; cette hétérogénéité, nettement plus marquée qu'en P.27, masque les variations annuelles éventuelles de salinité.

III - CARACTERISATION PEDOLOGIQUE D'UN PROFIL DE LA SEQUENCE : R.2.1.

A - DESCRIPTION.

Profil observé le 15 Décembre 1964; la nappe phréatique est à 60 cm, sa conductivité de 3,5 m.mhos. Cultivée début 1964, cette zone est

.../...

depuis à l'abandon. Une graminée dense, de 20 à 40 cm de hauteur couvre le sol. Un réseau polygonal (10 à 20 cm de diamètre) de fines fentes de retrait s'est développé; efflorescences très diffuses, blanchâtres, en surface du sol.

0 - 6 cm : sec; gris-sombre (7,5 YR 4/0; 7,5 YR 3/0); assez nombreuses petites taches, brun-rouge ou jaune-rouge, distinctes (hydromorphie); assez nombreuses petites taches blanches, très distinctes, ne réagissant pas à HCl, concentrées vers 1 cm de profondeur; quelques très petits (1 à 2 mm) nodules de carbonates, gris-jaunâtres, durs; humo-argileux; structure massive, se débitant en fonction du réseau de fentes de retrait; enracinement fin, abondant; horizon faiblement carbonaté dans sa masse. Passage tranché, régulier à :

6 - 20 cm : légèrement humide; gris-sombre (10 YR 4/1; 10 YR 3/1); assez nombreuses petites taches jaune-rouge, en particulier le long de racines peu décomposées; très nombreuses petites taches blanches, très distinctes, disposées soit par plages horizontales, soit (en moindre abondance) sur les faces verticales des éléments structuraux; ces taches réagissent peu à HCl, et sont particulièrement abondantes entre 6 et 7 cm; argilo-humifère; structure en plaquettes (épaisseur 1 cm, longueur 5 cm) faiblement développée; assez dur; non poreux; enracinement fin moyennement dense; horizon faiblement carbonaté. Passage distinct, régulier à une série d'horizons d'épaisseur variable suivant le côté du profil où ils sont observés :

20 - 30 cm : humide; gris (5 Y 5/1); nombreuses taches, petites et moyennes, jaune-rouge, très distinctes (hydromorphie); assez nombreuses taches noires, moyennes, distinctes; assez nombreux débris végétaux noircis, incomplètement décomposés, particulièrement abondants entre 20 et 22 cm (ligne noirâtre); humo-argileux; structure massive se résolvant, sous une pression de la main, en petits (1 à 2 mm) polyèdres bien développés, peu durs; enracinement fin réduit; horizon carbonaté. Passage irrégulier à :

.../...

30 - 65 cm : humide; couleurs gleyeuses ; juxtaposition de grandes poches gris-clair (5 Y 6/1) et d'autres gris-verdâtre (5 GY 6/1), aux formes peu définies (diamètre de 20 à 50 cm), aux limites distinctes;

- les poches gris-clair renferment d'assez nombreux débris végétaux noircis, très fragmentés, et quelques très petits coquillages (dont la nature n'est pas connue); argilo-humifère; structure massive; plasticité marquée; enracinement réduit; très fortement carbonaté.

- les poches gris-verdâtre renferment quelques taches jaune-rouge d'hydromorphie; pas de débris végétaux; argilo-humifère; structure polyédrique moyenne faiblement développée, avec amorce d'une sur-structure prismatique grossière; carbonaté. Passage irrégulier à :

65 - 150 cm : (sous la nappe); gris-verdâtre (5 GY 4/1); quelques taches, de taille moyenne, noirâtres, donnant avec HCl une légère odeur d'H₂S; humo-argileux; structure prismatique grossière, moyennement développée; plasticité moins marquée que de 30 à 65 cm; très faiblement carbonaté.

B - INTERPRETATION. (résultats analytiques page 116).

1°) - Le matériau.

Sur l'épaisseur considérée, plusieurs matériaux sont superposés :

- à la base du profil (65 - 150 cm) l'argile fissurée, avec sa couleur, sa texture (61 % d'argile, 18 % de limon), sa structure prismatique habituelles; seule une certaine plasticité est particulière à ce profil.

- de 20 à 65 cm, une série assez complexe de matériaux caractérisés par : un enrichissement en matière organique de 20 à 30 cm (13, 2 % : la présence de débris non décomposés n'apparaissant pas dans le rapport C/N qui reste de 12,3). Présence de quelques très petits coquillages, d'éléments structuraux ayant subi une dessiccation irréversible (non déforma-

bles, cassants). Très forte carbonatation (55 %) des poches gris-clair entre 30 et 55 cm.

- de 0 à 20 cm, un horizon plus voisin, par certaines de ses caractéristiques, de l'argile fissurée de la base.

Cette succession de matériaux s'observe dans la plupart des profils de la séquence; leurs épaisseurs varient, mais l'ordre de superposition reste le même; il s'agit là de matériaux et non d'horizons pédologiques, car leur formation est due à l'histoire de la sédimentation lacustre. Le niveau 20 - 30 cm évoque une phase d'exondaison antérieure (débris organiques, éléments "cuits"....).

2°) - L'Hydromorphie.

Toute l'épaisseur du profil est marquée par des traces d'un engorgement total et de la réoxydation consécutive à la baisse du niveau de la nappe. Entre la fin des pluies et le 15 Décembre, ce niveau a baissé de 25 cm environ; la couverture graminéenne n'empêche pas une très forte évaporation de se produire, et l'horizon de surface est déjà sec (graphique 15).

3°) - L'Halomorphie : salinisation et alcalisation.

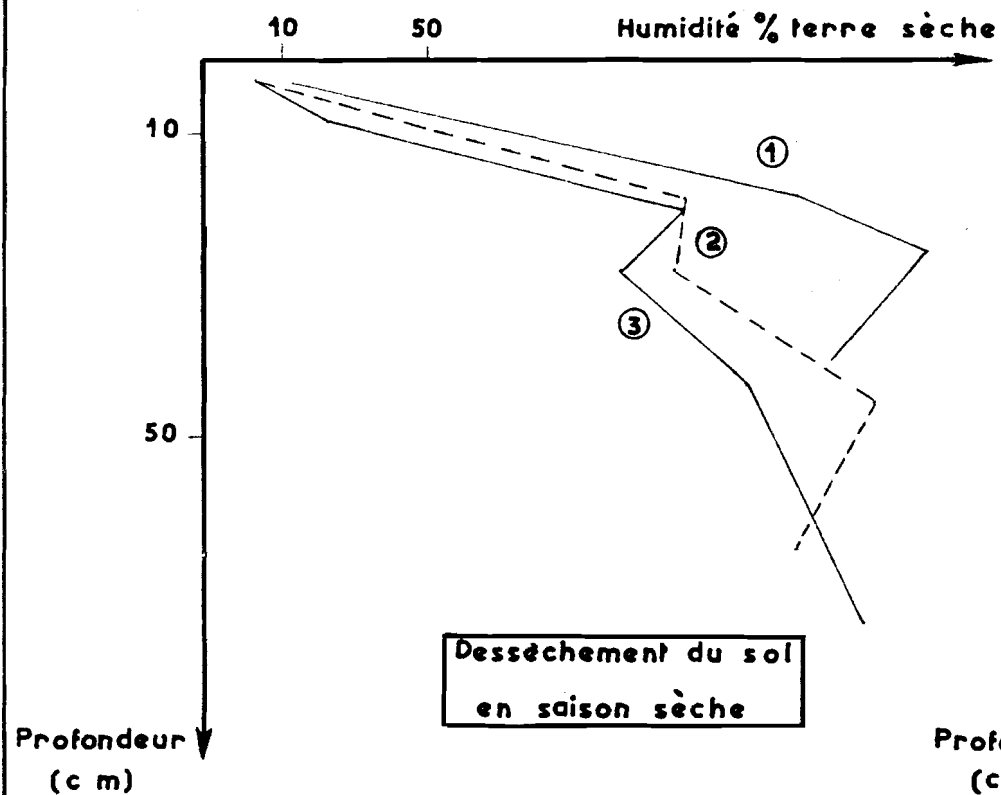
En Décembre, la teneur en sels est élevée dans les horizons supérieurs 8,4 et 8,9 m.mhos entre 0 - 10 et 10 - 20 cm, puis diminue nettement (4,8 m.mhos entre 20 et 25 cm) : manifestation d'un processus classique de remontée des sels, à partir d'une nappe, en début de saison sèche.

En fait, les mesures effectuées les mois suivants, en prélevant séparément les couches 0 - 5, 5 - 10 et 10 - 20 cm, ont montré que l'accumulation de sels ne se produit pas tout à fait en surface (contrairement au cas de la séquence P.17), mais entre 5 et 20 cm. Sur le profil, c'est d'ailleurs à ce niveau que les petites taches blanches, constituant un pseudo-mycélium dans les faces (horizontales surtout) des éléments structuraux, sont les plus abondantes. Ce pseudo-mycélium fut prélevé à part et analysé (sels solubles exprimés en m.e : 100 g).

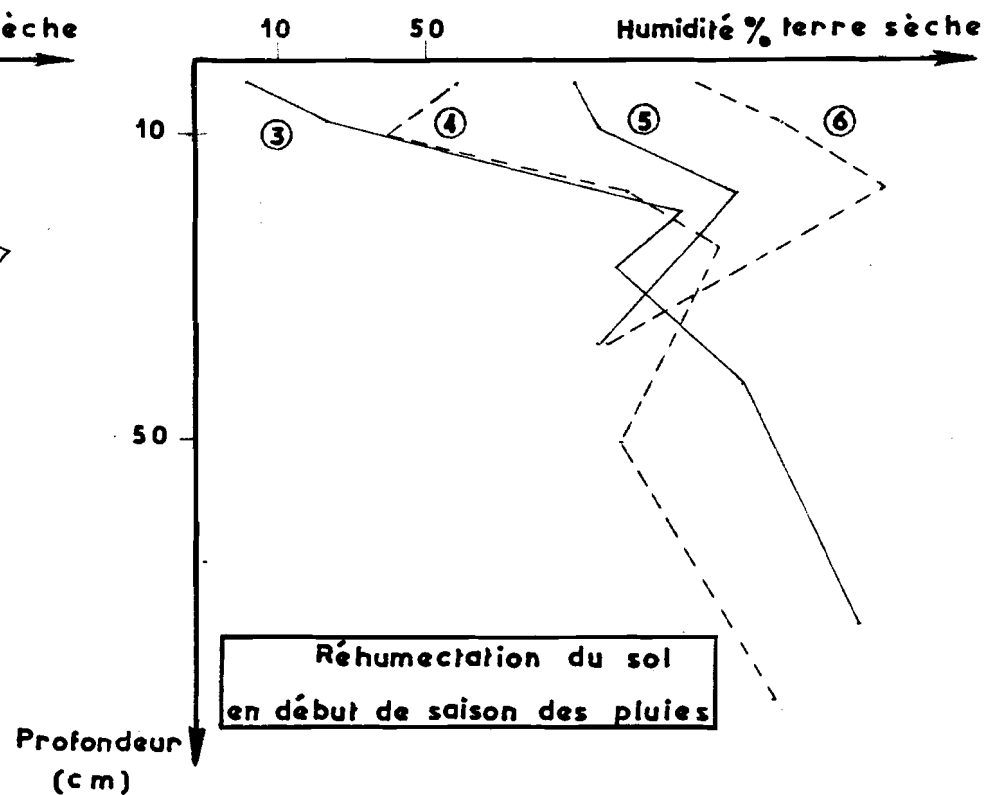
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{Ca}	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S _{an.}
25,3	4,5	1,2	21,6	52,6	47,5	3,0	0	50,5

SÉQUENCE DE SOL T4 EMPLACEMENT R2

PROFILS HYDRIQUES



①	Décembre	nappe à	60 cm
②	Avril	"	98
③	Mai	"	111

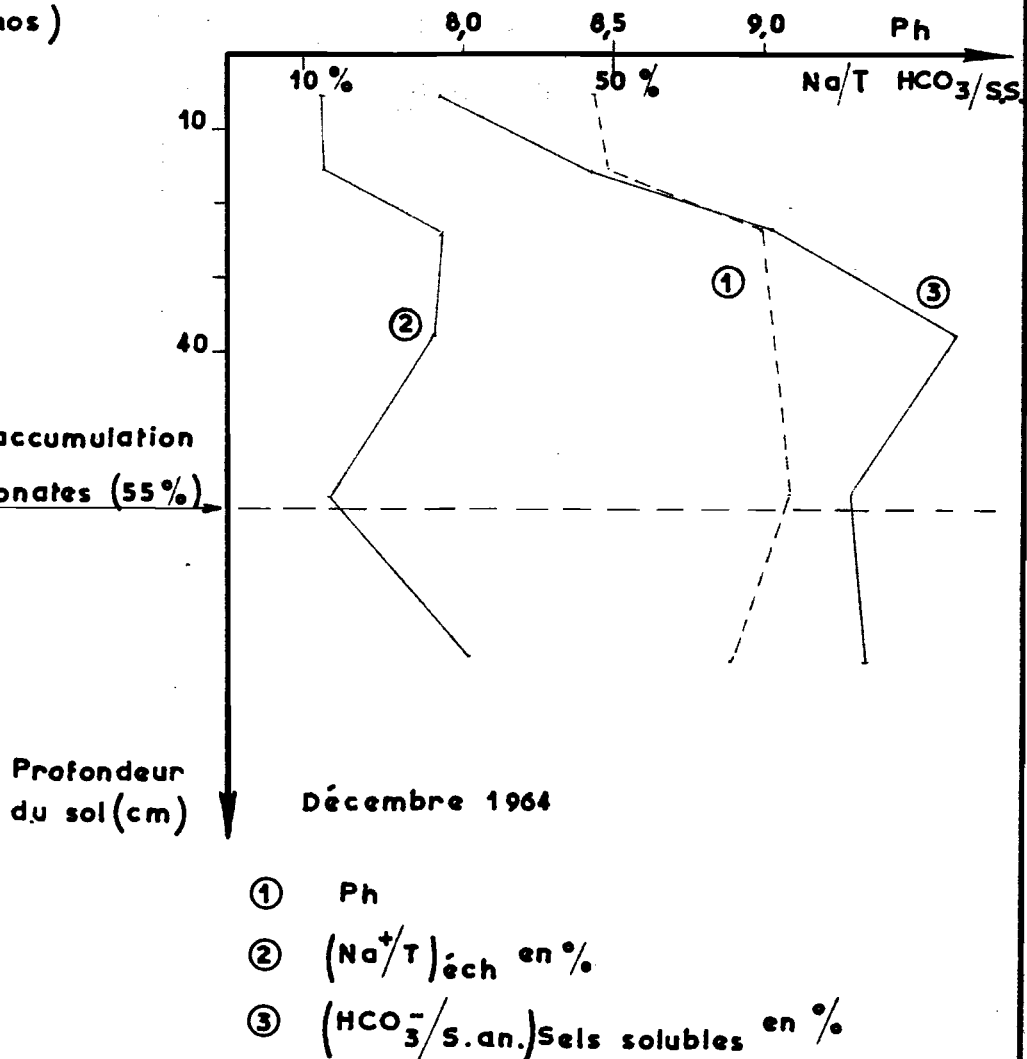
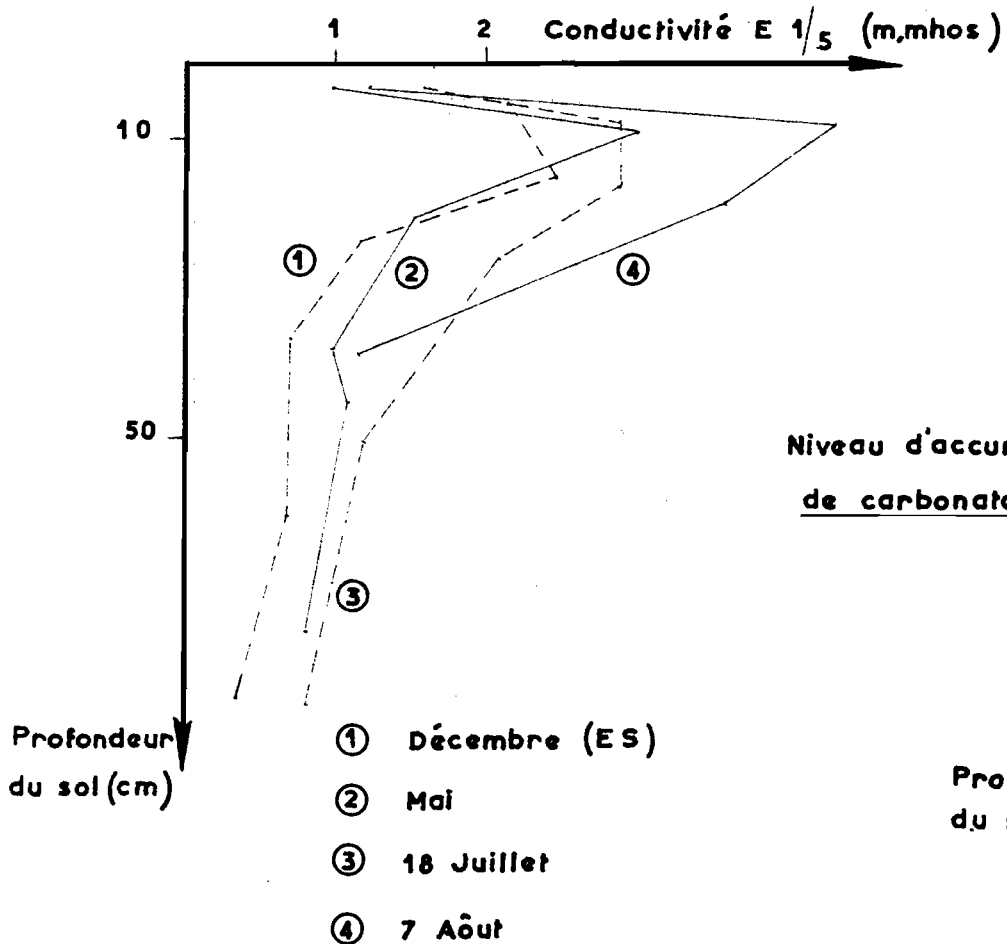


④	18 juillet	nappe à	103 cm
⑤	2 Août	"	88
⑥	7 Août	"	58

SÉQUENCE T4 **EMPLACEMENT R2**

RÉPARTITION DES SELS DANS LE PROFIL

LE PROCESSUS D'ALCALISATION



Les sels cristallisés entre 6 et 20 cm sont donc en très forte dominance des sulfates de calcium et de sodium.

Dans les horizons suivants, la teneur en sels diminue et leur nature change : l'anion bicarbonate, et le cation sodium deviennent presque exclusifs; parallèlement, le pH du sol augmente et atteint des valeurs supérieures à 9. La proportion de sodium échangeable sur le complexe absorbant, de 12 % de 0 à 20 cm, passe à 26 et 27 % de 20 à 40 cm. L'alcalisation prend le pas sur la salinisation.

Un nouvel élément intervient à partir de 30 cm : la présence de carbonate de calcium : les larges poches gris-clair de l'horizon 30 - 65 cm en contiennent 50 %. Le pH reste néanmoins très élevé, supérieur à 9; le bicarbonate de sodium est dominant parmi les sels solubles, et le sodium échangeable encore en forte proportion sur le complexe.

Dans ce profil, les phénomènes d'Halomorphie revêtent donc une allure assez complexe qui peut se résumer ainsi :

Surface : pas d'efflorescences salines nettes.

6 - 20 cm : cristallisation de sulfates de calcium et de sodium; pH de 8,5; Na/T = 12 %; horizon présentant simultanément des caractères de salinisation et de faible alcalisation.

20 - 30 cm : pH de 9; Na/T supérieur à 20 %; structure dégradée, mais cette dégradation ne fait pas disparaître entièrement une structure polyédrique fine; horizon le plus alcalin du profil (on peut d'ailleurs s'étonner que l'analyse n'ait pas décelé de carbonates parmi les anions solubles à ce niveau).

30 - 65 cm : alcalisation encore nette dans les poches gris-verdâtres; très forte teneur en carbonates de calcium des poches gris-clair. Cet horizon, à pH encore très élevé, constitue une "réserve" de CaCO₃.

Nappe phréatique, à bicarbonates de sodium, et, dans une moindre mesure à sulfates de sodium.

4°) - Carbonatation.

Les très fortes accumulations de carbonates de calcium observées entre 30 et 60 cm se présentent sous forme irrégulière, par poches bien distinctes; cette intensité, cette hétérogénéité de la carbonatation, sa position dans le profil (au niveau d'un matériau différent de l'argile fissurée), le caractère alcalin de la nappe, conduisent à envisager que ce n'est pas là le résultat d'une carbonatation récente et actuelle.

Cette richesse en carbonates est-elle une caractéristique du matériau, ou bien le résultat d'un processus pédologique ancien (lors d'une exondaison antérieure, dont les traces seraient observées entre 20 et 30 cm) ? Dans l'état actuel de nos observations, nous ne pouvons que poser le problème. Toujours est-il que cette carbonatation n'empêche pas, actuellement, l'alcalisation des horizons supérieurs.

C - CLASSIFICATION DU PROFIL.

En adoptant, comme dans le cas des profils précédemment étudiés, une classification basée sur l'hydromorphie et le type de matière organique, ce profil serait classé comme :

SOL HYDROMORPHE, moyennement humifère,
Sol humique à gley,
salé à alcalis.

Mais l'Halomorphie peut ici être considérée comme le processus dominant : l'alcalisation est nette à certains niveaux, mais les caractéristiques du matériau (nature de l'argile, richesse en matière organique) évitent une dégradation très poussée de la structure; à l'échelle des polders, la structure massive décrite en R.2.1 est néanmoins spécifique des zones alcalisées. C'est pourquoi la classification suivante est adoptée :

SOL HALOMORPHE, à structure modifiée,
non lessivé à alcalis,
salé (sans structure poudreuse).

IV - MANIFESTATIONS DE L'HYDROMORPHIE, DE L'HALOMORPHIE au cours de l'année.

En R.2, le profil hydrique (graphique n° 15) n'évolue guère après le 15 Décembre, durant tout le reste de la saison sèche; la couverture graminéenne se dessèche progressivement et consitue un écran de moins en moins efficace; la dessiccation du sol, très poussée sur 20 cm, ne joue guère au delà, ce qui semble faciliter une réhumectation rapide du sol par les premières fortes pluies (profil réhumecté lorsque la pluviométrie cumulée dépasse 120 mm).

Le profil de répartition des sels, lui, ne varie pas, ni durant le reste de la saison sèche (Décembre à Mai), ni durant la première phase de la saison des pluies (graphique n° 16). Les sels sont accumulés non pas en surface, mais entre 5 et 15 cm.

En Août, les tests traduisent que jusqu'à cette date, il n'y a pas eu de lessivage net des sels. En 1965, les observations ont malheureusement dû cesser le 7 Août : la structure n'avait pas alors subi de dégradation particulière du fait de la réhumectation, mais le pseudo-mycélium salin n'était plus distinct, entre 6 et 20 cm. Observé l'année précédente, en cours de prospection, en fin Août, (pluviométrie cumulée supérieure à 200 mm), le sol de ce secteur offrait une surface lissée; la structure dès 20 cm, très dégradée, n'en gardait pas moins une certaine consistance.

Les observations en ce point seront reprises, notamment en saison des pluies, car les variations dans la répartition des sels, dans le pH, le comportement de la structure, devraient permettre, une fois connues, de mieux comprendre les variations annuelles des mouvements de sels dans ce sol salé à alcalis.

Cas d'une nappe phréatique proche de la surface, toute l'année : emplacement R.1.

Les résultats analytiques concernant ce profil (R.I.1) sont présentés page 117 et les graphiques correspondants page 80 ; ils confirment un certain nombre de points présentés en R.2.1 :

- pseudo-mycélium blanc entre 14 et 22 cm, à très forte domi-

nance de sulfates de calcium et de sodium; pH de 8,1.

- horizon enrichi en matière organique de 22 à 42 cm (14 %), niveau où l'alcalisation est la plus marquée : pH de 8,7; Na/T = 26 %.
- poches gris-clair, très carbonatées (21 %) entre 42 et 55 cm.
- argile fissurée à la base du profil, non carbonaté, à pH encore très élevé, mais Na/T n'est plus que de 10 %.

Mais, contrairement à R.2.1, ce profil, situé en haut de séquence, là où la nappe phréatique est proche de la surface du sol, toute l'année, (graphique n° 14), présente en surface des efflorescences de couleur très noire le plus souvent, mais aussi blanc-brunâtre. L'analyse du "salant noir" (page 120), révèle un mélange de bicarbonates et de sulfates de sodium, à pH très élevé : 9,8; la couleur noire est due aux matières humiques dissoutes par le bicarbonate (ou carbonate) de sodium. Le salant blanc-brunâtre, qui couvre une surface moindre, possède la même composition chimique et une teneur en matière organique un peu inférieure (11,9 contre 14,3 %).

Le profil R.I.1 présente donc une succession d'horizons plus ou moins alcalins tout aussi complexe que R.2.1. On note l'allure commune entre la courbe de pH et celle du rapport $(\text{HCO}_3^- / \text{Somme anions})$ des sels solubles. La courbe Na/T est moins explicite. Mais il convient de rappeler, à ce sujet, les difficultés d'extraction des bases échangeables en milieu salé et calcaire.

V - CONCLUSION : FERTILITE DES SOLS DE LA SEQUENCE T.4

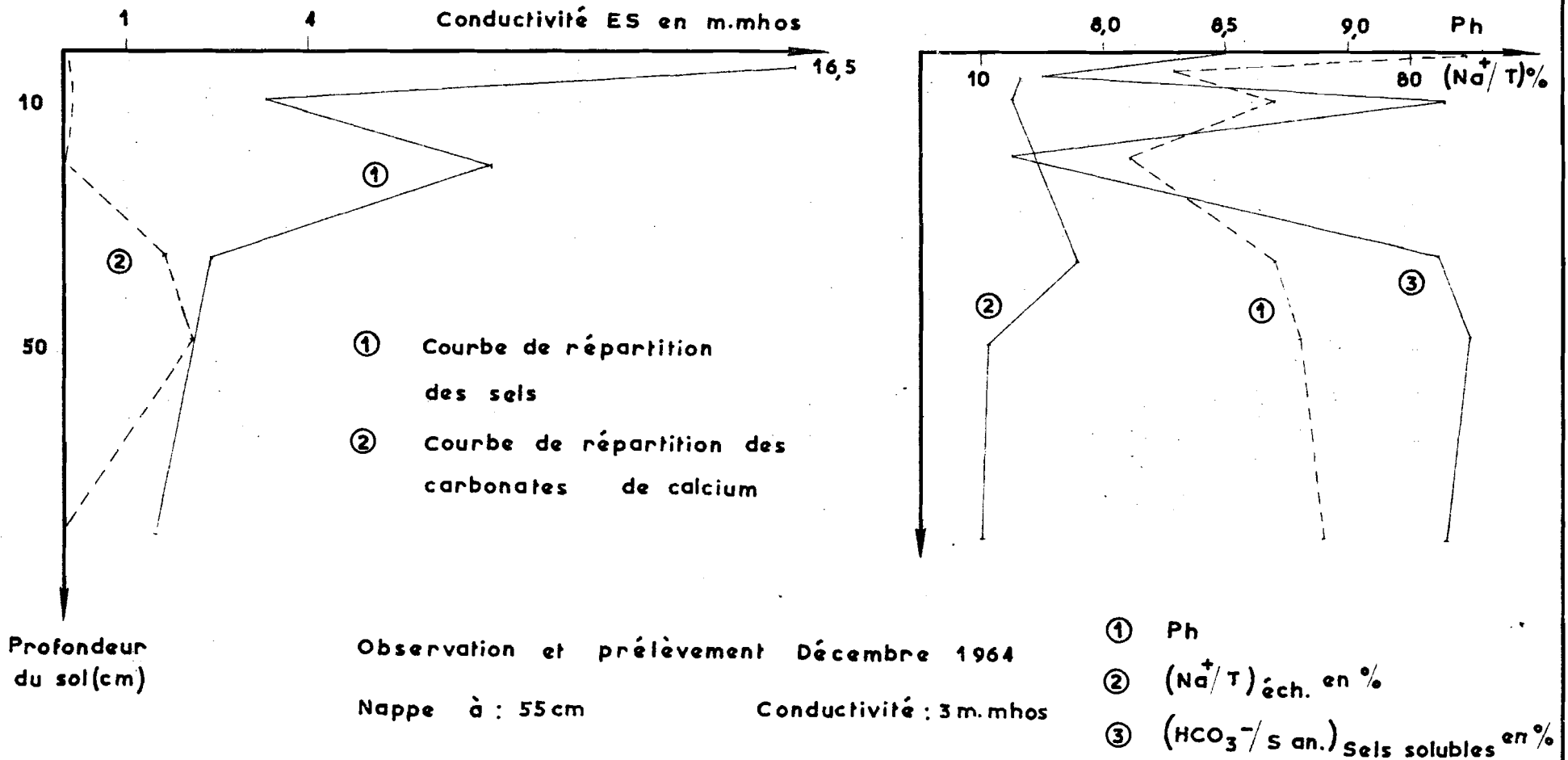
A - LES TRAITs DOMINANTS de la séquence se résument ainsi :

- Une nappe phréatique peu profonde, salée, à caractère nettement alcalin, induit la formation de sols "salés à alcalis". Les caractères morphologiques : présence de salant noir ainsi qu'une certaine dégradation de la structure confirment l'alcalisation.
- Les propriétés du matériau (teneur élevée en matière organi-

SÉQUENCE T4 **EMPLACEMENT R 1**

REPARTITION DES SELS DANS LE PROFIL

LES NIVEAUX D ALCALISATION



que bien humifiée notamment) paraissent gêner l'alcalisation dans son action dégradante vis à vis de la structure. Lors de la caractérisation d'un profil de sol (R.2.1), il n'a pas été fait appel aux valeurs analytiques de Is et de K pour juger de l'intensité de l'alcalisation. Les valeurs obtenues ne sont pas en effet directement interprétables; l'instabilité structurale des horizons très alcalins (ex : 30 - 45 cm en R.2.1) est forte (Is de 1,5), mais il en est de même de l'horizon 10 - 20 cm, salin : les sels sont des sels de sodium et leur dissolution lors des divers traitements a un effet de dégradation, d'imperméabilisation (diminution de la valeur de K).

Ce problème des caractères du matériau capables de retarder les manifestations de l'alcalisation sera repris l'année à venir.

B - FERTILITE DE CES SOLS.

La fertilité des sols de cette séquence est réduite ; le secteur est abandonné; seules quelques parcelles témoignent de la volonté de quelques paysans de persévérer, à tort d'ailleurs. En haut de séquence, un paysan tente, chaque année, un maïs : les graines sont semées au fond de poquets très profonds, 25 cm au moins; la graine trouve ainsi effectivement un milieu moins salé, mais n'échappe pas à l'alcalisation; l'aspect du maïs restera très mauvais et la récolte très limitée car beaucoup d'épis manquent. En bas de séquence, un autre paysan a cultivé du blé, de Décembre à Mars, avec le système des carrés, déjà décrit en P.17. Malgré cette précaution, la germination fut incomplète (50 à 60 %); par contre, les pieds levés ont eu une croissance à peu près normale, malgré un enracinement réduit (racines lissées, sans radicelles).

Comme P.27, cette séquence possède de par la pente de sa nappe un "drainage naturel", ce qui est un facteur favorable; mais alors qu'en P.27 les eaux d'apport ("d'infiltration") étaient faiblement salées, celles de T.4, plus ou moins liées à la source, sont salées et alcalines. Toute irrigation avec cette eau serait néfaste. L'amélioration de cette zone sup-

pose donc l'apport d'eaux du Lac (réseau d'irrigation). La présence de fortes quantités de carbonates de calcium n'est un facteur favorable que dans cette hypothèse (ramener en surface, par un travail profond du sol, une certaine quantité de cet amendement serait alors souhaitable).

La séquence T.4 prend place, avec P.17, mais pour d'autres raisons parmi les zones qui ne présentent plus, actuellement, d'intérêt agricole.

-----ooOoo-----

E. INFLUENCE D'UN NIVEAU RICHE EN CARBONATES DE CALCIUM

PROCHE DE LA SURFACE. SEQUENCE P.46

I - INTRODUCTION.

La séquence P.46 est située dans la zone Nord du polder Bérin, zone qui offre les particularités suivantes :

- la nappe phréatique y est : assez profonde en général; moyennement salée (3 m.mhos, soit 1,8 g/l), chimiquement équilibrée (HCO_3^- vis à vis de SO_4^{--} et $\text{Na} + \text{K}^+$ vis à vis de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$). De ce dernier point de vue, cette nappe se rapproche plus de celle de P.17 (caractère de salinité primaire) que de celle de T.4 (alcalinité primaire).
- Un niveau très carbonaté (teneur en CaCO_3 allant jusqu'à 60 %), blanchi, apparaît près de la surface, et même parfois dès la surface (bordure Ouest).

Si bien que, contrairement au cas des séquences précédentes, le processus de calcimorphie prend ici le pas sur l'hydromorphie et l'halmorphie (le terme de calcimorphie a été préféré à celui de carbonatation précédemment employé par suite des petites modifications morphologiques qu'entraîne la présence d'un horizon riche en CaCO_3 sur des horizons situés au dessus de lui).

II - CARACTERISATION D'UN PROFIL DE LA SEQUENCE : S.I.I.

A - DESCRIPTION DU PROFIL.

A 100 m du rebord dunaire Ouest; observé le 16 Décembre 1964; nappe phréatique alors à 85 cm; la surface du sol est mamelonnée (bombements espacés de 25 m; dénivellations de 50 cm); le profil est en position haute de ce micro-relief; la zone est cultivée en blé, sans irrigation, sauf les parties hautes des bombements, dénudées (cas du profil S.I.I.).

.../...

- 0 - 5 cm : sec; gris-blanchâtre; humo-argilo-sableux; structure polyédrique moyenne fortement développée (couche "déliée"); assez dur; non poreux; très carbonaté.
- 5 - 28 cm : sec; blanchâtre; argilo-limoneux humifère; structure prismatique grossière, moyennement développée; les prismes sont peu durs et se résolvent aisément en polyèdres, puis, sous une pression plus forte, en une poudre d'aspect farineux; très carbonaté. Passage tranché, peu régulier à :
- 28 - 38 cm : légèrement humide; gris-blanchâtre; taché (hydromorphie); argilo-humifère; structure prismatique en continuité avec celle de l'horizon précédent; à ce niveau, quelques poches plus blanches, de l'horizon 5 - 28 cm; très carbonaté. Passage graduel, régulier à :
- 38 - 85 cm : humide; gris-verdâtre (teinte gleyeuse à partir de 55 cm); faiblement taché (hydromorphie); argilo-humifère; structure prismatique grossière, fortement développée, à très larges fentes de retrait; éléments assez durs; difficilement déformables; non carbonaté. Passage graduel à :
- 85 - 130 cm : (sous la nappe) : gris-verdâtre sombre; non taché; argilo-humifère; structure prismatique grossière fortement développée; non carbonaté.

B - INTERPRETATION. (résultats analytiques page 118).

1*) - Le matériau observé à la base de ce profil est l'argile fissurée bien typée (56 % d'argile, 17 % de limon); les horizons de surface sont apparemment plus limoneux, mais sans que l'on puisse conclure qu'il s'agit d'un matériau différent, car l'analyse granulométrique fut faite sans élimination de carbonates.

2*) - Les processus actuels :

a) - Hydromorphie : la nappe est profonde; sa zone de battement se situe entre 60 et 150 cm; la partie supérieure du sol n'est jamais soumise à des conditions d'engorgement total; dès Décembre, le profil hydrique se

révèle assez "sec" : l'humidité ne devient supérieure à 50 % qu'à partir de 45 cm; en Mai à partir de 80 cm.

La réhumectation par les pluies se produit de manière homogène sur 50 cm d'épaisseur (graphique n° 18) : les pluies percolent vers les horizons profonds sans que la capacité au champ soit atteinte en surface; la présence, dès 5 cm, d'un réseau dense de fentes de retrait justifierait cette observation.

b) - Halomorphie : durant toute la saison sèche, lessels sont accumulés en surface; mais, là encore, dès les premières pluies, une redistribution des sels de surface s'opère. Les pH sont tous compris entre 7,5 et 7,8, le sodium échangeable occupe une part très faible du complexe absorbant : ce profil ne présente aucun signe d'alcalisation.

c) - Calcimorphie : 20 % de CaCO_3 entre 0 et 5 cm, 68 % de 10 à 20, 13 % jusqu'à 38 cm. Cette très forte teneur en carbonates se manifeste par la couleur claire, un toucher plus limoneux, une structure qui s'effrite sous pression plutôt qu'elle ne se fragmente (ce qui est le cas de l'argile fissurée); mais cette structure reste prismatique.

Morphologiquement, ces horizons évoquent l'action d'un processus pédologique d'accumulation de carbonates sous l'action d'une nappe : remontée de bicarbonates avec la nappe, ces sels précipitant sous forme de carbonates dans la partie haute du profil. Le terme de "calcimorphie" a été préféré ici à celui de carbonatation parce que, dans les profils de ce secteur où l'horizon gris-blanchâtre est surmonté d'un horizon de surface gris-noir humifère, la structure de ce dernier a été modifiée dans le sens d'un certain "arrondissement" (observation à quelques mètres de S.I.I., dans une partie basse du micro-relief).

C - CLASSIFICATION.

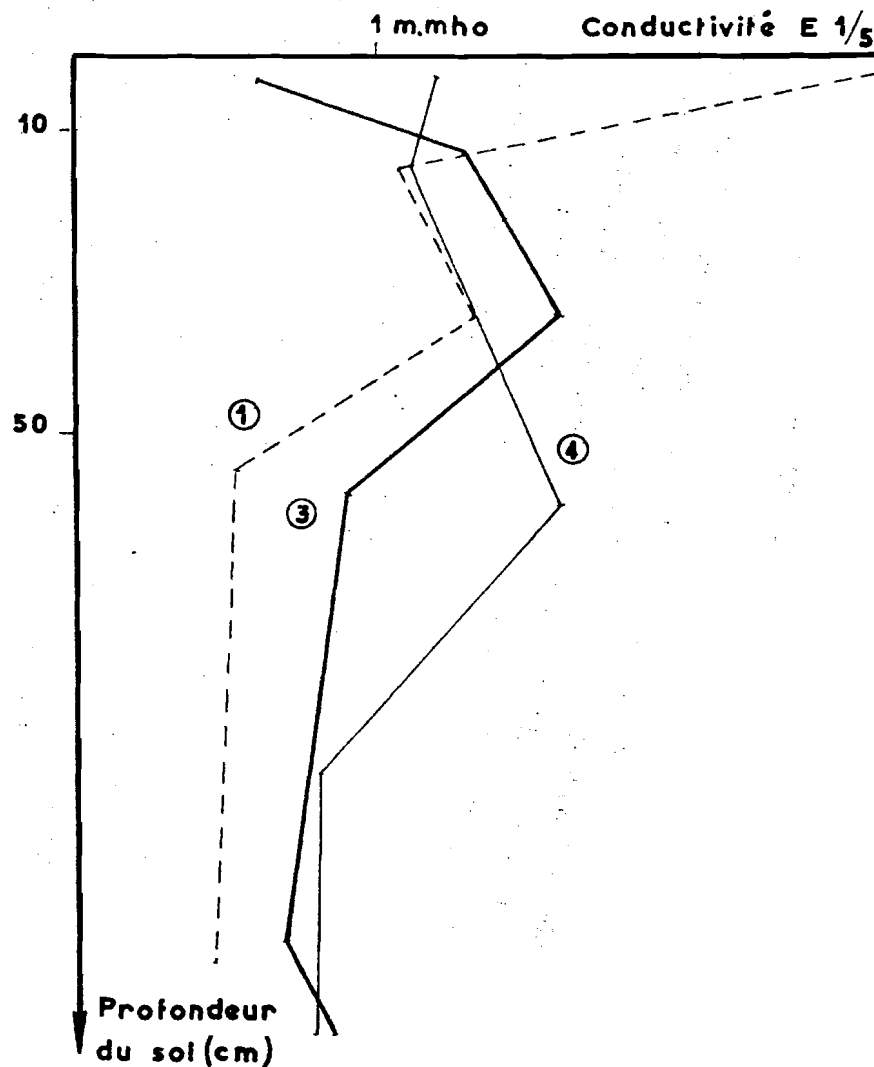
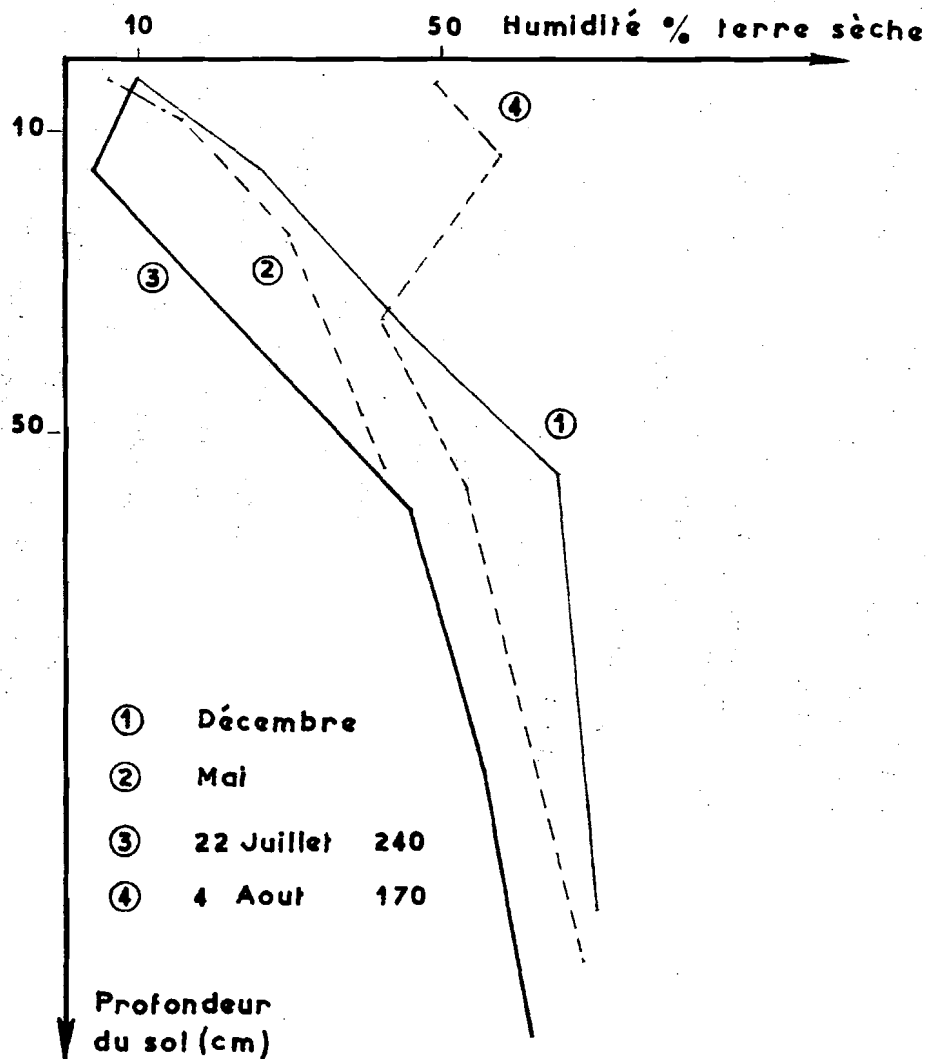
Les trois processus : hydromorphie, halomorphie, calcimorphie peuvent ici prétendre intervenir au niveau de la classe. L'appellation de sol calcimorphe sera rejetée, car cette accumulation de carbonates paraît bien être elle-même le résultat du processus d'hydromorphie (battement d'une nappe assez riche en bicarbonates de calcium).

SÉQUENCE P46

EMPLACEMENT S 1

PROFILS HYDRIQUES

RÉPARTITION DES SELS



La teneur en sels des horizons supérieurs est élevée en saison sèche (conductivité de l'E.S. supérieure à 4 m.mhos sur 40 cm en Décembre). Mais cette salinité est temporaire, liée à la saison sèche. C'est pourquoi il paraît préférable de classer ce sol comme :

SOL HYDROMORPHE, moyennement humifère (moyennement à peu humifère
à gley de profondeur,
à forte accumulation de carbonates de calcium, proche de la surface.

Au niveau du groupe, la notion de sol humique à gley a donc été abandonnée et remplacée par celle de gley de profondeur. Deux raisons ont motivé ce choix : la profondeur de la nappe phréatique (toujours à plus de 50 cm de profondeur) et la teneur relativement faible en matière organique : 5 % de l'horizon d'accumulation de carbonates; ce profil n'étant donc jamais engorgé totalement et son "stock" de matière organique paraissant plus sensible à un certain épuisement, il a été jugé bon de le distinguer des autres sols Hydromorphes au niveau du groupe. Il n'en reste pas moins que sa matière organique peut toujours être considérée comme un anmoor.

III - CONCLUSION : FERTILITE DE CES SOLS.

En poursuivant les observations le long de la séquence, dans une direction Ouest-Est, c'est à dire vers des altitudes décroissantes, on note :

- Une diminution de l'épaisseur des horizons enrichis en CaCO_3 .
- Ces horizons n'apparaissent plus dès la surface, mais sont recouverts d'un horizon gris-noir, bien structuré, avec une très légère tendance à l'arrondissement de cette structure, faiblement carbonaté.
- Les phénomènes de salinisation prennent un aspect plus spectaculaire (efflorescences).

La coupe en travers des horizons carbonatés présente donc une forme voisine de celle décrite en haut de la séquence P.27. Il ne s'agit pas là d'une caractéristique sédimentaire liée à l'histoire de la sédimentation lacustre, mais plutôt d'un processus pédologique. Quelle est la part tenue

par ces dix dernières années dans cette accumulation de carbonates ? C'est encore un point à éclaircir.

FERTILITE DES SOLS.

Toute cette zone Nord du polder Bérin, assez homogène du point de vue pédologique, est utilisée par les paysans. Un examen à l'échelle de l'année révèle une particularité : cette zone n'est utilisée à des fins agronomiques que quatre mois par an, de Novembre à Février, pour une culture de blé. Seules quelques parties basses font exception à cette règle.

L'explication est à trouver dans la "sécheresse" relative de ces sols par rapport aux autres sols de polder, non seulement par suite d'une nappe un peu plus profonde, mais aussi par la présence près de la zone racinaire d'horizons carbonatés importants, qui se "désèchent" plus complètement en saison sèche; or les agriculteurs de Bérin Nord répugnent à employer le système d'irrigation au chaddouf. Le blé observé début 1964 avait un développement végétatif excellent; mais fin Février, non irrigué, il souffrait de la sécheresse.

En 1964, la mise en place d'un système de pompage au niveau des barnages permit de gagner à la culture de nouvelles zones (centrales et légèrement plus au Sud) du polder Bérin : les paysans commencèrent par cultiver en blé ces nouvelles terres, dont la nappe phréatique avait pour eux l'avantage d'être proche. Mais cette nappe est assez salée. Ce n'est que fin Décembre 1964, dans la mesure où il leur restait du temps (la période normale de semis est fin Octobre) qu'ils revinrent aux sols de bordure (séquence P.46 par exemple), où la nappe leur paraissait trop basse.

Dans la gamme de fertilité des sols de polders, la séquence P.46 prend place parmi les terres "moyennes à bonnes" et qui pourront toujours être améliorées ultérieurement : la nappe phréatique, moyennement salée (2 à 4 m.mhos, soit 1,2 à 2,4 g/l) et dont les propriétés hydrogéologiques sont actuellement peu connues au niveau de ce polder de Bérin, provoque une salinisation progressive de ces sols. Cette salinisation est un mal à accepter, auquel on pourrait éventuellement remédier étant donné les autres caractères favorables du secteur : très forte perméabilité des sols, présence de carbonates de calcium près de la surface, nappe sans caractère alcalin.

F. UNE SEQUENCE DE SOLS NON EXONDES : P.42

I - INTRODUCTION.

Certaines parties basses du polder n'ont jamais été exondées depuis la construction des barrages, par suite de fortes infiltrations d'eaux venant du Lac; c'est le cas de la zone Sud du polder Bérin où est implantée la séquence P.42. Une végétation dense de roseaux (Phragmites sp., Typha Australis) s'est développée.

L'implantation de cette séquence répond à deux buts :

- Etude du mode de dépôt, de la décomposition d'une masse végétale fournie par les roseaux, dans une eau moyennement salée, à pH supérieur à 7,5.
- Etude des matériaux qui donneront naissance aux sols de polders proprement dits, après l'exondaison; problème de la superposition de divers matériaux.

Cette séquence, orientée Est-Ouest, part du bord de la dune.

II - DESCRIPTION D'UN SONDAGE A LA TARIERE : U.2.

A - DESCRIPTION.

A 25 m de la dune, sous une végétation dense de jeunes Phragmites (2 à 2,5 m de haut); traces de Phragmites plus anciens (c'est à dire de plus d'un an) qui ont en partie brûlé sur pied; le sol est couvert d'une nappe d'eau libre peu profonde (3 cm), de couleur faiblement "purineuse" (conductivité de 3 m.mhos).

- 0 - 8 cm : litière végétale, d'épaisseur irrégulière, constituée de feuilles de Phragmites, brunies ou noircies, et d'éléments minéraux fins dispersés. Passage tranché à :
- 8 - 30 cm : gris-verdâtre sombre (5 BG 4/1); taches noires diffuses; nom-

.../...

breux débris végétaux non décomposés, fragmentés, noircis; humo-argileux; absence de structure; matériau assez dense incluant dans sa masse des grumeaux un peu plus consistants; nette odeur sulfureuse; enracinement fin, blanc, abondant. Ce matériau est observé jusqu'à 130 cm.

130 - 150 cm: passée d'une tourbe argileuse, gris-sombre (à teinte rougeâtre) : débris végétaux très finement fragmentés.

150 - 170 cm: gris-verdâtre sombre (5 BG 4/1); quelques débris végétaux, noircis, de taille grossière; humo-argileux; nombreux granules (1 cm de diamètre), consistants, dans une masse non structurée mais dense et peu plastique.

210 cm : gris-verdâtre sombre; argilo-humifère; matériau consistant, ou l'on "devine" une structure de type polyédrique grossière; ces éléments sont peu plastiques.

B - INTERPRETATION. (résultats analytiques page 119) (graphique 19).

1°) - La matière organique.

La litière, constituée par les feuilles de Phragmites est fine : au contact prolongé de l'eau, les feuilles se fragmentent; à l'observation, lorsque l'on remue la fine couche d'eau, une "suspension" de fines paillettes de matière végétale et d'argile se forme. L'enrichissement en matière organique dû à la végétation actuelle se manifeste également dans l'horizon 10 - 30 cm, le C/N n'étant plus alors que de 14,2 (les éléments grossiers sont constitués par les pivôts des Phragmites, grosses racines creuses).

Les horizons suivants sont humifères : matière minérale et matière organique sont intimement liées; cette caractéristique étant due au mode de sédimentation dans les eaux du Lac. Les divers horizons ne sont pas significativement différents ni du point de vue de leur teneur globale en matière organique, ni de leur C/N. Seule fait exception une passée de tourbe argileuse, de 130 à 150 cm; prélevée non en U.2 mais 20 m en amont, sur un autre sondage, cette tourbe révèle une teneur en matière organique de 27 % avec un C/N de 20.

2°) - Le matériau.

La granulométrie ne varie guère le long du sondage : teneur en limon légèrement supérieure en surface, mais sans différences significatives. Il en est de même pour la capacité d'échange, élevée : 35 m.e./100 g de sol. Par contre, le carbonate de calcium est localisé aux horizons supérieurs, jusqu'à 80 cm. Les caractéristiques de la "carotte" prélevée à 210 cm sont celles de l'argile fissurée, aussi bien par la couleur, la granulométrie (65 % d'argile, 20 % de limon), la forte consistance, l'amorce de structure prismatique.

La superposition de matériaux, qui n'apparaît donc pas évidente en considérant le seul sondage U,2 se trouve confirmée par l'étude d'une série de sondages et de profils de cette même séquence. Comme dans le cas de P,27 le bas de pente dunaire fournit des éléments précieux car des niveaux sableux, dunaires, s'intercalent entre les divers dépôts lacustres, lors de phases d'exondaison (profil U.I.).

En U.I (extrémité haute de la séquence, non recouverte, elle, par une nappe d'eau libre) les horizons se présentent ainsi :

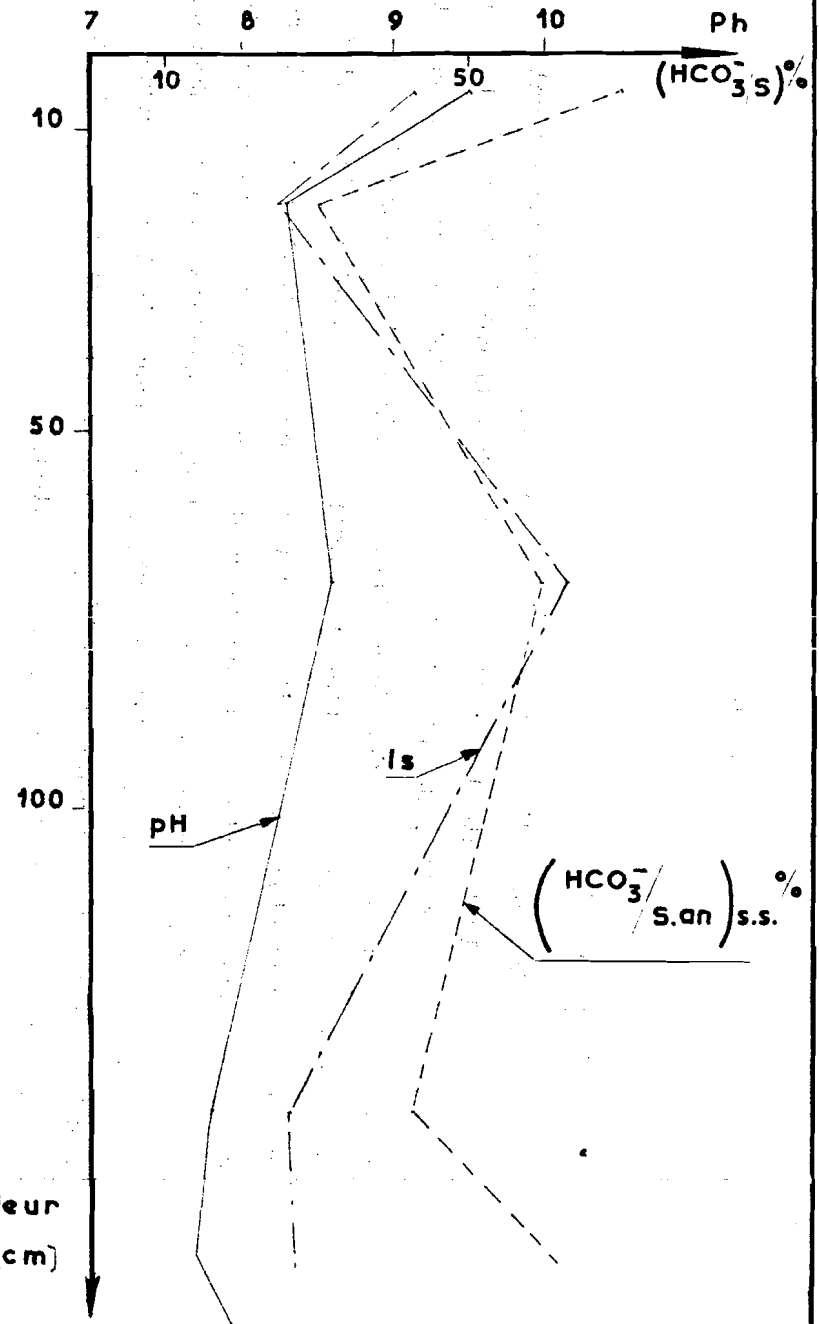
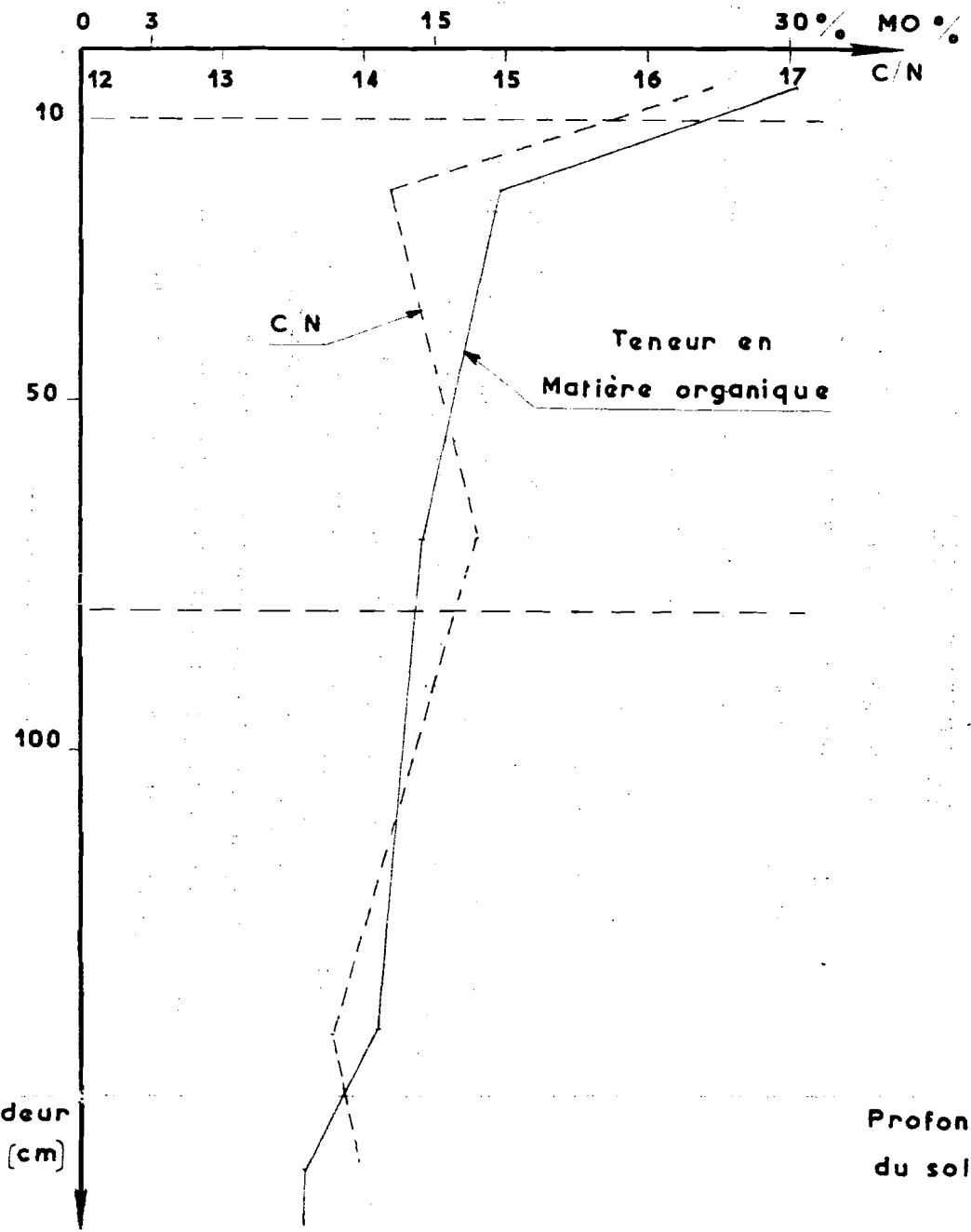
- 0 - 7 cm : sablo-argileux; structure massive à débits polyédriques; carbonaté.
- 7 - 45 cm : sableux, taché; structure fondue, faiblement carbonaté.
- 45 - 60 cm : sablo-argileux, assez nombreux débris végétaux peu décomposés; non structuré; carbonaté.
- 60 - 90 cm : tourbe argileuse; carbonaté; très forte odeur d'H₂S avec HCl.
- 90 - 120 cm : sableux; non structuré; faiblement carbonaté.
- 120 cm : argile fissurée, non carbonatée.

La superposition de matériaux apparaît donc plus nettement, et morphologiquement, ici; elle correspond à une série d'observations déjà évoquées (P.17, T.4) :

- un matériau argilo-limoneux
- au dessous, un matériau enrichi en matière organique; cet enrichissement allant parfois jusqu'à la tourbe argileuse.
- l'argile fissurée.

SÉQUENCE P42

EMPLACEMENT U2



3*) - L'Halomorphie.

La nappe d'eau libre qui recouvre U.2 est moyennement salée et de caractère plutôt alcalin : il en est de même du sol "submergé"; les valeurs de conductivité, de pH qui figurent sur la fiche analytique, page 118 résultent de mesures sur des échantillons séchés à l'air, donc dans des conditions différentes de celles du profil. Les tests effectués à Bol (pH) sur des échantillons venant d'être prélevés donnent néanmoins des valeurs du même ordre que celles du laboratoire de Fort-Lamy. Ces valeurs sont élevées, aussi bien pour la conductivité de l'E.S. (supérieure à 5 m.mhos sur 80 cm), que pour le pH (supérieur à 8). On remarque l'allure comparable des courbes de pH et du rapport ($\text{HCO}_3^-/\text{S}_{\text{an}}$) des sels solubles. Les valeurs de Na/T, par contre, restent peu interprétables.

C - CLASSIFICATION DE CE SOL (U.2).

Le terme de sol a été conservé, malgré la submersion permanente, en raison de la végétation dense de roseaux qui s'est implantée; la classification suivante est proposée :

SOL HYDROMORPHE, organique (à engorgement total, permanent :
submersion),
non tourbeux,
salé à alcalis.

En effet, dans l'état actuel des observations, il ne semble pas que la végétation dense, permanente, de roseaux entraîne la formation d'une tourbe en surface du sol : l'épaisseur de la litière reste faible.

Quelle serait l'évolution de ces sols en cas d'exondaison ? La disparition rapide de la litière serait une certitude, car nous l'avons observée en d'autres points du polder; dès qu'elle est suffisamment sèche, cette litière est brûlée; le caractère légèrement alcalin des horizons actuellement submergée entrainerait-il obligatoirement la formation d'un sol salé à alcalis ? C'est là encore un des points d'étude prévus.

G. CONCLUSION A L'ETUDE DES SOLS DE POLDERS

Ce dernier chapitre sera articulé en quatre paragraphes :

- I. Problèmes posés par la classification des sols de polders.
- II. Le processus d'Halomorphie : problèmes posés par son étude et axes de recherche envisagés.
- III. La fertilité actuelle des sols des deux polders en fonction de l'Halomorphie.
- IV. En conclusion, résumé des traits dominants de l'étude.

I - PROBLEMES POSES PAR LA CLASSIFICATION DES SOLS DE POLDERS.

Dans les pages précédentes, sept profils furent décrits, interprétés, classés. A tous les niveaux de la classification des difficultés furent rencontrées pour bien définir, pour distinguer entre eux les sols des polders de Bol.

A - Au niveau de la Classe.

Tous les sols étudiés sont, à des degrés divers, à la fois Hydromorphes et Halomorphes. De plus, tous sont, d'après la nature même du matériau, riches (aux environs de 10 %) en une matière organique très bien liée à la matière minérale, bien humifiée (C/N le plus souvent compris entre 12 et 14). Il paraît nécessaire de revenir sur ces trois facteurs :

- La présence à faible profondeur (entre 0 et 200 cm, suivant la position et la saison) d'une nappe phréatique entretient sur la plus grande épaisseur de chacun des profils, des conditions d'engorgement total au moins temporaires. L'hydromorphie apparaît donc dans tous les cas comme un élément essentiel de la caractérisation d'un sol de polder.

- l'importance à donner à l'Halomorphie est par contre plus difficile à juger; on admet couramment qu'un sol est "salé" lorsque la con-

ductivité de son extrait de saturation est supérieure à 4 m.mhos. Cette valeur doit donc être complétée par deux indications : l'épaisseur de sol concernée par cette salinisation d'une part et la durée pendant laquelle ce niveau de salinité est atteint d'autre part. Un certain nombre de profils étudiés (P.2.I, P.3.I, S.I.I) ont ainsi une conductivité de leurs horizons supérieurs qui dépasse 4 m.mhos, mais ce, pendant une période de 2 à 4 mois par an seulement. L'hydromorphie est alors choisie au niveau de la classe.

- La nature de la matière organique est encore mal connue; le terme d'"anmoor" a été adopté comme base de travail.

Les sept profils étudiés furent classés en tenant compte de ces trois séries de remarques. Cinq d'entre eux figurent comme SOLS HYDROMORPHES. Les deux qui font exception (R.I.I et R.2.I) correspondent à des sols où l'halomorphie se manifeste simultanément sous ses deux facettes : une salinisation assez marquée et une alcalisation, avec notamment un début de la dégradation de la structure; l'halomorphie fut alors préférée au niveau de la classe.

B - Au niveau de la sous-classe, du groupe. (cas des sols HYDROMORPHES).

Les caractères de la matière organique (sols moyennement humifères, humiques à gley), puis l'halomorphie, interviennent à ces niveaux :

SOLS HYDROMORPHES, moyennement humifères,
humiques à gley,
faiblement salés ou salés,

sont les sols les plus fréquemment observés dans les deux polders de Bol-Guini et Bol-Bérim. Mais cette classification ne rend pas compte de cas tels ceux des profils S.I.I et U.2 :

- En U.2, en conditions de submersion permanentes, à la matière organique du matériau se superpose une matière organique moins bien décomposée due à la végétation actuelle, dense, de roseaux (litière de surface et racines pivots dans l'horizon suivant). Ce sol fut classé comme SOL HYDROMORPHE organique.
- En SI.I, au contraire, la nappe est particulièrement profonde (par rapport aux autres sols de polders), les 40 cm supé-

rieurs ne sont jamais soumis à des conditions d'engorgement total : SOL HYDROMORPHE, moyennement à peu humifère, à gley de profondeur.

Dans ces deux derniers cas, la classification adoptée est jugée peu satisfaisante et n'est qu'une base de travail.

C - Au niveau de la famille.

La connaissance sédimentologique des polders est encore insuffisante pour définir avec certitude des matériaux différents; le terme de "matériaux fins, lacustres" est donc appliqué à tous les sols.

II - LE PROCESSUS D'HALOMORPHIE : PROBLEMES POSES PAR SON ETUDE.

Le caractère halomorphe des sols de polders est dû à l'action d'une nappe phréatique peu profonde. Deux des buts de cette étude furent :

- de comparer, aux diverses saisons et en diverses positions, les manifestations de l'Hydromorphie (profils hydriques) et celles de l'Halomorphie (répartition des sels dans les profils), et de tenter de dégager les liens qui unissent ces deux processus dans leur mode d'action.
- de distinguer avec netteté les différents types d'halomorphie, en particulier d'opposer la salinisation et l'alcalisation.

Il fut montré que le type d'Halomorphie du sol correspond à celui de la nappe : ainsi, les sols salés à alcalis se développent au dessus de nappes nettement alcalines et seulement dans ce cas.

Il apparut d'autre part que les phénomènes, classiques en un sens, d'accumulation des sels en surface durant la saison sèche, le lessivage en saison des pluies, de fixation de sodium sur le complexe absorbant (et de dégradation de la structure qui en résulte) sont à revoir en fonction des caractères particuliers du matériau de Bol (structure prismatique très développée, à fentes de retrait, stable) et de la nappe : absence de chlorures. Quelques questions se sont trouvées en effet posées avec acuité, aussi bien par les remarques morphologiques que par les données analytiques de certains profils. Parmi celles-ci :

- les premières très fortes pluies, fin Juillet, sont-elles capables de réhumecter directement les horizons de profondeur, de lessiver les sels, sans que les horizons de surface soient à une humidité estimée être celle de la capacité au champ ?

- la même question peut s'exprimer d'une autre manière : y a-t-il, dans un sol de polder, deux comportements hydriques, deux modes de mouvements de sels : l'un dans la masse de l'horizon, l'autre le long des fentes de retrait ?

Mais le point qui nous paraît présenter le plus d'intérêt, aussi bien sous son aspect théorique que sous son aspect pratique, c'est l'étude des modalités d'apparition de l'alcalisation. Les résultats fournis par cette étude, actuellement, sont les suivants :

- l'alcalisation des sols apparaît dans le cas d'une nappe assez salée, ou les bicarbonates sont dominants par rapport aux sulfates. Sur les profils eux-mêmes, les courbes de pH et celles du rapport ($\text{HCO}_3^-/\text{S}_{\text{an}}$) dans les sels solubles, se sont révélées d'allure comparable dans le cas des sols salés à alcalis.
- les manifestations analytiques de l'alcalisation, lorsqu'elles sont très marquées (pH de 8,5 à 9,5) (exemple des profils R.I.I, R.2.I) ne sont pas accompagnées de manifestations morphologiques d'ampleur équivalente : la structure en particulier n'est jamais que partiellement dégradée; là encore, la nature du matériau est en cause.
- la présence de fortes teneurs en carbonates de calcium (jusqu'à 50 %) dans la zone de battement de la nappe, n'empêche pas cette dernière de jouer son rôle alcalisant : cette action est-elle limitée à la période de l'année où la nappe surmonte le niveau carbonaté (fin de la saison des pluies, début de la saison sèche) ?

Ces points sont encore à approfondir, sur un plus grand nombre d'exemples. On se propose également de rechercher les causes des teneurs élevées en sulfates (ou sulfures) en certaines zones des polders : des formes locales d'accumulation de matière organique sont-elles à leur origine ?

C'est sur ces divers points, en rapport avec l'alcalisation, que pourra être centré le travail de l'année à venir. La séquence de sol, partant des points hauts du polder vers les points bas sera conservée comme échelle de travail car on peut se demander si, le long de telles séquences, et en fonction de la profondeur décroissante de la nappe, il n'existe pas une zone "privilégiée" d'alcalisation (s'opposant à des zones de carbonatation, puis de salinisation privilégiées).

III - FERTILITE ACTUELLE DES SOLS DES POLDERS DE BOL, en rapport avec l'Halomorphie;

Chacune des séquences de sols étudiée fut, en conclusion, jugée du point de vue de sa fertilité agronomique. Suivant l'intensité et la forme prise par l'Halomorphie dans chacun des cas, la fertilité des sols, considérée comme un capital initial de niveau élevé, fut plus ou moins réduite. L'Halomorphie, en 10 à 15 ans (donc depuis l'exondaison) a agi comme un élément de différenciation de la valeur agronomique des sols, créant des "secteurs" à l'intérieur d'un même polder. L'importance relative de ces divers secteurs sera rapidement passée en revue :

A - LE POLDER GUINI.

1°) - La séquence P.27 est caractéristique de la bordure Ouest du polder Guini (corne Sud-Ouest exclue) : sur une bande de terrain large de 100 à 200 m, la salinisation du sol est faible, l'alcalisation nulle; la nappe phréatique est alimentée par des eaux d'infiltration faiblement salées (7), moins de 1g de sel par litre, et cette salinité n'augmente pas d'année en année (I). Un écoulement de la nappe vers l'Est entraîne en effet les sels dans cette direction. Ces sols ont donc gardé une excellente fertilité.

2°) - La séquence P.17 représente, elle, la bordure Est du polder Guini (zone Nord exclue) : salinisation très forte, mais faible alcalisation; niveau actuel de la nappe trop proche du sol pour envisager une possibilité de lessivage des sels par des eaux d'irrigation; (même en supposant que l'on utilise des eaux de faible salinité, amenées d'ailleurs).

.../...

L'absence d'alcalisation a permis à ce secteur de conserver ses qualités physiques intrinsèques : très bonne structure en particulier (et par la même très bonne perméabilité).

3°) - La séquence T.4 correspond à une large tache de sols salés à alcalis abandonnée par les paysans dans la corne Sud Ouest du polder Guini. La remise en valeur de ces terres supposerait une irrigation avec des eaux moins salées et surtout moins alcalines que celles de la nappe phréatique locale (irrigation associée à un drainage). Dans une première phase, cette irrigation aurait, en lessivant les sels, un effet dégradant plutôt qu'améliorant.

Mais la description du profil R.2.I a montré que la structure des sols de ce secteur n'est actuellement que partiellement dégradée et reste prismatique à fentes de retrait en profondeur. On peut penser que cette bonne structure à la base des profils permettrait un drainage satisfaisant et que, la forte teneur en matière organique aidant, il n'y aurait pas besoin de faire appel à un amendement. De toutes manières, les réserves de Ca CO₃ à faible profondeur sont un autre élément favorable.

Aucune amélioration d'ensemble des situations ainsi décrites, séquence par séquence, n'est actuellement en cours, ni même envisagée concrètement. Divers projets d'aménagement d'ensemble ont cependant été déjà proposés (par la SOGETHA notamment).

Du point de vue pédologique on peut admettre le principe d'une irrigation avec les eaux d'infiltration. Cette conception présentée par DIELEMAN - DE RIDDER (7, page 51) consiste à utiliser pour l'irrigation les eaux d'infiltration faiblement salées qui atteignent le niveau de la nappe en bordure Ouest, et d'évacuer, par l'intermédiaire d'un canal de drainage au milieu du polder, d'axe Nord-Sud, les eaux enrichies en sels par les eaux de percolation de toute la partie Ouest. Ainsi serait dissociée l'avenir de la partie Ouest du polder de celui de la bordure Est : cette possibilité d'aménagement - à caractère expérimental - se trouve fondée par l'opposition, décrite dans ce rapport, entre les séquences P.27 et P.17.

Le polder Guini, étant exploité actuellement par le système traditionnel de l'"agriculture au chaddouf", c'est à dire à l'irrigation avec les eaux de la nappe, sans réseau de drainage, c'est aux petites améliorations qu'il faut s'attacher présentement. Les remarques suivantes sont proposées :

- Au cas ou, sur la bordure Ouest, le blé souffrirait de la salinité (ce qui est encore loin d'être le cas), prévoir une irrigation intense (en excès), avec les eaux de la nappe (même remarque dans la zone Nord).

- Dans les parties basses du polder, cultivées seulement en fin de saison sèche, réduire le temps où le sol est laissé presque nu, entre la coupe des roseaux et la mise en culture. Cette pratique ne changerait pas le niveau de salinité à l'échelle de plusieurs années (puisque à chaque saison des pluies il y a submersion), mais elle éviterait une accumulation trop forte de sels en surface (en Mars-Avril) et les risques d'une mauvaise germination.

- Il paraît peu intéressant, actuellement, de développer la culture sur la corne Sud-Ouest, et sur la bordure Est.

B. LE POLDER BERIM.

Les terres cultivées du polder Bérin se localisent aux zones Nord et, depuis peu de temps, médianes de ce polder de 1000 hectares environ. La zone Nord est sous-utilisée (une seule culture par an, de blé) car peu d'agriculteurs ont adopté le système du chaddouf à ce jour.

Certes, l'eau de la nappe y est assez salée : 1,2 à 2 g/l (sans que l'on observe de gradient de salinité croissante suivant un axe bien déterminé), mais cette zone bénéficie d'un élément favorable : la présence de carbonates de calcium à faible profondeur ; comme l'eau par ailleurs est de caractère salin, les risques d'alcalisation peuvent être considérés comme nuls. Le seul risque est donc celui d'une salinisation progressive : il est actuellement inévitable, mais mérite d'être couru. L'intensification de l'irrigation est également souhaitable dans ce polder.

IV - RESUME DES TRAITES DOMINANTS DE L'ETUDE.

- Les sols des polders de Bol sont des sols Hydromorphes, moyennement humifères, formés sur des matériaux fins, lacustres. Une nappe phréatique, partout présente à faible profondeur (entre 0 et 200 cm) est à l'origine de cette hydromorphie.
- Plus ou moins salée (teneur en sels comprise entre 0,5 et 5 g/l), cette nappe phréatique provoque également des phénomènes d'Halomorphie.
- Ce processus d'Halomorphie se développe suivant ses deux aspects : salinisation et alcalisation. Le type d'halomorphie du sol paraît correspondre le plus souvent au type de composition chimique de la nappe. Ainsi, l'alcalisation des sols ne devient manifeste que dans le cas d'une nappe salée elle-même à caractère alcalin (dominance des bicarbonates sur les sulfates parmi les anions).
- La salinisation se manifeste, classiquement, par des phénomènes d'accumulation des sels en surface, en saison sèche et un lessivage de ces mêmes sels vers la nappe en saison des pluies.

Mais ce double mouvement annuel de sels peut être précisé, dans ses modalités, par une étude comparée, saison par saison, des régimes hydriques et des types de répartition des sels du sol. On peut ainsi mettre en évidence, que dans les parties hautes des polders, la remontée de sels prend place uniquement en début de saison sèche et le lessivage uniquement en fin de saison des pluies, lorsque la pluviométrie cumulée de l'année a dépassé 150 mm environ.

- Salinisation et alcalisation jouent sur un matériau argileux dont certains caractères sont "originaux". Ainsi, ce matériau est riche en une matière organique bien humifiée et possède une structure prismatique très développée et très stable (par suite, notamment, du faible pouvoir de gonflement à l'eau de l'argile; cette argile étant plus ou moins riche en diatomées).

- Le comportement de ce matériau en conditions favorables à l'halomorphie offre en lui même des particularités intéressantes. Dans le cas de sols salés à alcalia par exemple, les manifestations de l'alcalisation (dégradation de la structure) apparaissent modestes par rapport aux caractéristiques analytiques (pH très élevés, forte proportion de sodium fixé sur le complexe absorbant).
- La gamme des divers aspects pris par l'Halomorphie sur ce matériau étant dressée, le but recherché est de comprendre comment sont articulés géographiquement, à l'échelle d'un polder (500 ou 900 hectares) ces divers types d'halomorphie :
 - . soit en fonction des caractères de la nappe phréatique, qui varient, par "secteurs", pour des raisons d'ordre hydrogéologique,
 - . soit en fonction de la position topographique, le long de séquences partant des points hauts vers les points bas du polder.

-----ooOoo-----

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

- 1 - Anonyme (1965).
Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Campagne 1963. Rapport O.R.S.T.O.M.
- 2 - AUBERT (G.) (1963).
La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride; C.C.T.A. Symposium on soils, Lovanium. Sols Africains, Vol. 9, n° 1.
- 3 - BARBEAU (J.) (1956)
Notice explicative sur la feuille Fort-Lamy. Carte géol. de reconn. Gouv. Général A.E.F. (Paris); 35 p. fig., bibl., 1 carte au 1/1.000.000.
- 4 - BILLON (B.) - CALLEDE (J.) (1963).
Etude hydroclimatologique des polders de la région de Bol. Rapport O.R.S.T.O.M.
- 5 - BOUCHARDEAU (A.) - LEFEVRE (R.) (1957).
Monographie du Lac Tchad. Tome I. Edition provisoire O.R.S.T.O.M.
- 6 - CHEVERRY (C.) (1964).
Caractérisation de quelques sols de la région de Bol. Rapport de stage O.R.S.T.O.M., non publié.
- 7 - DIELEMAN (P.J.) - DE RIDDER (N.A.) (1963).
Expertise sur les mouvements des eaux et du sel dans le polder de Bol-Guini. Institut de Wageningen. Pays-Bas.
- 8 - FRANZ (H.) (1958).
Boden und wasserwirtschaftliche probleme im Tschadgebiet. Oesterreichische Wasserwirtschaft, Jahrang 10, pag. 48 - 51.
- 9 - GUICHARD (E.) - BOUTEYRE (G.) - LEPOUTRE (B.) (1959).
Etude pédologique des polders de Bol. Rapport O.R.S.T.O.M.

- 10 - HENIN (S.) (1960).
Le profil cultural. (S.E.I.A. Paris).
- 11 - PIAS (J.) - GUICHARD (E.) (1959).
Etude pédologique des rives du Lac Tchad de Djimtilo à Bol.
Rapport O.R.S.T.O.M.
- 12 - PIAS (J.) - BARBERY (J.) (1960).
Evolution de la salinité dans le polder de Bol Guini. Rapport
O.R.S.T.O.M.
- 13 - PIAS (J.) - BARBERY (J.) (1961).
Evolution de la salinité dans le polder de Bol Guini. Rapport
O.R.S.T.O.M.
- 14 - PIAS (J.) - SABATIER (J.) (1962).
Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et
de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Rapport O.R.S.T.O.M.
- 15 - PIPER (A.M.) (1944).
A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-
analyses. Trans. Amer. Geogh. Union, page 914 - 929.
- 16 - RICHARDS (1964).
Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricul-
ture handbook n° 60; U.S. Department of Agriculture.
- 17 - SCHOELLER (H.) (1958).
L'interprétation des analyses chimiques des eaux salées. Actes
du Colloque de Téhéran.
- 18 - SOGETHA (1963).
Etude d'un polder expérimental dans la région de Bol. Etudes
préliminaires - Rapport de synthèse - Avant projets.
- 19 - WHITTIG - JANITSKI (1963).
Mécanisme et formation du carbonate de sodium dans les sols.
J. Soil Science, 1963; t. 14, pp. 322 - 333.

METHODES ANALYTIQUES EMPLOYEES

I - AU LABORATOIRE DE FORT-LAMY.

- Analyse mécanique : Méthode pipette Robinson. Les carbonates n'ont pas été éliminés, et leur répartition dans les diverses classes de texture non étudiée.
- Carbone : Méthode Walkley et Black.
- Azote total : méthode Kjeldahl.
- Carbonates de calcium : calcimètre Bernard.
- Salinité globale : mesure de la conductivité, à 25°, d'un extrait de pâte saturée.
- Sels solubles : contact, pendant 48 hrs, de 20 g de terre et de 200 cc d'eau :
 - . Na, K dosés au spectrophotomètre de flamme.
 - . Ca, Mg par complexométrie.
 - . Bicarbonates, carbonates par acidimétrie.
 - . Sulfates par gravimétrie.
- Bases échangeables et capacité d'échange.

Extraction avec 500 cc d'acétate d'ammonium à pH 7. Elimination du calcium sur le percolat, à l'oxalate d'ammonium; dosages de Na, K, Mg + traces de Ca par les méthodes habituelles. Pour la capacité d'échange, percolation avec 500 cc de CaCl₂ à pH 7; percolation avec 500 cc de KNO₃; dosage de Ca, de Cl, des bicarbonates, des sulfates.

Na, K, Mg échangeables sont calculés en tenant compte des sels solubles; Ca n'est pas dosé mais calculé, par la différence entre T (la capacité d'échange est estimée saturée en présence de carbonates de calcium) et la somme des cations échangeables (Na + K + Mg).

Cette méthode d'analyse des bases échangeables en milieu salé et calcaire ne donne pas de résultats très satisfaisants.

II - AU LABORATOIRE DE BOL ET SUR LE TERRAIN.

- pH : Dilution au 2/5. Mesure pratiquée sur la terre récemment prélevée, non desséchée.
- Humidité totale : Echantillons prélevés en place (en enfonçant une petite boîte d'aluminium de 125 cm³ au niveau étudié). Passage 24 hrs à l'étuve (à 100°), le jour même.
- Tests de salinité : Dilution au 1/5; terre prise sur l'échantillon passé à l'étuve; mesure de conductivité sur le liquide, obtenu après agitation terre-eau et décantation 24 hrs.
- Capacité au champ : Mesure de terrain; utilisation d'un anneau de 35 cm de diamètre, enfoncé de 15 cm dans le sol (même hauteur au dessus du sol); une hauteur de 10 mm d'eau est versée dans le cylindre; mesures d'humidité totale de la couche 0 - 5 cm au bout de 5 hrs, 20 hrs, 43 hrs.

Depuis la mise en oeuvre du programme (Décembre 1964) jusqu'en Août 1965, 400 échantillons environ furent passés à l'étuve, représentant 80 profils hydriques. Par contre quelques mesures de capacité au champ seulement ont été effectuées à cette date.

-----oo00oo-----

TYPE SOL HYDROMORPHE, Moyennement Humifère
 DE Sol humique à gley,
 SOL faiblement salé,

PROFIL P.2.I

Séquence P.27

ECHANTILLONS		I	2	3	4	5
Profondeur (cm)		4-14	19-24	30-40	60-70	100-110
PH	PH H2O	8,1	8,0	7,5	6,8	7,1
	PH KCl N					
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	•	•			
	Sable grossier	•• 10	•• 12	•• 4	•• 4,0	•• 0,5
	Sable fin	•• 22	•• 12	•• 6	•• 21,0	•• 16
	Limon grossier	•• 4	•• 4	•• 2	•• 1,5	•• 1,
	Limon fin	•• 41	•• 29	•• 16	•• 21,5	•• 11
	Argile	•• 13	•• 30	•• 59	•• 47,5	•• 64
	TOTAL	•• 90	•• 87	•• 87	•• 95,5	•• 92,5
	Humidité (105°)	•• 3,8	•• 2,9	•• 3,0	•• 3,0	•• 3,6
	CO3 Ca	•• 0	•• 15,9	•• 1,1	•• 0,3	•• 0,2
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	•• 11,6	•• 12,2	•• 9,6	•• 3,8	•• 2,2
	Carbone	•• 6,7	•• 7,1	•• 5,6	•• 2,2	•• 1,3
	Azote total	•• 5,0	•• 4,9	•• 3,5	•• 1,9	•• 1,2
	C/N	•• 13,2	•• 14,4	•• 16	•• 11,6	•• 12,8
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p.100g sol		non	analysé	directement	
	Mg mé "	•• 5,0	•• 4,4	•• 3,1	•• 4,2	•• 4,8
	K mé "	•• 2,6	•• 1,8	•• 0,5	•• 0,5	•• 0,7
	Na mé "	•• 1,2	•• x	•• 0,2	•• 0,4	•• 0,1
	S en mé "					
	T en mé "	•• 46,0	•• 39,0	•• 31,0	•• 18,0	•• 23,0
	V	••	••			
	Fer libre	•• 30,8	•• 29,6	•• 30,2	•• 26,4	•• 29,6
	Fer total	•• 63,0	•• 51,6	•• 60,8	•• 59,0	•• 63,6
	P205 total	•• 2,6	•• 2,1	•• 1,2	•• 0,5	•• 1,0
	P205 Assimi.	••	••			
SELS SOLUBLES	Ca mé p.100g sol	•• 3,8	•• 1,9	•• 1,3	•• 1,0	•• 1,3
	Mg mé "	•• 1,0	•• 0,6	•• 0,6	••	•• 1,0
	K mé "	•• 0,8	•• 0,2	•• 0,2	•• 0,2	•• 0,3
	Na mé "	•• 2,8	•• 1,2	•• 0,7	•• 0,5	•• 0,7
	TOTAL	•• 8,4	•• 3,9	•• 2,8	•• 1,7	•• 3,3
	CO3 mé p.100g sol					
	CO3 H mé "	•• 3,0	•• 2,0	•• 2,0	•• 1,0	•• 1,0
	SO4 mé "	•• 4,6	•• 0,1	•• 0,1	•• 0,5	•• 0,3
	Cl mé	•• 1,2	•• 1,0	•• 0	•• 0	•• 0
	TOTAL	•• 8,8	•• 3,1	•• 2,1	•• 1,5	•• 1,3
Extrait de saturation à 25° en m mhos		•• 4,3	•• 0,8	•• 0,6	•• 0,5	•• 0,6
STRUCTURE	Is	•• 0,3	•• 0,2	•• 0,2	•• 0,5	•• 0,9
	Kcm h	•• 6,1	•• 2,8	•• 2,7	•• 4,1	•• 1,2

TYPE SOL HYROMORPHE, moyennement humifère
 DE Sol humique à gley
 SOL faiblement salé, à anmoor calcique

PROFIL P3.I
 Séquence P27

ECHANTILLONS		6	7
Profondeur (cm)		0-10cm	20-30cm
PH	PH H ₂ O	7,9	8,0
	PH KCl N		
GRANULOMÉTRIE	Terre fine °	100	100
	Sable grossier °	11	7
	Sable fin °	14	11
	Limon grossier °	2	3
	Limon fin °	31	34
	Argile °	31	36
	TOTAL °	89	91
	Humidité (105°) °	4,9	4,3
	CO ₃ Ca °	5,7	8,6
MAT. ORG.	Mat. org. tot. °	9,2	9,7
	Carbone °	5,3	5,6
	Azote total °	4,3	4,0
	C/N °	12,2	14,0
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p. 100 g sol	calculé par différence	
	Mg mé "	6,8	8,7
	K mé "	1,1	0,6
	Na mé "	0,4	0,8
	S en mé "		
	T en mé "	43,5	39,3
	V °		
	Fer libre °	35,8	26,7
	Fer total °	66,2	59,4
	P205 total °	1,9	1,9
	P205 Assim. °		
SELS SOLUBLES	Ca mé p. 100 g sol	1,9	1,3
	Mg mé "	1,6	1,3
	K mé "	0,3	0,3
	Na mé "	1,4	1,8
	TOTAL	5,2	4,7
	CO ₃ mé p. 100 g sol		
	CO ₃ H mé "	2,0	3,0
	SO ₄ mé "	0,7	1,2
	Cl mé "	0	0
	TOTAL	2,7	4,2
Extrait de saturation à 25° en m mhos		1,3	1,3
STRUCTURE	Is	0,2	0,2
	Kcm/h	3,3	4,6

TYPE SOL HYROMORPHE, Moyennement humifère
 DE Sol Humique à gley
 SOL faiblement salé, à anmoor calcique

PROFIL P.3 bis
 Séquence P.27

ECHANTILLONS		8	9	10	11
Profondeur (cm)		0-2	2-10	12-20	25-35
PH	PH H ₂ O	7,5	7,7	7,8	7,6
	PH KCl N				
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	100	100	100	100
	Sable grossier	9	10	5	3
	Sable fin	15	10	8	5
	Limon grossier	1	1	2	1
	Limon fin	24	24	25	17
	Argile	27	35	46	65
	TOTAL	76	81	86	91
	Humidité (105°)	5,5	5,2	3,8	3,9
	CO ₃ Ca				
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	11	11,9	10,2	7,7
	Carbone	6,4	6,9	5,9	4,5
	Azote total	4,6	4,5	4,4	3,4
	C/N	13,9	15,2	13,3	13,0
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p. 100 g sol		Calculé		
	Mg mé "	6,4	6,7	5,4	4,5
	K mé "	1,2	0,8	0,5	0,6
	Na mé "	0,2	0,1	-	0,2
	S en mé "				
	T en mé "	43,8	39,7	37,7	29,6
	V				
	Fer libre	32,8	35,2	22,4	30,5
	Fer total				
	P205 total	2,4	1,6	2,0	1,1
	P205 Assimil.				
SELS SOLUBLES	Ca mé p. 100 g sol	4,8	2,6	2,2	1,3
	Mg mé "	1,6	0,6	1,0	1,3
	K mé "	0,4	0,2	0,2	0,2
	Na mé "	2,2	0,6	0,8	0,8
	TOTAL	9,0	4,0	4,2	3,6
	CO ₃ mé p. 100 g sol				
	CO ₃ H mé "	3,0	2,0	3,0	2,0
	SO ₄ mé "	3,3	0	0,2	0,2
	Cl mé "	0	0	0	0
	TOTAL	6,3	2,0	3,2	2,2
Extrait de saturation à 25° en m mhos		3,7	1,2	0,7	0,7
STRUCTURE	Is	0,17	0,21	0,18	0,20
	Kcm h	12,0	7,0	1,8	1,4

° Total partiel trop faible.

TYPE SOL HYDROMORPHE, Moyennement humifère
 DE Sol humique à gley
 SOL très salé, à dominance de sulfates

PROFIL Q 2.1
 Séquence P.17

ECHANTILLONS		23	24	25	26	27	28
Profondeur (cm)		0-10	10-20	20-22	22-30	30-45	60-70
PH	PH H ₂ O	8,0	8,1	7,7	8,1	8,0	6,7
	PH KCl N						
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	100	100	100	100	100	100
	Sable grossier	14	20,5	11	1,5	5	17
	Sable fin	23	8	5	5,5	10	12
	Limon grossier	3	0,5	1,5	2	4	0,5
	Limon fin	22	25	23	37	37	10
	Argile	27	35	38	33	29	57
	TOTAL	89	89	79	79	85	96,5
	Humidité (105°)	3,2	3,8		4	3	2,3
	CO ₃ Ca	4,5	1,0	0,3	23,1	22,3	0,2
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	7,3	6,5	25,7	18,2	14,8	10
	Carbone	4,2	3,8	14,9	10,5	8,6	5,0
	Azote total	3,8	3,2	9,2	8,2	6,4	4,2
	C/N	10,9	11,9	16	12,8	13,3	13,5
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p. 100 g sol	calculé, non mesuré directement					
	Mg mé "	10,0	7,7	6,2	6,0	7,1	4,8
	K mé "	4,7	1,6	1,2	0,9	0,7	0,9
	Na mé "	1,4	1,0	-	-	-	0,2
	S en mé "						
	T en mé "	33,5	37,0	33,5	27,0	23,5	31,6
	V						
	Fer libre	29,6	33,1	24,3	17,6	22,5	23,5
	Fer total	54,1	61,4	43,2	38,0	45,0	49,4
	P205 total	2,3	1,4	1,5	2,0	2,3	0,7
	P205 Assimi.						
SELS SOLUBLES	Ca mé p. 100 g sol	4,8	2,9	9,6	7,4	4,8	1,9
	Mg mé "	1,6	0,3	3,2	1,9	0,6	1,3
	K mé "	0,2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3
	Na mé "	11,2	7,2	14,4	14,5	9,6	3,6
	TOTAL	17,8	10,9	27,8	24,4	15,5	7,1
	CO ₃ mé p. 100 g sol						
	CO ₃ H mé "	4,0	4,0	8,0	5,0	4,0	1,0
	SO ₄ mé "	14,4	6,8	20,7	19,2	10,8	4,0
	Cl mé "	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	18,4	10,8	28,7	24,2	14,8	5,0
	Extrait de saturation à 25° en m mhos	9,9	5,4	7,7	8,1	7,0	5,2
STRUCTURE	Is	0,46	0,54	0,17	0,28	0,21	0,10
	Kcm/h	4,2	1,7	-	2,4	2,5	11,8

TYPE SOL HYDROMORPHE, Moyennement humifère
 DE Sol humique à gley
 SOL salé à alcalis

PROFIL R 2. I
 Séquence T4

ECHANTILLONS		I8	I9	20	2I	22	23
Profondeur (cm)		0-10	10-20	20-25	30-45	55-65	75-90
PH	PH H2O	8,4	8,5	9,0	9,1	9,2	8,8
	PH KCl N						
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	100	100	100	100	100	100
	Sable grossier	3	3	3	2	2	5
	Sable fin	20	2	4	2	2	4
	Limon grossier	4	1	3	2	2	3
	Limon fin	24	22	32	28	37	18
	Argile	36	63	44	58	51	61
	TOTAL	87	91	86	92	94	90
	Humidité (105°)	4,6	4,6	3,4	2,6	1,5	3,7
	CO3 Ca	0,9	0,7	1,2	13,4	55	0,7
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	10,8	8,9	13,2	7,8	7,3	10,8
	Carbone	6,2	5,1	7,6	4,5	4,2	6,2
	Azote total	4,8	4,2	6,2	3,3	3,1	4,5
	C/N	13,0	12,2	12,3	13,7	13,4	13,8
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p.100g sol	calculé par différence					
	Mg mé "	7,7	3,0	5,0	0,8	8,0	0,2
	K mé "	2,4	1,6	1,6	1,0	0,4	1,1
	Na mé "	6,6	6,6	9,2	7,6	2,9	5,9
	S en mé "						
	T en mé "	54,0	53,0	33,3	27,8	21,2	18,4
	V						
	Fer libre	33,7	34,0	19,6	18,5	8,3	25,0
	Fer total	69,8	67,8	41,7	47,3	27,3	56,0
	P205 total	2,8	1,8	2,2	1,7	2,6	1,0
	P205 Asslmi.						
SELS SOLUBLES	Ca mé p.100g sol	3,5	3,5	3,5	3,2	4,5	2,6
	Mg mé "	2,2	1,0	1,0	3,2	0,6	2,2
	K mé "	0,8	0,5	0,4	0,7	0,4	0,6
	Na mé "	15,2	18,4	12,8	8,4	7,2	7,2
	TOTAL	21,7	23,4	17,7	15,5	12,7	12,6
	HCO3 ⁻ mé p.100g sol	6,0	14,0	15,0	12,0	11,0	9,0
	SO4 mé " SO4 ⁻⁻	17,0	14,4	4,9	0,5	2,0	1,7
	SO4 mé "						
	CL mé						
	TOTAL	23,0	28,4	19,9	12,5	13,0	10,7
Extrait de saturation à 25° en m mhos		8,4	8,9	4,8			
STRUCTURE	Is	0,3	2,8	0,5	1,3	0,8	0,5
	Kcm. h	4,8	0,2	0,2	-	0,1	0,3

HCO₃⁻
SO₄⁻⁻

TYPE SOL HYDROMORPHE, Moyennement humifère
 DE Sol humique à gley
 SOL salé à alcalis

PROFIL R I. I
 Séquence T4

ECHANTILLONS		I2	I3	I4	I5	I6	I7
Profondeur (cm)		0-5	5-10	12-22	29-39	42-52	75-85
PH	PH H2O	8,3	8,7	8,1	8,7	8,8	8,9
	PH KCl N						
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	••					
	Sable grossier	•• 9	II	3	mauvaise	2	2
	Sable fin	•• 23	33	6		9	2
	Limon grossier	•• 4	4	I	dispersion	3	2
	Limon fin	•• 41	17	II		33	31
	Argile	•• 8	24	70		40	55
	TOTAL	•• 85	89	91		87	92
	Humidité (105°)	••					
	CO ₃ Ca	••					
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	•• 8,6	7,3	6,2	14,0	11,3	7,8
	Carbone	•• 5,0	4,2	3,5	8,1	6,5	4,5
	Azote total	•• 5,0	3,8	3,2	6,3	4,6	3,0
	C/N	9,8	11,1	11,0	12,9	14,1	15,1
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p. 100 g sol						
	Mg mé "	7,8	9,7	4,7	4,4	6,4	3,7
	K mé "	2,8	3,2	0,1	1,3	1,6	1,3
	Na mé "	7,6	7,4	-	3,6	3,9	2,7
	S en mé "						
	T en mé "	46,5	48,0	42,3	14,4	36,1	28,2
	V	••					
	Fer libre	•• 30,7	32,0	34,7	20,6	16,4	10,0
	Fer total	•• 65,2	67,2	69,4	45,6	39,8	35,8
	P205 total	•• 2,0	2,0	1,1	2,5	2,2	3,5
	P205 Assimi.	••					
SELS SOLUBLES	Ca mé p. 100 g sol	5,4	1,9	19,5	1,9	2,2	2,2
	Mg mé "	2,2	0,6	3,5	0,6	1,0	1,0
	K mé "	1,2	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3
	Na mé "	21,0	5,6	12,0	6,4	5,6	4,8
	TOTAL	29,8	8,3	35,6	9,2	9,2	8,3
	CO ₃ mé p. 100 g sol						
	CO ₃ H mé "	4,0	6,0	3,0	9,0	10,0	8,0
	SO ₄ mé "	17,0	1,0	31,2	1,5	0,8	1,3
	Cl mé "	0	0	0	0		
	TOTAL	21,0	7,0	34,2	10,5	10,8	9,3
Extrait de saturation à 25° en m mhos							
STRUCTURE	Is	0,4	0,4	0,5	0,4	0,9	0,9
	Kcm/h	4,1	2,8	3,3	0,4	0,3	0,1

TYPE SOL HYDROMORPHE. ORGANIQUE
 DE non tourbeux,
 SOL salé à alcalis

PROFIL U.2.
 Séquence P. 42

Submersion permanente - Prélèvements effectués à la tarière

ECHANTILLONS		34	35	36	37	38	39	
Profondeur (cm)		0-10 110 cm	10-30	60-80	140	160	200	
PH	PH H ₂ O	9,5	8,3	8,8	7,8	7,7	7,9	
	PH KCl N							
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	•• 100	100	100	100	100	100	
	Sable grossier	••	2	2	1	2	1	
	Sable fin	•• non analysé	4	6	2	2	1	
	Limon grossier	••	1	1	2	2	1	
	Limon fin	••	23	17	21	16	20	
	Argile	••	46	53	58	70	65	
	TOTAL	••	76	79	84	92	88	
	Humidité (105°)	••	5,2	5,3	4,5	4,4	4,3	
	CO ₃ Ca	••	9,8	18,2	1,2	1,3	0,7	
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	••	30,5	17,5	14,6	12,7	9,6	9,3
	Carbone	••	18	10,1	8,4	7,3	5,6	5,4
	Azote total	••	10,7	7,1	5,7	5,3	4,0	3,8
	C/N	••	16,5	14,2	14,8	13,8	14,0	14,2
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p. 100 g sol		non mesurée					
	Mg mé "	••	10,6	14,6	7,7	6,0	4,1	9,2
	K mé "	••	3,0	2,6	1,9	1,3	0,9	1,3
	Na mé "	••	13,4	12,9	8,7	1,4	0,1	0,9
	S en mé "	••						
	T en mé "	••	48,3	34,9	37,3	35,6	25,1	34,5
	V	••						
	Fer libre	•••	12,8	57,9	52,0	42,7	43	40,4
	Fer total	•••						
	P205 total	•••	5,4	2,5	1,6	1,2	0,8	1,0
	P205 Asslmi.	•••						
SELS SOLUBLES	Ca mé p. 100 g sol	••	4,0	2,2	1,6	1,3	1,3	1,3
	Mg mé "	••	1,6	1,0	1,9	0,6	0,6	1,0
	K mé "	••	2,0	0,6	0,6	0,3	0,5	0,3
	Na mé "	••	33,6	24,8	21,6	3,7	3,7	3,2
	TOTAL	••	41,2	28,6	25,7	5,9	6,1	5,8
	CO ₃ mé p. 100 g sol							
	CO ₃ H mé "	••	43	9,0	11,0	4,0	3,0	4,0
	SO ₄ mé "	••	18,4	21,0	8,2	2,4	1,7	1,1
	Cl mé "	••	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	••	61,4	30,0	19,2	6,4	4,7	5,1
Extrait de saturation à 25° en m mhos			-	11,4	6,5	2,4	3,1	2,3
STRUCTURE	Is	••	0,43	0,25	0,63	0,26	0,27	0,20
	Kcm/h	••	-	1,7	0,7	0,9	2,5	0,8

TYPE DE SOL SOL HYDROMORPHE, Moyennement humifère à gley de profondeur, à forte accumulation de carbonates de calcium, proche de la surface.

PROFIL S.I.I
Séquence P.46

ECHANTILLONS		29	30	31	32	33
Profondeur (cm)		0-5	10-20	28-38	50-60	110-130
PH	PH H2O	7,5	7,8	7,5	7,8	7,7
	PH KCl N					
GRANULOMÉTRIE	Terre fine %	100	100	100	100	100
	Sable grossier %	12	1	7	6	3
	Sable fin %	15	1	6	22	9
	Limon grossier %	4	1	2	2	1
	Limon fin %	30	52	26	18	17
	Argile %	21	35	47	42	56
	TOTAL %	82	90	88	90	86
	Humidité (105°) %	4,1	1,5	4,2	3,4	4,4
	CO3 Ca %	20	68	13	0,2	0,2
MAT. ORG.	Mat. org. tot. %	14,0	6,5	9,7	7,1	4,7
	Carbone %	8,1	3,7	5,6	4,1	2,7
	Azote total %	6,3	2,9	4,2	3,1	2,1
	C/N	12,8	13,0	13,3	13,3	12,8
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p.100 g sol	calculé, non mesuré				
	Mg mé "	8,5	4,2	2,4	3,0	5,1
	K mé "	4,3	0,5	0,7	0,7	0,8
	Na mé "	1,2	0,4	0,2	0,7	0,5
	S en mé "					
	T en mé "	40,8	14,0	23,3	28,8	36,7
	V %					
	Fer libre %	36,1	12,6	36,1	30,7	38,7
	Fer total %					
	P205 total %	3,1	1,4	2,4	0,6	0,6
	P205 Asslmi. %					
SELS SOLUBLES	Ca mé p.100 g sol	10,6	4,2	5,1	1,9	1,6
	Mg mé "	3,2	2,2	1,6	1,0	0,6
	K mé "	3,2	0,6	0,4	0,2	0,3
	Na mé "	3,8	1,3	1,6	2,0	2,4
	TOTAL	20,8	8,3	8,7	5,1	4,9
	CO3 mé p.100 g sol					
	CO3 H mé "	4,0	2,0	3,0	4,4	3,0
	SO4 mé "	7,0	2,6	2,6	1,3	2,1
	Cl mé "	0	0	0	0	0
	TOTAL	11,0	4,6	5,6	5,3	5,1
Extrait de saturation à 25° en m mhos		12,0	4,3	5,5	2,1	1,9
STRUCTURE	Is	0,15	0,5	0,13	0,26	0,63
	Kcm/h	4,5	1,0	4,6	2,3	1,3

TYPE
DE
SOL

ANALYSES DE SALANTS

n° 40 Salant noir, séquence T4
n° 41 Salant blanc et brun. Séquence T4
n° 42 Salant blanc. Séquence P.17

PROFIL Salants,
noir, blanc, brun

ECHANTILLONS		40	41	42	
Profondeur (cm)		Salant noir T4	Salant blanc T4	Salant blanc P17	
PH	PH H2O	9,8	9,5	9,6	
	PH KCl N				
GRANULOMÉTRIE	Terre fine	••			
	Sable grossier	••			
	Sable fin	••			
	Limon grossier	••			
	Limon fin	••			
	Argile	••			
	TOTAL non soluble	I4	0,5	0	
Humidité (105°)		••			
CO3 Ca		•• 6,4	•• 17,4	•• 5,1	
MAT. ORG.	Mat. org. tot.	•• 14,3	•• 11,9	•• 14,6	
	Carbone	•• 8,3	•• 5,9	•• 8,4	
	Azote total	•• 8,0	•• 7,0	•• 6,5	
	C/N	•• 10,3	•• 9,3	•• 12,8	
BASES ÉCHANGEABLES	Ca mé p. 100g sol				
	Mg mé "				
	K mé "				
	Na mé "				
	S en mé "				
	T en mé "				
	V	••			
Fer libre		••			
Fer total		••			
P205 total		••			
P205 Asslmi.		••			
SELS SOLUBLES	Ca mé p. 100g sol	I3	7	I4	
	Mg mé "	6	2	88	
	K mé "	4	10	40	
	Na mé "	277	640	790	
	TOTAL	300	659	932	
	CO3 mé p. 100g sol				
	CO3 H mé "	I80	536	326	
	SO4 mé "	I74	311	850	
	CL mé	0	0	0	
	TOTAL	354	847	1176	
Extrait de saturation à 25° en m mhos					
STRUCTURE		I s			
		Kcm. h			

O.R.S.T.O.M.

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS-8^e

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay, BONDY (Seine)

Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy

B.P. 65 - FORT-LAMY (Tchad)