

# ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES PROCESSUS D'HYDROMORPHIE ET D'HALOMORPHIE DANS LES SOLS DE POLDERS DE LA RÉGION DE BOL (Rives du lac Tchad)

par

C. CHEVERRY\*

## RÉSUMÉ

*Les polders de Bol sont des terres gagnées sur le Lac Tchad depuis quinze ans environ. Les sols sont hydromorphes, moyennement humifères, formés sur des matériaux fins, lacustres, chimiquement très riches, bien structurés. Une nappe phréatique salée, partout présente à faible profondeur est à l'origine de cette hydromorphie, mais provoque également des phénomènes d'halomorphie, de carbonatation. Les manifestations de ces divers processus sont décrites en fonction des caractéristiques de la nappe : profondeur par rapport à la surface du sol ; — niveau de salinité — ; nature des sels dissous. L'étude du mouvement des sels dans les sols (définition de phases de remontée en surface, de lessivage vers la nappe) est abordée par une comparaison, saison après saison, des profils hydriques et des types de répartition des sels.*

- 1 — INTRODUCTION
- 2 — LE CADRE NATUREL. Climat — Géologie — Végétation — Variations du niveau du Lac.
- 3 — ETUDE PEDOLOGIQUE
  - 3.1 Méthodes d'étude.
  - 3.2 Etude d'une séquence de sols à nappe phréatique faiblement salée : séquence P.27
  - 3.3 Les autres séquences de sols.
- 4 — CONCLUSION
- 5 — BIBLIOGRAPHIE. METHODES ANALYTIQUES.

---

\* Chargé de Recherches ORSTOM. Centre de Fort-Lamy, (Tchad).

## INTRODUCTION

Les polders de Bol sont situés sur la bordure nord-est du Lac Tchad. Ce sont des bras du lac, isolés récemment de ce dernier par des barrages en sable. Dans les conditions climatiques assez arides de la région, la masse d'eau ainsi emprisonnée s'est évaporée. Les terres asséchées possèdent une excellente fertilité potentielle : le matériau est en effet un dépôt lacustre récent, de texture fine, riche en une matière organique bien humifiée, de bonne structure. La présence à faible profondeur, entre 0 et 2 m sous la surface, d'une nappe phréatique se révèle un atout agronomique. Le blé, le maïs, la canne à sucre réussissent bien dans ces polders. Ces polders apparaissent dans la région de Bol comme des taches de verdure au milieu d'un paysage dunaire à pseudo steppe clairsemée ; ils correspondent aux anciennes interdunes qui furent, jusqu'à l'assèchement, envahies par les eaux du Lac.

Le problème agronomique essentiel est celui des modifications de fertilité qu'entraîne la présence, à faible profondeur, d'une nappe phréatique faiblement salée. Facteur favorable du point de vue de l'alimentation en eau des plantes, cette nappe permet par contre aux manifestations de l'halomorphie de se développer, parfois au point de gêner la germination ou le développement végétatif des diverses cultures. L'étude qui suit est localisée à deux polders proches de la ville de Bol : Bol-Guini, 500 hectares et Bol-Bérim, 950 hectares, polders créés respectivement depuis dix et quinze ans. Le but poursuivi est le suivant :

Depuis l'assèchement, le matériau sédimentaire de départ (alluvions lacustres) a été marqué par l'empreinte de processus tels l'hydromorphie, l'halomorphie (salinisation et alcalinisation), la carbonatation, et ceci avec des intensités fort différentes d'un point à l'autre d'un même polder. Ces trois processus sont liés à la présence à faible profondeur d'une nappe. Par l'étude de cinq séquences de sols, longues de 200 m environ, dirigées des parties hautes vers les parties basses des polders, on se propose de décrire les manifestations des trois processus précités en fonction :

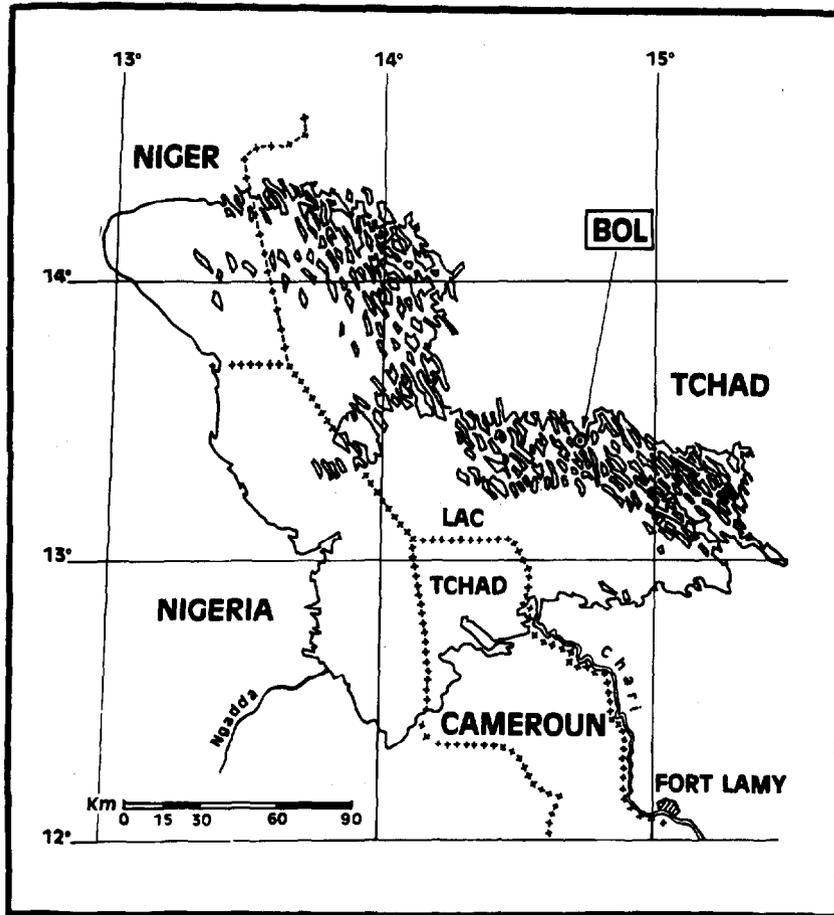
- de la profondeur de la nappe par rapport au sol,
- des caractéristiques de cette nappe (niveau et type de salinité),
- de la période de l'année.

Les deux polders de Bol-Guini et Bol-Bérim fournissent le meilleur cadre pour une telle étude\*. Depuis 1957 en effet, l'ORSTOM y effectue des observations, des mesures : travaux de M. PIAS, en particulier, pour la pédologie (PIAS, 1959, 1960, 1961, 1962), de MM. BOUCHARDEAU, LEFEVRE, BILLON, CALLEDE, RIOU (1957, 1963) pour l'hydrologie et la bioclimatologie. De plus, dans les domaines respectifs de l'agronomie, de l'hydrogéologie, les études SOGETHA (1963) et les travaux de la mission Hollandaise de Wageningen (DIELEMAN, de RIDDER, 1963), fournissent des données intéressantes auxquelles il sera fait référence.

Les échantillons de sols prélevés à Bol ont été analysés au Laboratoire ORSTOM de Fort-Lamy, sous la direction de M. CHANUT.

---

\* L'article présenté ici est le résumé d'un rapport intitulé :  
"Essai de caractérisation des sols des polders de Bol" ; rapport ORSTOM ; Octobre 1965.



Graphique n° 1 — Croquis général de situation

# 1. LE CADRE NATUREL : LES FACTEURS DU MILIEU

## 1.1 - 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 proche du rivage ; la troisième enfin, sur le polder même, à Matafo.

### 1.1.1 - 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 rafraîchissant de la saison des pluies se manifeste entre ces deux pointes. Les amplitudes journalières sont marquées : amplitude moyenne de 13° sur la dune.

### 1.1.2 - 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.

### 1.1.3 - ÉVAPORATION.

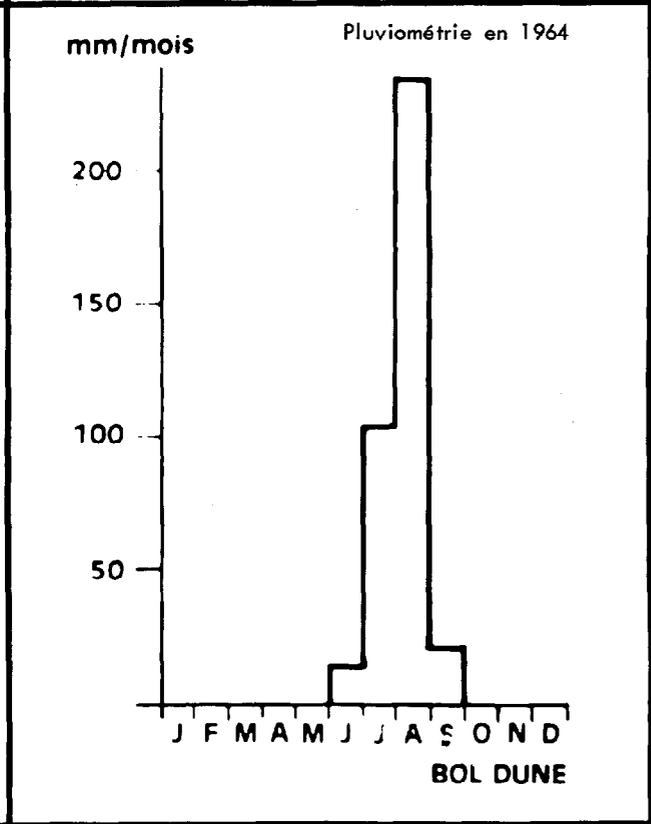
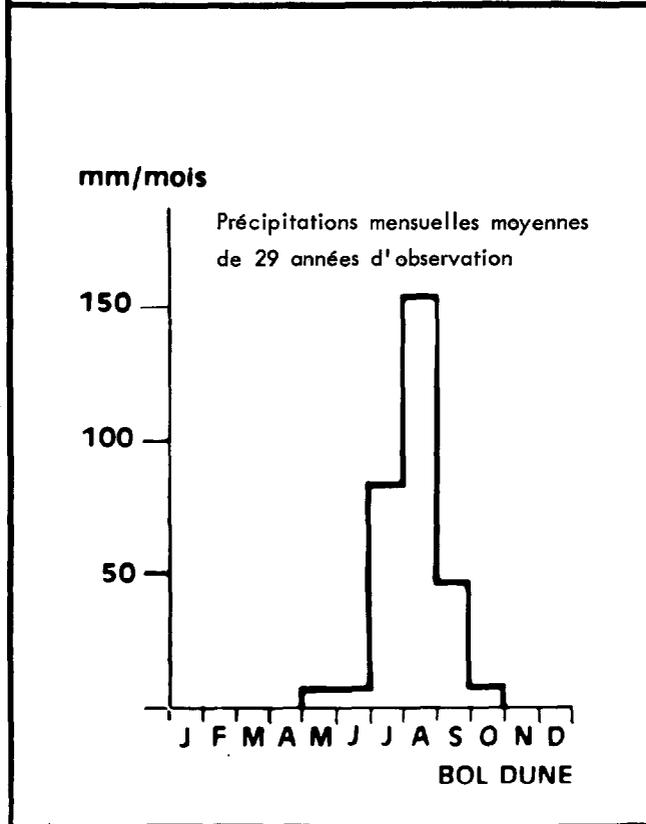
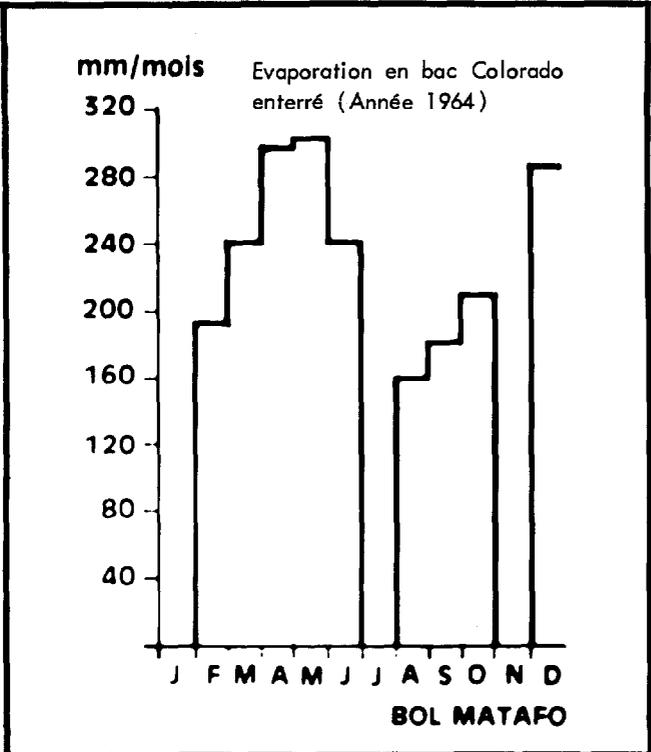
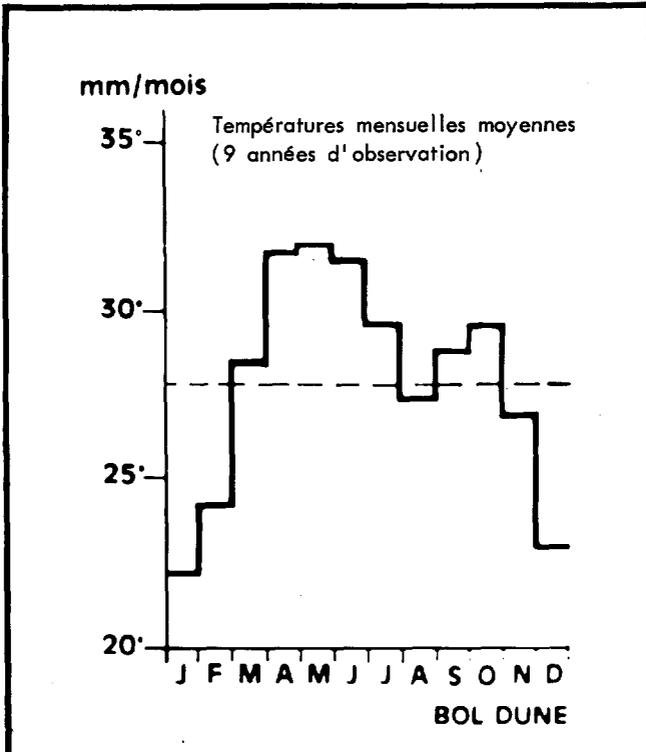
Des bacs colorados installés dans les trois stations permettent de mesurer l'évaporation d'une surface donnée d'eau libre. Cette évaporation annuelle sur le polder (bac colorado enterré) est de l'ordre de 3200 mm, et présente deux maxima : l'un en février-mars, l'autre en octobre-novembre (la courbe de variation annuelle revêt donc une allure comparable à celle des températures).

En 1964, l'évaporation a été légèrement supérieure à la moyenne, par suite d'une saison sèche elle-même plus marquée.

### 1.1.4 - PLUVIOMÉTRIE.

La moyenne annuelle des précipitations est, sur 29 années d'observations, de 292 mm, avec de très fortes variations interannuelles : les extrêmes signalées 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 mn, l'intensité baisse.

Cette pluviométrie, enfin, est très hétérogène dans l'espace : 18 pluviomètres sont implantés dans les deux polders de Bol-Bérim et Bol-Guini : les chiffres obtenus varient entre 219 et 365 mm, soit une très forte dispersion. (BILLON, CALLEDE, 1963).



Graphique n°2

### 1.1.5 - CALCUL DE QUELQUES INDICES CLIMATIQUES.

- Indice de DE MARTONNE :  $I = P/T + 10 = 8$
- Indice d' AUBERT-HENIN :  $I = \frac{\alpha P^3}{1 + \alpha P^2} = 13 \text{ mm}$  (sur dune, avec  $\alpha = 2$ ).
- 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	négatif	négatif

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 donc pas utilisés, du moins sous cette forme, dans l'étude pédologique.

## 1.2 - Géologie - Les Polders : étude du matériau.

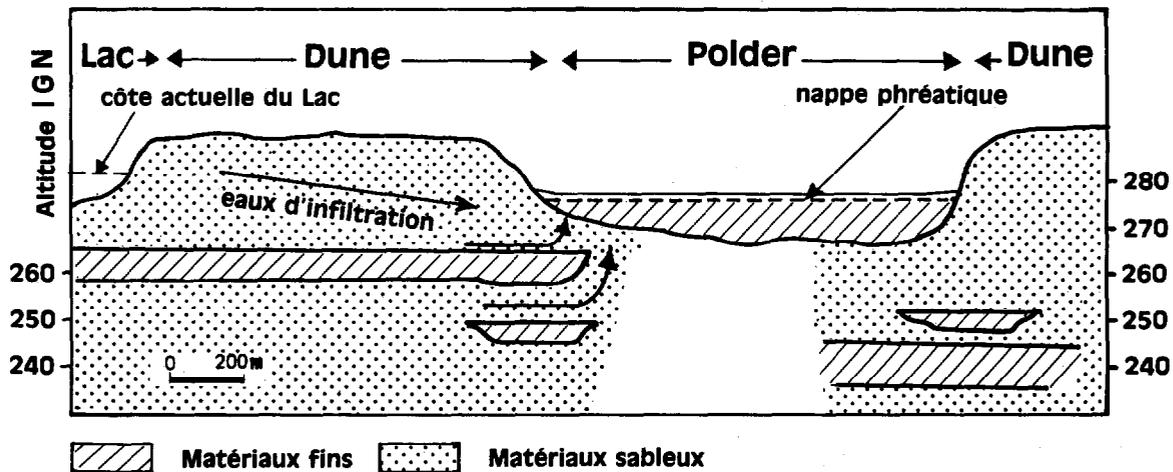
### 1.2.1 - MÉTHODES D'ÉTUDE.

Les polders correspondent à d'anciennes 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 plus haut.

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 de l'histoire géologique de cette région, des phases de transgression lacustres (BARBEAU, 1956) (PIAS, GUICHARD, 1959). Seule sera étudiée ici la couche superficielle de 2 à 3 m d'épaisseur. Les processus d'hydromorphie, d'halomorphie, de carbonatation, intéressant cette couche sont en effet 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 station considérés.

Pour définir ce matériau, les moyens d'étude suivants ont été employés :

- Examen morphologique des profils (150 profils observés).
- Analyse granulométrique (70 échantillons analysés à Fort-Lamy).
- Analyse totale (méthode triacide) de 5 échantillons à Bondy.
- Examen au microscope d'échantillons d'argile dispersée : recherche des diatomées.



Coupe transversale d'un polder (Bol Guini)  
(Schéma simplifié, extrait de DIELEMAN, DE RIDDER, 1963).

### 1.2.2 - CARACTÈRES DE L'ARGILE FISSURÉE.

L'argile "fissurée" est le nom donné au matériau qui constitue le plus souvent la base des profils. Sa texture est argilo-humifère ou humo-argileuse : 50 à 60% d'argile, 10 à 15% de limon fin, moins de 5% de limon grossier. Les teneurs en matière organique varient entre 5 et 12% ; 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 15. L'examen au microscope révèle la présence de diatomées, mais en nombre variable d'échantillon à échantillon.

Sa structure est caractéristique : prismatique grossière, fortement développée, avec fréquemment des fentes de retrait. Cette structure sera considérée comme antérieure à l'assèchement récent (15 ans), car on l'observe dans des parties du polder qui, elles, n'ont jamais été complètement asséchées. Son origine pourrait correspondre à une forte dessiccation, non irréversible, lors d'une phase antérieure de régression des eaux du lac.

Le comportement de cette structure en condition 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, des fentes de retrait se rétrécissent, mais ne disparaissent pas.

C'est un matériau chimiquement très riche : sa capacité d'échange est comprise entre 25 et 40 meq./100g de sol, en corrélation avec la teneur en matière organique. Les teneurs en magnésium (3 à 10 meq./100g) et en potassium (0,5 à 1 meq./100 g) 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'analyse actuelles. Ce matériau sera désigné sous le terme d'"argile fissurée".

### 1.2.3 - AUTRES MATÉRIAUX.

Dans la partie nord des deux polders, l'argile fissurée précédemment définie paraît occuper la totalité du profil. Par contre, dans les parties médianes et sud, le matériau de surface (0-60 cm) est plus limoneux : 40% d'argile, 25% de limon, 25% de sable, sa structure légèrement moins développée ; sa teneur en matière organique reste élevée : 5 à 10%.

Enfin, dans certaines conditions de topographie, sur certaines bordures sud des polders notamment, un matériau enrichi en une matière organique moins bien décomposée (allant parfois jusqu'à la tourbe argileuse) prend place entre l'argile fissurée et le matériau de surface. Ces divers matériaux sont liés aux conditions de sédimentation dans les eaux du Lac lors des derniers millénaires. Leur étude minéralogique est en cours.

### 1.3 - Végétation

Les dunes sableuses sont le domaine de la pseudo-steppe arbustive à *Acacia radiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Leptadenia sparsium*. Dans la strate herbacée, *Aristida pallida*, *Hyparrhenia rufa* 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 *Callotropis procerá* 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 les pertes d'eau par évaporation, et entretiennent, en certaines zones basses, des nappes d'eau libre permanentes (en particulier près des barrages). Entre ces zones submergées et les terres constamment hors de l'eau (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* ssp., 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 *Cyperus 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, *Ipomoea aquatica* apparaît. On peut également signaler la présence de graminées telles *Echinochloa*, *Vetiveria*, de *Carex* autres que le *Cyperus 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 mmhos ; nappe phréatique du secteur au même niveau de salinité) est conquise, à partir de ses bords, concurremment, par le *Cynodon dactylon*, un *Leptocloa*, une Cypéacée. 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.

### 1.4 - Variations 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 km<sup>2</sup>). En 1956, cette cote atteignait 282,95 m (surface inondée : 23.590 km<sup>2</sup>). Le maximum fut atteint en Janvier 1963. Depuis, ce maximum annuel reste stationnaire, avec une légère baisse en 1964. Ce ne sont là que des variations récentes, mesurées.

Il apparaît que ce niveau du Lac influe sur l'intensité de l'infiltration d'eaux vers la nappe phréatique, sous le polder. (schéma page 69).

## 2 - ÉTUDE PÉDOLOGIQUE

### 2.1 - Méthode d'Étude

#### 2.1.1 - CHOIX DES SÉQUENCES.

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 pour aboutir dans les 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. Mais la nappe intervient également dans l'évolution des sols par : son niveau de salinité, le type des sels dissous, parfois sa pente latérale. Chacune des quatre premières séquences a été choisie de manière à représenter les principaux "types" de nappes observés dans les polders.

Nom de la séquence	Localisation	Conductivité de la nappe (mmhos)	Caractère chimique dominant de la nappe
P. 27 (P)	Polder Guini bordure ouest	0,5 à 1	dominance des anions $\text{HCO}_3^-$ et des cations $\text{Ca}^{++}$
P. 46 (S)	Polder Bérin zone nord	2 à 3	équilibre entre $\text{HCO}_3^-$ et $\text{SO}_4^{--}$ (rapport 1/1 en m.e.) et entre $\text{Na}^+$ et $\text{Ca}^{++}$
T. 4 (R)	Polder Guini corne sud-ouest	3 à 6	dominance des anions $\text{HCO}_3^-$ et des cations $\text{Na}^+$ .
P. 17 (Q)	Polder Guini bordure est	5 à 9	dominance de $\text{SO}_4^{--}$ sur $\text{HCO}_3^-$ , de $\text{Na}^+$ parmi les cations.

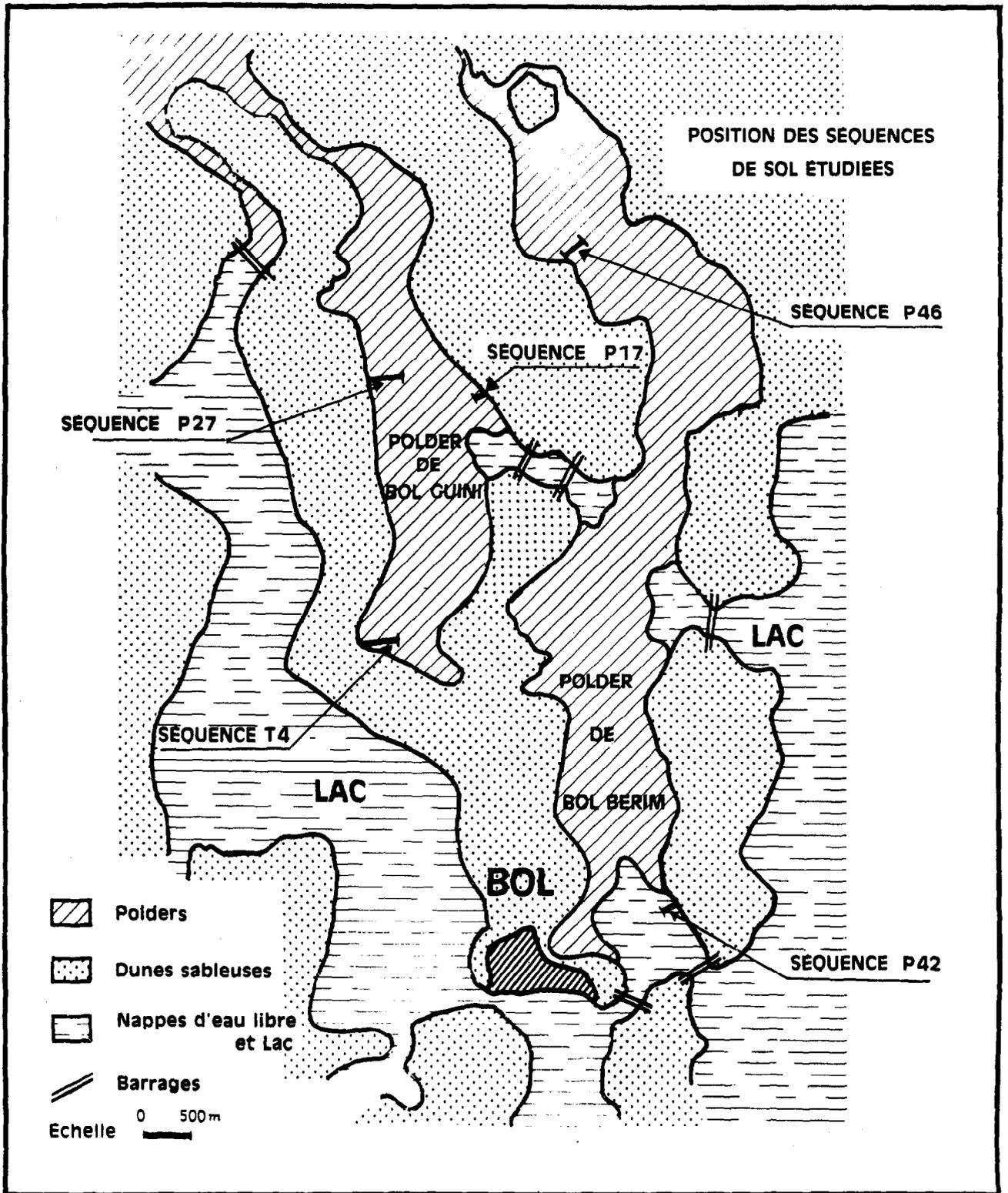
(P) (Q) = symboles utilisés pour désigner les séquences dans la numérotation des profils.

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 le sens des deux chiffres figurant dans la colonne "conductivité de la nappe", qui correspondent aux valeurs extrêmes notées parmi une série de mesures. Quelques remarques sont à présenter :

- sur les deux polders, les résultats de conductivité de la nappe, au cours d'une prospection systématique, furent toujours compris entre 0,3 et 10 mmhos. Les quatre séquences choisies couvrent donc bien cette gamme de salinité.
- dans toutes ces eaux, les anions trouvés à l'analyse sont des bicarbonates et des sulfates. Les chlorures ne sont que très peu représentés.

#### 2.1.2 - IMPLANTATION DES SÉQUENCES.

L'implantation de chaque séquence a compris des mesure 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.



Graphique n°3 — Les polders de Bol Guini et Bol Bérin.

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 m<sup>2</sup> 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).

## 2.2 - Une Séquence de Sols à nappe phréatique faiblement salée - Séquence P.27

### 2.2.1 - INTRODUCTION.

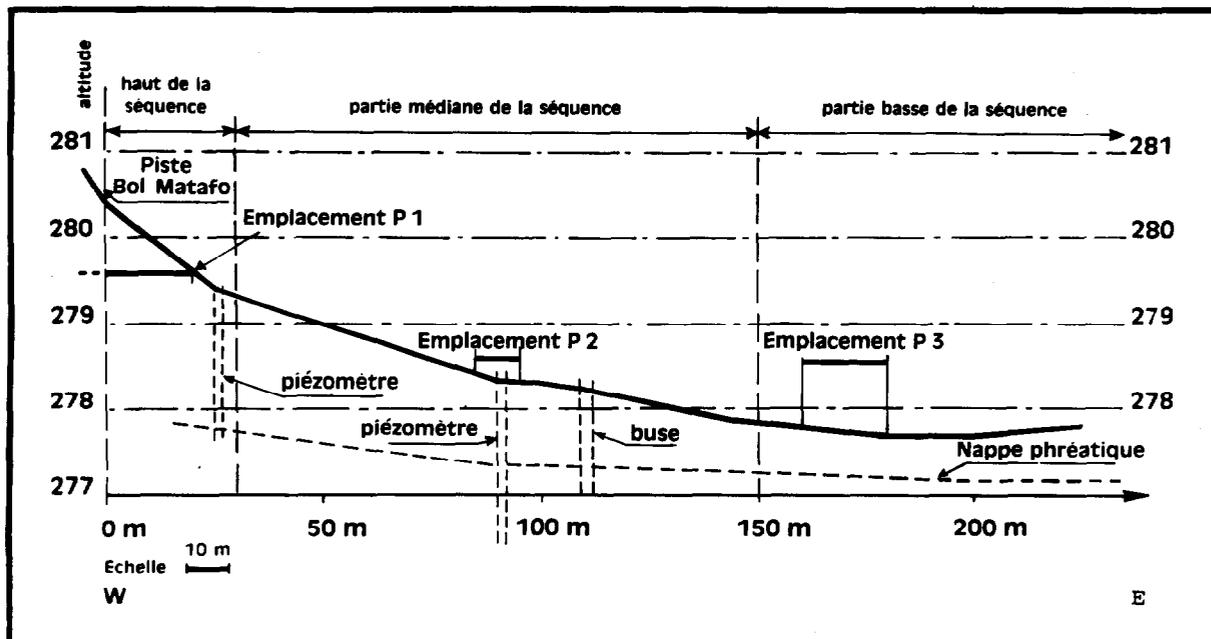
Située en bordure ouest du polder Guini, cette séquence, longue de 250 m, est orientée ouest-est. Trois parties apparaissent sur le profil en travers (graphique n° 4).

- 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. Pédologiquement, c'est là où les manifestations du processus de carbonatation sont les plus accusées. 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.

Pédologiquement, la partie médiane et la partie basse sont caractérisées avant tout par les manifestations de l'Hydromorphie et de l'Halomorphie.



Graphique n°4 - Profil en travers de la séquence de sols P. 27.

## 2.2.2 - LA NAPPE PHREATIQUE, au niveau de la séquence.

### Son niveau.

Le graphique n° 5 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 (PIAS, 1960). 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).

### 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.

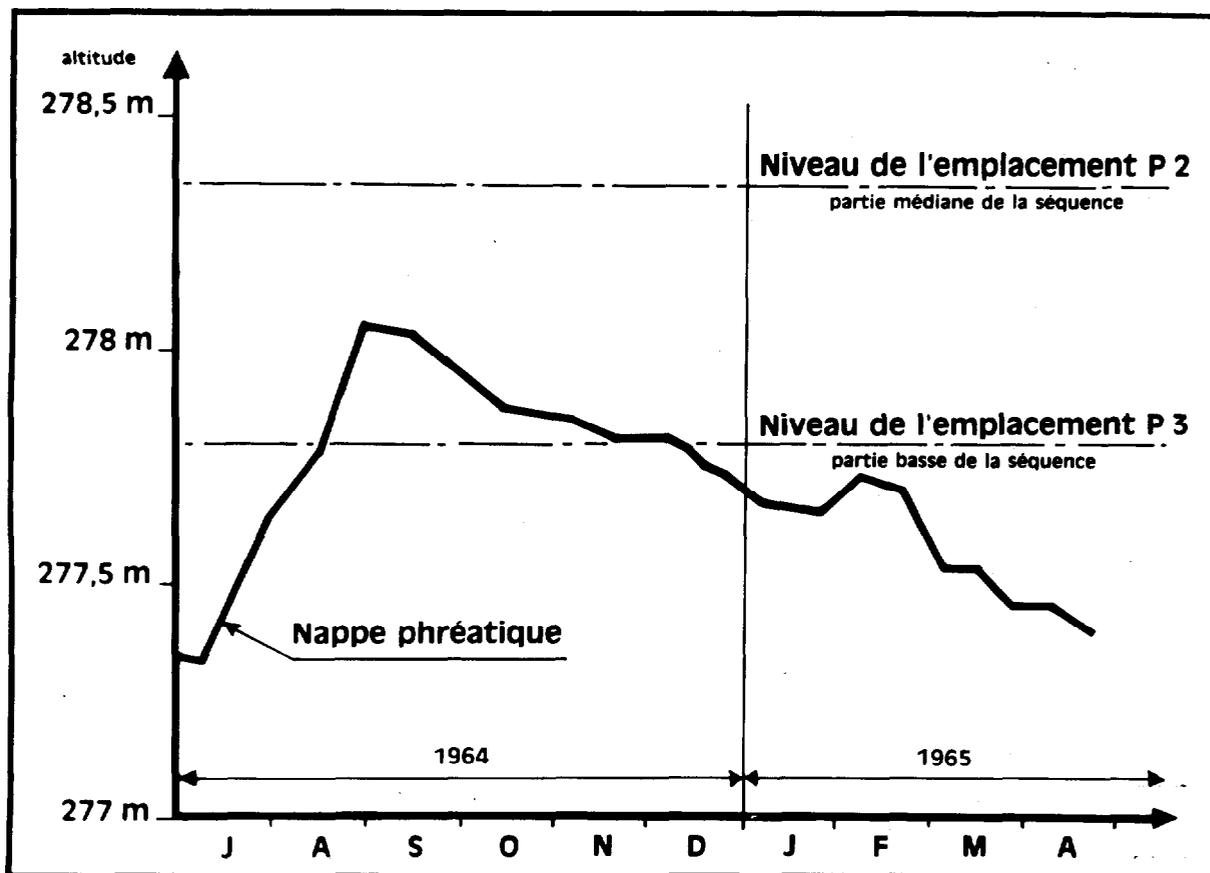
### Salinité de la nappe.

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 par sondage à la tarière est également, après décantation, soumise à une mesure de conductivité (conductimètre CHAUVIN et ARNOUX).

Des mesures effectuées, il ressort que la salinité de la nappe croît régulièrement d'ouest en est, passant de 0, 4 à 1 mmho en extrémité de séquence ce qui correspond à une teneur en sels d'environ 0,25 à 0,6 g/l. Au niveau de la séquence P. 27, la nappe est donc faiblement salée. Prélevée au niveau de l'emplacement P. 2, ses caractéristiques chimiques sont les suivantes :

pH : 8,1 ; cations (en m.e./l) :  $\text{Ca}^{++} = 4,1$   $\text{Mg}^{++} = 1,6$   $\text{K}^{+} = 0,9$ .  $\text{Na}^{+} = 2,6$   
anions :  $\text{SO}_4 = 0,2$ .  $\text{HCO}_3 = 10$ . Conductivité = 0,8 mmho.

Le sel caractéristique de cette nappe est donc le bicarbonate de calcium.



Graphique n°5 — Variation du niveau de la nappe. Séquence de sol P 27 (observations au niveau de P2).

Les variations de la salinité globale au cours de l'année ont été suivies (tableau ci-dessous) :

	Emplacement P. 1 (chaddoufs)	Emplacement P.2 (chaddoufs) (buse)		Emplacement P. 3 (sondages tarière)
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 paraît s'agir là d'un phénomène, localisé à l'eau de la buse, de concentration par évaporation.

En début de saison des pluies 1965 (120 mm sont tombés entre le 1er juillet et le 10 août), la salinité augmente dans la partie basse de la séquence. Elle ne varie pas ailleurs.

## 2.2.3 - LES PROCESSUS D'HYDROMORPHIE dans leurs manifestations.

### 2.2.3.1 - En partie médiane de la séquence : emplacement P.2.

#### 2.2.3.1.1. METHODE DE TRAVAIL

Une fois tous les deux mois en saison sèche, et une fois tous les quinze jours en début de saison des pluies, deux séries d'observations ou de prélèvements sont effectuées à l'intérieur d'un emplacement de 200 m<sup>2</sup> :

- étude d'un profil pédologique : prélèvements pédologiques.
- prélèvements d'une série d'échantillons de sol en place, dans des boîtes en aluminium de 125 cm<sup>3</sup>, sur le profil venant d'être ouvert, ou dans des sondages. Ces échantillons font l'objet de mesures d'humidité totale et de tests de salinité (mesure de la conductivité de de l'extrait de sol 1/5).

Ces profils pédologiques, les courbes de profils hydriques, de répartition des sels dans le sol seront interprétés en fonction de la profondeur de la nappe, du mode d'utilisation du sol et permettront de classer les sols de l'emplacement. En second lieu, par la comparaison des données obtenues en diverses saisons, une interprétation des mouvements de sels au cours de l'année, au niveau de l'emplacement, sera tentée. Pour introduire cette étude, un profil de début de saison sèche, sera décrit, interprété et classé.

#### 2.2.3.1.2. ETUDE DU PROFIL P . 2 . 1 .

Caractérisation morphologique : Le profil P. 2.1., situé à 90 m de la piste, en pente Est de 1% a été 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, même humides), non poreux \*, faiblement carbonatés.
  - 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 0-8 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 conchoidale ; les éléments structuraux sont tachés sur leurs faces, mais pas dans leur masse, peu déformables, non poreux ; des lits sableux, de 1 mm d'épaisseur, sub-horizontaux, les séparent ; non carbonatés ; enracinement fin, abondant, presque exclusivement sur les faces des prismes. Passage graduel, régulier à :

\* La porosité s'applique aux éléments structuraux et non à l'horizon.

## FICHE ANALYTIQUE

PROFIL P.2.1
Séquence P.27

ECHANTILLONS		1	2	3	4	5
Profondeur (cm)		4-14	19-24	30-40	60-70	100-110
PH	PH H2O PH KCL N	8,1	8,0	7,5	6,8	7,1
GRANULOMETRIE	Terre fine					
	Sable grossier	10	12	4		0,5
	Sable fin	22	12	6		16
	Limon grossier	4	4	2		1
	Limon fin	41	29	16		11
	Argile	13	30	59		64
	TOTAL	90	87	87		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 ECHANGEABLES	Ca mé p.100 g 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		100	100	100	100
	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. 100 g 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. 100 g 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

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 carbonatés ; enracciment très réduit.

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

Interprétation du profil. Classification. Les caractères essentiels du profil sont présentés par ordre d'importance décroissante (dans l'optique de la classification française des sols) :

- l'ensemble du profil est affecté par l'hydromorphie : présence à 24 cm d'un horizon de gley ; les horizons superficiels (0-24 cm) ont également subi des phénomènes de réduction, puis d'oxydation du fer : taches brun-jaune à jaune-rouge.
- ce sol est riche (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 M.O. est provisoirement choisi, dans l'attente d'analyses plus poussées.
- les sels sont accumulés dans la partie supérieure du profil, mais on n'observe pas d'efflorescences en surface. De 4,3 mmhos entre 4 et 14 cm, la conductivité de l'extrait de saturation descend à 0,5-0,8 mmho dans les horizons suivants. Ce profil ne présente aucun signe d'alcalinisation.
- le complexe absorbant est saturé par le magnésium et le calcium.  
Le processus de carbonatation a profondément marqué l'horizon 8-24 cm, mais de façon irrégulière, par poches.
- le matériau observé de 80 à 120 cm a les caractères de texture et de structure de l'argile fissurée. Par contre, sa teneur en matière organique est faible. L'examen au microscope a révélé une assez forte proportion de diatomées.

En conséquence ce sol a été classé : SOL HYDROMORPHE, moyennement humifère,  
sol humique à gley,  
faiblement salé, à anmoor calcique  
sur dépôt lacustre argileux.

Autour de ce même emplacement P. 2, une série de profils a été ouverte en février, avril, mai, juillet, août. Sur l'emplacement même, des mesures d'humidité, des tests de salinité ont été effectués aux mêmes périodes. Les observations seront présentées dans l'ordre chronologique.

**2.2.3.1.3.** Les manifestations de l'hydromorphie, de l'halomorphie, aux diverses saisons, au niveau de l'emplacement P. 2

**a/ en début de saison sèche.** (1er octobre - 15 décembre)

La connaissance des variations du niveau de la nappe durant cette période, du mode d'utilisation du sol, l'interprétation du profil P. 2.1 (page précédente), de son profil hydrique (graphique N°6), du type de répartition des sels, permettent de caractériser ces 45 premiers jours de saison sèche :

- la nappe phréatique est proche du sol, mais son niveau baisse (30 cm début octobre ; 56 cm le 15 décembre).
- le sol restant dénudé, sous l'influence de l'évaporation, de la forte macroporosité, la couche de sol tout à fait superficielle se dessèche profondément et constitue une amorce de "mulch", mais les couches sous-jacentes restent très humides (humidité supérieure à 50%).
- parallèlement, le type de répartition des sels se caractérise par une accumulation en surface.

## **b/ en pleine saison sèche.** (15 décembre - 30 juin)

Entre décembre et mai, l'emplacement P. 2 a été 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, 7000 m<sup>3</sup> ont ainsi été apportés. La dernière irrigation eut lieu le 20 avril et le blé a été récolté par arrachage pied par pied, dans les premiers jours de mai.

Le profil P. 2.2, observé le 15 mai, présente par rapport à P. 2.1 (décembre) les caractéristiques suivantes (P. 2.2. est à 15 m de P. 2.1., au même niveau de la séquence) :

- le niveau de la nappe a encore fortement baissé et se situe 105 cm sous la surface du sol. Le gley n'apparaît plus qu'à 70 cm ; l'examen des profils hydriques montre que, comme en P.2.1, la teinte franchement gleyeuse se développe pour une humidité du sol supérieure à 60%. Sur les horizons 20-70 cm, les taches brun vif : 7,5 YR 5/6, sont nombreuses, localisées aux faces des éléments structuraux (plaquettes).
- le type de répartition des sels en mai est très différent de celui observé en décembre ; il se caractérise par une certaine homogénéisation de la salure sur les 60 cm supérieurs. Deux remarques permettent d'expliquer ce changement de répartition des sels :

1. 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).

2. 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 matériau 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 spectaculaire sur les faces des éléments structuraux.
- un blocage des phénomènes de remontée des sels en fin de saison.

L'irrigation, pratiquée sur le blé, intervient en retardant le dessèchement et éventuellement en participant à l'homogénéisation de la teneur en sels sur les 60 cm supérieurs.

## **c/ 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 côté, soit une surface nettement plus restreinte que celle de l'emplacement (200 m<sup>2</sup>). 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 heures après une forte pluie.

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 (mmhos)	0,70	0,70	0,90	0,85	0,80
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 extrait 1/5) diguette	-	1,30	-	-	0,70
0- 5 cm	0,25	0,40	-	-	0,40
5-10 cm	0,30	0,40	-	-	0,45
15-20 cm	0,40	0,45	-	-	0,50
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.

Les graphiques n° 6 et 7 reprennent les chiffres de ce tableau 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%). \*

— 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 même nappe n'a pas varié de manière significative.

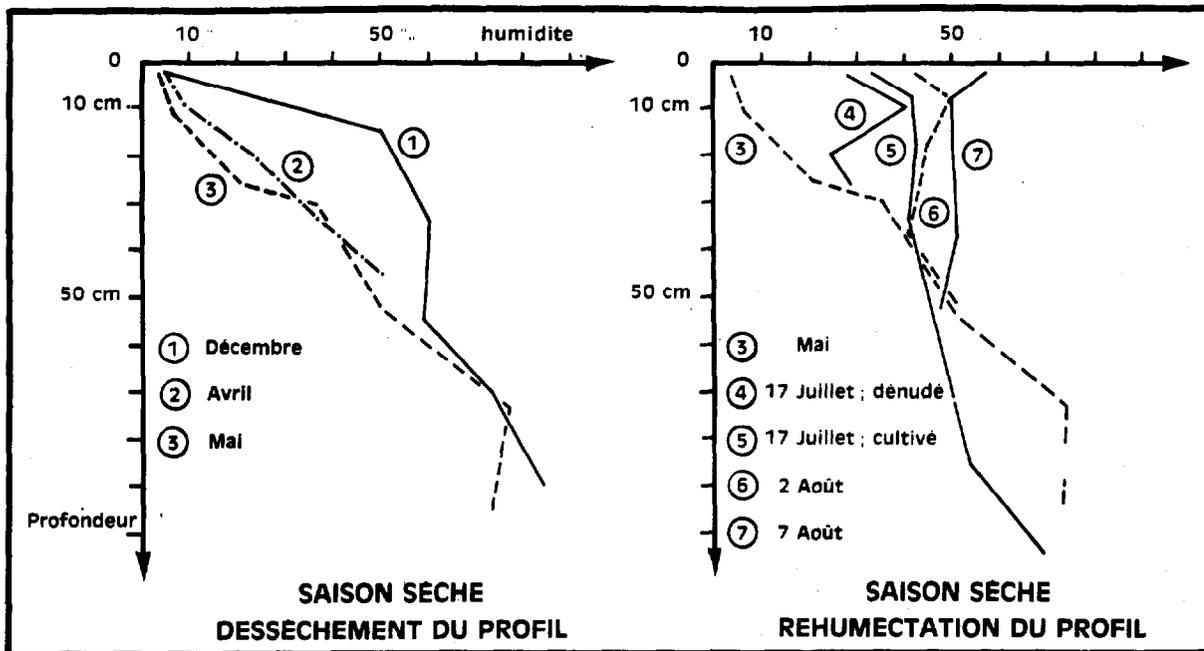
Un rapprochement de ces diverses données permet une interprétation sur le mode d'action des processus d'hydromorphie et d'halomorphie durant ce début de saison des pluies :

Les 120 premiers mm de pluie n'ont pu :

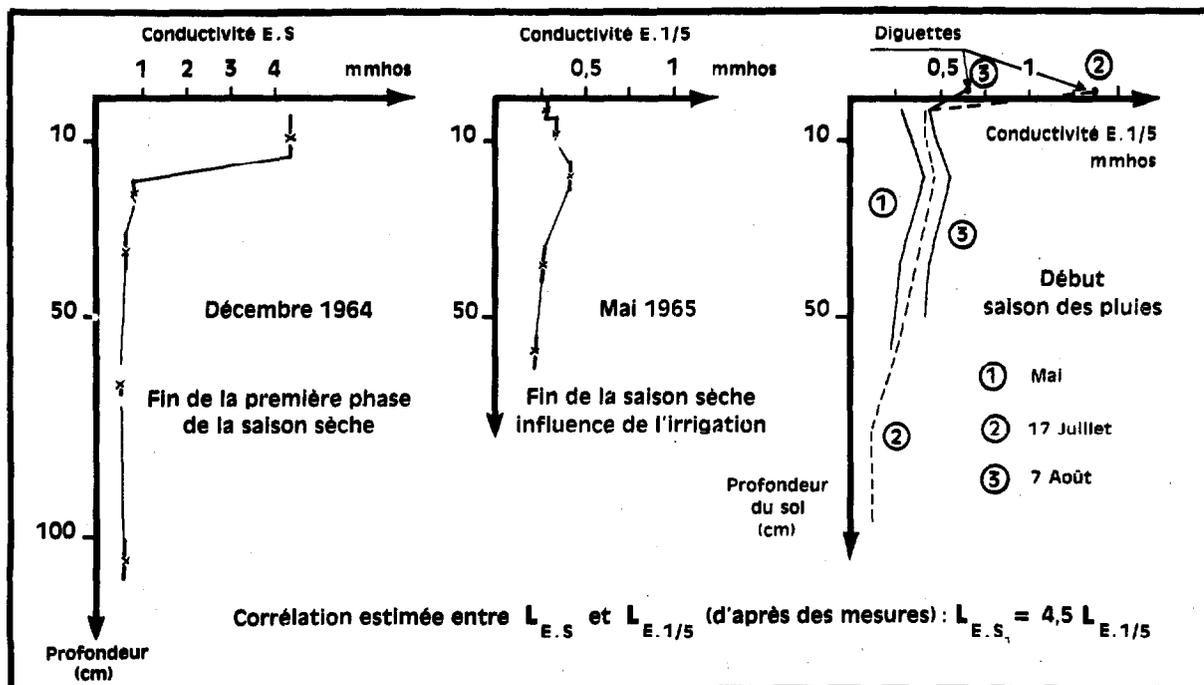
- alimenter directement la nappe,
- lessiver les sels de la partie supérieure du profil (sinon les diguettes).

\* Quelques mesures de capacité au champ furent faites, par la méthode décrite par COMBEAU-QUANTIN. En présence d'une nappe phréatique, les résultats n'ont qu'une valeur indicative.

En effet, avant le 10 août, 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.



Graphique n° 16 — Séquence P 27 — Emplacement P 2 — Profils hydriques.



Graphique n°17 — Séquence P 27 — Emplacement P 2  
Répartition des sels dans les profils en saison sèche — en début de saison des pluies.

#### **d/ Conclusion sur les manifestations de l'hydromorphie, de l'halomorphie, au niveau de l'emplacement P.2.**

Un tableau résumera les relations entre stades de la nappe, régimes hydriques et régimes des sels ; ce tableau est présenté plus loin, en parallèle avec le tableau équivalent correspondant à la partie basse de la séquence (emplacement P. 3).

#### **2.2.3.2 - En partie basse de la séquence emplacement P.3.**

##### **2.2.3.2.1. INTRODUCTION**

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. Les régimes hydriques, les régimes des sels, leur calendrier, seront donc fort différents de ceux précédemment décrits en P.2. En particulier, toute cette partie basse de la séquence est submergée par les eaux durant quatre mois (15 août - 15 septembre).

##### **2.2.3.2.2 LES MANIFESTATIONS DE L'HYDROMORPHIE, DE L'HALOMORPHIE.**

###### **a/ en début de saison sèche.**

Les observations ont eu lieu le 18 décembre 1964, avec notamment l'étude d'un profil, profil P.3.1, dont voici les traits essentiels :

- une végétation de roseaux, typhales, de 2 m de haut couvre le sol par flots ; de nombreuses plages sont sans aucune végétation.
- l'emplacement n'est exondé que depuis quinze jours et la nappe phréatique est encore très proche de la surface : 8 cm. La surface du sol reste très humide, lissée sur 1 mm d'épaisseur ; des flaques d'eau, de couleur légèrement purineuse, en émaillent la surface ; pas d'efflorescences salines.
- le profil est totalement engorgé, toutes les couleurs sont de teinte gleyeuse. L'engorgement n'a pas d'action dégradante vis à vis de la structure, bien développée : ployédrique fine et moyenne sur 15 cm, prismatique grossière dessous. Seule une pellicule de surface est à l'état dispersé.
- il n'y a pas d'accumulation de sels en surface : les 8 cm au-dessus de la nappe ont la même teneur en sels que les horizons sous-jacents et cette salinité est voisine de celle de la nappe (1 mmho).
- le complexe absorbant (capacité d'échange élevée : 40 meq./100 g de sol) est saturé par le calcium et le magnésium ; aucun signe d'alcalinisation. La carbonatation, par contre, est régulière (6 à 9%) sur les 30 cm supérieurs du profil. Les horizons suivants ne sont pas carbonatés.

Le sol est un SOL HYDROMORPHE, moyennement humifère ; sol humique à gley ; faiblement salé, à anmoor calcique, sur dépôt lacustre argileux.

###### **b/ en fin de saison sèche.**

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 paraissent correspondre à un état de dessiccation plus poussé). En janvier, la surface est couverte à 50% par ces efflorescences. Vers la fin de ce même mois, les ilots de roseaux conservés jusqu'alors sont coupés et le terrain défriché, travail du sol qui fragmente la

fine couche saline, la mélange aux dix centimètres supérieurs. Un maïs, semé en poquets en février, est cultivé les trois mois suivants, sans irrigation bien entendu. En mai, ce maïs est arraché pied par pied ce qui accentue la fragmentation du sol et, avec le piétinement, nivelle un peu la surface (destruction des diguettes).

Le profil P.3.2 est observé le 20 mai 1965, quelques jours après l'arrachage du maïs ; la nappe est alors à son niveau minimum 54 cm. Quelques traits caractérisent ce profil du point de vue des processus envisagés :

- le profil hydrique traduit un dessèchement assez profond du sol sur 35 cm. En l'absence d'irrigation et durant ces mois de très forte évaporation, la frange capillaire n'a conservé une forte humidité à ce sol que sur une vingtaine de cm au-dessus de la nappe.
- la courbe de répartition des sels est typique d'une remontée de sels, avec accumulation en surface ; dans les mois qui ont suivi le semis du maïs, le phénomène de remontée de sels a continué de jouer, mais sans nouvelle apparition d'efflorescences. Cette salinité, exprimée en conductivité d'un extrait de sol 1/5, est de 1 mmho sur les 5 cm supérieurs, mais n'est plus que de 0,25 mmho à 20 cm ; le relation entre la conductivité de l'extrait saturé et celle de l'extrait 1/5 pour des sols moyennement salés, à Bol, a été estimée, d'après un certain nombre de mesures comparées, à :

$$L_{E.S.} = 4,5 L_{E.1/5}$$

### c/ 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 :

Date de l'observation	20 mai	17 juillet	2 août	4 août	7 août
Pluviométrie cumulée en mm.	0	10	60	100	120
Niveau nappe/sol en cm. Conductivité nappe (mmho)	54 0,9	36 0,7	24 0,7	13 1,7	3 2,7
Profils hydriques (humidités en % de terre sèche)					
- diguette		41			86
- fond du poquet					
0- 5 cm	11	58	61	73	100
5-10 cm	28	83	78	85	
15-20 cm	34	86	88		
50-55 cm	36	90			
Profils de salure (E.1/5)					
fond du poquet 0- 5 cm	0,95	0,50	0,50		0,60

- 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 cm (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.

**d/ Conclusion sur les manifestations de l'hydromorphie, de l'halomorphie, au niveau de l'emplacement P.3.**

Un tableau placé en parallèle avec celui correspondant à P.2 résume ces observations. Les sols de P.3 ont été classés comme : SOLS HYDROMORPHES, moyennement humifères, humiques à gley, faiblement salés, à anmoor calcique. C'est-à-dire de la même manière que ceux de P.2.

**- Interactions entre les processus d'hydromorphie et d'halomorphie, le long de la séquence P.27.**

Période de l'année	Nappe phréatique	Régimes hydriques	Régimes des sels	Utilisation du sol
--------------------	------------------	-------------------	------------------	--------------------

**1. En partie médiane de la séquence**

Début de saison sèche (1 <sup>o</sup> Octobre-15 Décembre)	Proche du sol (30-50 cm) descend	Engorgement total, sinon un "mulch" très superficiel	Accumulation en surface (remontée)	Sol dénudé
Saison sèche (15 Décembre-1 <sup>o</sup> Juillet)	Profonde (80 à 100 cm) stable	Dessèchement progressif sur 50 cm d'épaisseur	Ralentissement, blocage de la remontée des sels	Blé irrigué, puis maïs irrigué.
Début de la saison des pluies.	Assez profonde (100 à 50 cm) remonte brutalement	Lente réhumectation	Pas de mouvement de sels	Sol dénudé
Fin de la saison des pluies (15 Août-1 <sup>o</sup> Octobre)	Proche du sol (50 à 30 cm) remonte	Engorgement total	Lessivage des sels sur 30 cm	Mais

**2. En partie basse de la séquence**

Mi-saison sèche (1 <sup>o</sup> Décembre-15 Mars)	Proche du sol (0 à 35 cm) descend	Engorgement total	Accumulation en surface (efflorescences)	Roseaux ou dénudé
Fin de la saison sèche (15 Mars-1 <sup>o</sup> Juillet)	Assez profonde (35-55 cm) stable	Dessèchement du sol sur 30 cm	Ralentissement de la remontée de sels	Mais
Début de la saison des pluies (1 <sup>o</sup> Juillet-15 Août)	(55 à 0 cm) remonte brutalement	Engorgement total	Lessivage des sels	
Fin de saison des pluies Début saison sèche (15 Août-1 <sup>o</sup> Décembre)	Submerge le sol (+ 20 cm)	Submersion	Homogénéisation de la salure du sol et de la nappe	Sol inondé

**2.2.3.3 - Conclusion sur le processus d'halomorphie le long de la séquence 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 ?

**2.2.3.3.1. EN PARTIE BASSE DE LA SEQUENCE (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. Or la salure de la nappe en P.27 n'a pas augmenté de manière significative depuis 1960 ( ORSTOM, 1965).

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 (dans le sens ouest-est).

### **2.2.3.2. EN PARTIE MEDIANE DE LA SEQUENCE (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 des sels l'emportent sur ceux de lessivage. Le "bilan de salinisation annuel" est alors positif, les sols se salent (ORSTOM, 1965). 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 lessivé 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 tire son originalité, et la stabilité de sa fertilité, du fait d'un mouvement latéral Ouest-Est, de la nappe et de l'élimination naturelle des sels qui en résulte. Les sels sont entraînés vers la bordure est du polder, où s'observent précisément des zones de sols très salés.

### **2.2.4 - LE PROCESSUS DE CARBONATATION, en haut de 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 une couleur plus claire, une structure plus friable à l'état sec. Les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  atteignaient 15%.

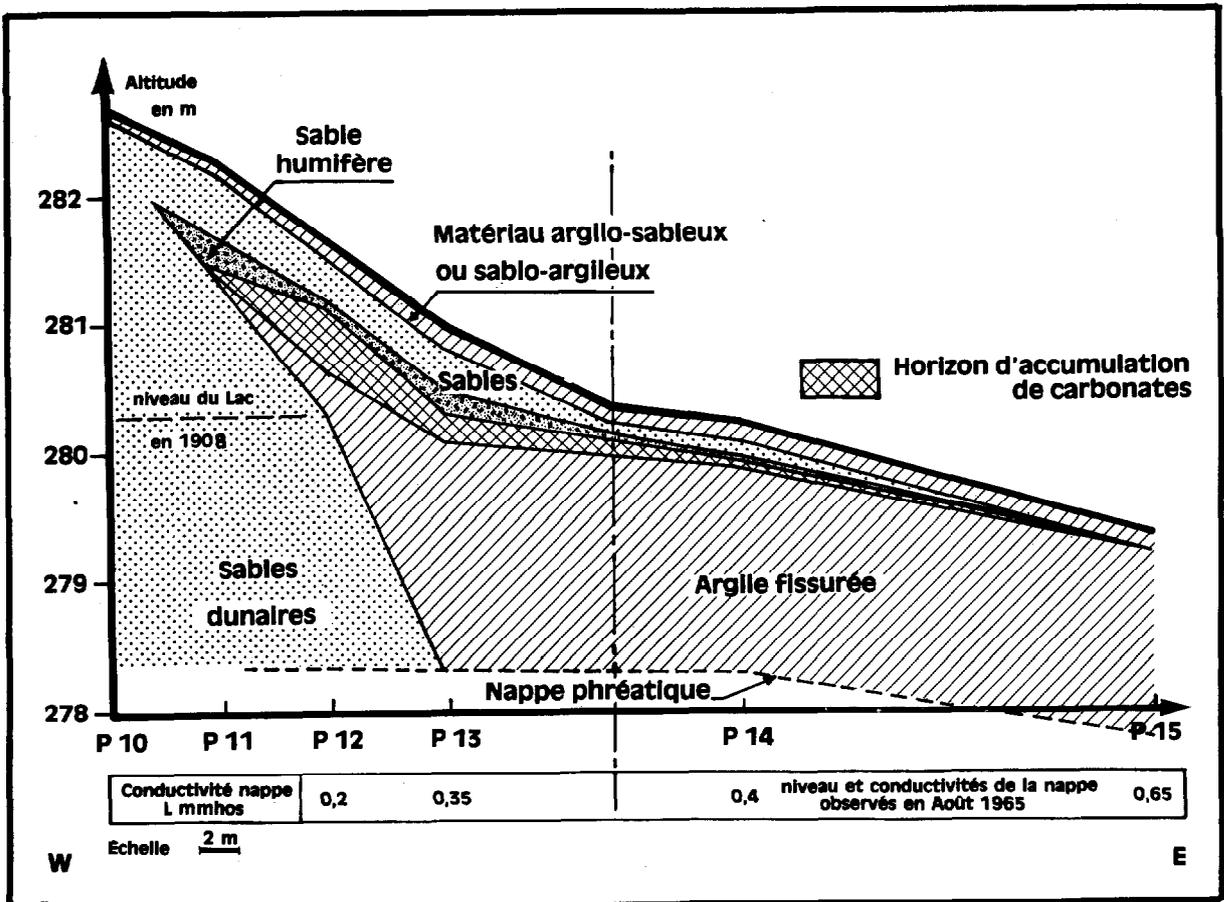
La nappe phréatique actuelle, avec son caractère de forte dureté carbonique est-elle, seule, à l'origine de cette accumulation, qui se situe dans sa zone de battement ? Il semble bien en être ainsi en P. 3.1 et P.3.2. L'étude de la partie haute de la séquence, par contre, introduit de nouvelles données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

Cette partie haute de la séquence correspond à la zone de raccordement entre les matériaux sableux de la dune et les matériaux fins, sédimentaires du polder ; sa pente est forte. Six profils (P.1.0 à P.1.5) alignés dans le sens de la pente ont été observés. L'un de ces profils, P.1.3, 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° 8 représente la coupe en travers de l'emplacement P.1, long de 50 m, avec la position précise de six profils.

#### **2.2.4.1 - Description du profil P.1.3.**

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

0-20 m : sec ; gris sombre (10 YR 4,5/1) ; sable légèrement argileux ; faiblement humifère ; deux éléments texturaux nettement distincts : — des sables dunaires, déliés, colorés par une pellicule de matière organique ; — des polyèdres argileux (de taille variée : 1 à 40 mm), bien individualisés ; horizon non carbonaté. Passage tranché, régulier à :



Graphique n° 8 — P 27. Haut de la séquence. Raccord dune — polder — Extension des phénomènes de carbonatation.

- 21-55 cm : sec ; gris clair (10 YR 7/2) ; sableux ; (sables fins et moyens dominants, mats, 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 jaunes-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 :
- 92-137 cm : légèrement humide ; gris très sombre (2,5 Y 3/0) ; 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.

#### 2.2.4.2 - Interprétation 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  $\text{CaCO}_3$  de l'horizon 68 - 92 cm : 22%). Les carbonates "imprègnent" la masse argileuse.

Cette accumulation de carbonates prend donc place en milieu argileux, et au contact d'un horizon nettement plus sableux (55 - 68 cm).

### 2.2.4.3 - Examen comparé de la série de profils P.1 (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.1.3: la superposition de matériaux et l'origine de la carbonatation.

#### La superposition de matériaux.

La couche sableuse, dunaire, intercalée entre les horizons sédimentaires (horizon 21 - 55 cm en P.1.3), diminue d'épaisseur vers l'Est et disparaît au niveau du profil P.1.5; il en est de même de la couche déjà humifère mais encore très sableuse (horizon 55 - 68 cm en P.1.3). La superposition de matériaux disparaît donc vers le polder, le matériau paraissant alors homogène.

Vers l'Ouest, la superposition de matériaux disparaît également: en P.1.0, le profil est uniquement sableux. 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).

#### L'origine de la carbonatation.

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

P.1.0	0 à 80 cm : 0% 80 - 90 cm : 0,1% 90 cm et plus : 0%	P.1.3	0 - 55 cm : 0% 55 - 68 cm : 0,1% 68 - 92 cm : 22% 92 - 137 cm : 0%
P.1.1	0 - 60 cm : 0% 60 - 84 cm : 0,2% 84 - 89 cm : 1% 89 - 120 cm : 0,2% au-dessous : 0%	P.1.4	0 - 33 cm : 0% 33 - 38 cm : 5% au-dessous : 0%
P.1.2	0 - 59 cm : 0% 59 - 104 cm : 20% 104 - 131 cm : 4% au-dessous : 0%		

C'est sur une bande de 10 m de large (profils P.1.2 et P.1.3) que la carbonatation joue sur la plus grande épaisseur de sol et est la plus intense.

A partir de ces quelques données, l'interprétation suivante est proposée ; le type d'accumulation des carbonates (imprégnation d'un horizon argileux au contact d'un horizon sableux) et surtout l'importance prise par ce processus de profil à profil (graphique N° 8) conduisent à considérer la carbonatation comme liée à l'action d'une nappe plutôt que comme une caractéristique sédimentaire du matériau.

Le niveau actuel de la nappe paraît trop profond pour que cette carbonatation soit actuelle. Mais le niveau de cette nappe est lié au niveau du Lac, que ce soit avant ou depuis l'assèchement du polder. Le niveau du Lac en 1908 est, à titre indicatif, représenté sur le graphique N° 8. On peut concevoir qu'à partir de nappes moins profondes que la nappe actuelle, le processus s'est développé de la manière suivante : une nappe phréatique contenant des sels solubles de calcium se trouve au contact de matériaux fins, en bordure de bras du Lac (ou de polder). Une fois le complexe absorbant de l'argile saturé en  $Ca^{++}$ , une partie du calcium passe dans la solution du sol sous forme de bicarbonate. Par un mécanisme d'alternance humectation-dessiccation, la précipitation de carbonate de calcium se produit sous l'aspect d'une "imprégnation" d'un horizon argileux, au contact d'un horizon de texture nettement plus grossière, sableuse (par variations de tension de  $CO_2$  probablement).

## **2.2.5 - CONCLUSION : RÉSUMÉ DES TRAITS DOMINANTS DE L'ÉTUDE DE CETTE SÉQUENCE.**

### **Fertilité des sols.**

1. A une nappe peu profonde, faiblement salée (teneur en sels inférieure à 0,6 g/l), correspondent des sols hydromorphes, faiblement à moyennement salés.

2. Dans la zone de battement de la nappe, l'alternance des phénomènes de réduction et d'oxydation du fer se manifeste surtout sur les faces des éléments structuraux (taches brun vif).

3. Les couleurs franchement gleyeuses se développent sur ce matériau argileux pour une humidité totale (par rapport au poids sec), de 60% ou plus. Les horizons soumis à un engorgement total gardent une bonne structure : les fentes de retrait en particulier restent décelables même au-dessous du niveau de la nappe (faible pouvoir de gonflement à l'eau de cette argile).

4. Les régimes des sels dans les sols de cette séquence, au cours de l'année, et d'année en année, varient suivant la profondeur de la nappe au point considéré.

5. La salinisation procède d'une remontée de sels à partir de la nappe, suivant un processus classique, mais qui joue sur un matériau, dépôt lacustre, dont la structure est très développée et très stable (fentes de retrait).

6. La carbonatation, dans ses manifestations, apparaît comme actuelle dans la partie basse de la séquence, mais comme antérieure à l'assèchement récent dans la partie haute.

L'examen en 1964-1965 des cultures de blé, de maïs (état végétatif, enracinement, récoltes) montre que la fertilité actuelle des sols de la séquence P. 27 est élevée. Depuis l'assèchement du polder, les sols de P. 27 ont relativement peu "souffert" de l'action des processus cités ; leur niveau de salinité est encore très compatible avec la culture du blé ; la structure reste excellente. Cette séquence bénéficie d'une élimination naturelle de sels : la nappe phréatique est réalimentée par des eaux d'infiltration, un écoulement vers l'Est entraîne dans cette direction une partie des sels. La fertilité de ces sols 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.

## **2.3 - Les autres séquences de sols**

### **2.3.1 - INTRODUCTION**

Trois autres séquences de sols, à nappe phréatique peu profonde, furent étudiées dans le même esprit que P. 27. Deux de ces séquences correspondent à des nappes moyennement salées (1,5 à 3 g/l), la troisième à une nappe fortement salée (3 à 5 g/l).

Seuls seront présentés dans ce chapitre les observations ou résultats ayant trait au processus d'Halomorphie, à ses divers aspects en fonction de la nature chimique de la nappe en particulier. Le plan sera le suivant :

- la nappe phréatique : divers types de nappes ; relation entre leur niveau de salinité et leur composition chimique.
- les sols : relation entre le type d'halomorphie du sol et le type de salinité de la nappe. En particulier, cas des sols à alcalis, à carbonates de sodium.
- influence de l'halomorphie sur la fertilité des sols.
- conclusions d'ordre agronomique.

### 2.3.2. - LA NAPPE PHREATIQUE : relation entre son niveau de salinité et sa composition chimique.

Dix prélèvements d'eau ont été effectués le long des séquences étudiées. La gamme des salinités globales de la nappe s'étend de 0,2 g/l à 6 g/l de sel. Ces eaux peuvent être classées ainsi :

- nappes de salinité faible (moins de 0,6 g/l). Sels dominants : bicarbonate de calcium, et ensuite bicarbonate de sodium : Cas de la séquence P. 27, étudiée précédemment.
- nappes de salinité moyenne (0,6 à 3 g/l). Deux types chimiques assez distincts :
  - a) nappes à sulfates de calcium, puis sulfates de sodium, dominants ; (pH = 8, 2) : Cas de la séquence P. 46.
  - b) nappes à bicarbonates (et carbonates) de sodium dominants avec, en moindre quantité, des sulfates de sodium. Très peu de calcium soluble ; (pH de 8,5 à 8,8) : Cas de la séquence T.4.
- nappes de salinité forte (3 à 5,5 g/l) ; le sulfate de sodium est dominant, avec encore des bicarbonates de sodium. Présence de calcium soluble ; (pH de 7,9).

Le tableau ci-dessous présente trois de ces analyses et, en parallèle, l'analyse de deux "salants" blancs, efflorescences de surface, prélevées aux mêmes emplacements. On remarque une analogie entre le type de composition chimique de la nappe et celui des efflorescences.

Ions en m.e/l.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Somme	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Somme	pH	S. A. R.
Nappe phréatique P. 17 (type sulfate de sodium)	25,8	13,2	1,4	41,0	81,4	58,3	3,8	13,0	71,1	7,3	9
Nappe phréatique T.4. n° 1 n° 2 type bicarbonate de sodium)	4,4 4,8	2,0 2,8	1,2 1,0	35,0 52,0	42,6 60,6	9,0 17,0	1,0 2,0	30,0 46,0	40,0 65,0	8,5 8,8	19,5 27,0
me./100 g salant blanc P. 17	14	88	40	790	932	850		326	1176	9,6	
Salant blanc T. 4	7	2	10	640	659	311		536	847	9,5	

Il est rappelé le sens de la notation S.A.R. : 
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Les résultats sont encore trop peu nombreux pour donner à cette classification une valeur autre qu'indicative. En particulier, une nappe fortement salée, où les bicarbonates restent dominants par rapport aux sulfates, a été observée. Il est également à noter que ces divers types de nappe ont, à l'intérieur d'un même polder, des répartitions géographiques bien définies. Ainsi, les nappes à sulfate de sodium dominant sont localisées aux bordures Est et Sud-Est du polder Guini, là où morphologiquement on observe parfois à faible profondeur un horizon enrichi en une matière organique peu décomposée accusant une odeur d' $H_2S$ .

### 2.3.3 - LES SOLS : relation entre le type d'halomorphie du sol et le type de salinité de la nappe.

#### 2.3.3.1 - Sols halomorphes, salins, à efflorescences de surface.

A une nappe phréatique peu profonde, fortement salée (3 à 6 g/l) avec dominance des sulfates parmi les anions, correspondent des sols halomorphes, salins, à efflorescences blanches ou blanc brunâtre, en surface. C'est ce qui est observé le long de la séquence P. 17, séquence où la nappe est très peu profonde (entre 0 et 100 cm suivant l'endroit et la saison). Dès le mois de novembre (alors que le niveau de la nappe baisse depuis octobre), des efflorescences, blanches ou blanc brunâtre apparaissent sur toutes les surfaces dénudées et forment des croûtes de 0,3 à 1 cm d'épaisseur, parfois boursouflées. Le pH de ces sols reste de 8,0 à 8,5 toute l'année, dans l'horizon 0 - 10 cm. Il n'y a aucun signe ni morphologique, ni analytique d'alcalinisation dans les profils observés.

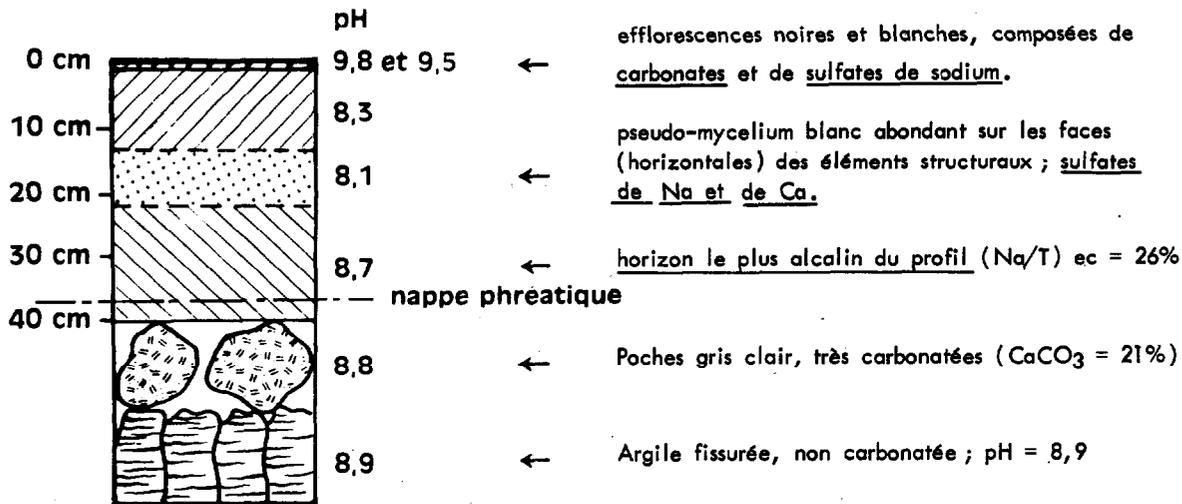
Dans les polders de Bol, on peut associer aux nappes fortement salées des sols halomorphes salins. Il en est de même pour la majorité des sols sur nappe moyennement salée (1 à 3 g/l) : les phénomènes d'accumulation de sels en surface, de formation d'efflorescences, prennent alors un aspect plus ou moins spectaculaire suivant la position topographique, le mode d'utilisation du sol. Mais quelques sols, correspondant à une nappe de salinité moyenne, offrent des particularités qui seront citées :

#### 2.3.3.2 - Sols halomorphes, salés à alcalis, à carbonate de sodium.

Ces sols ont été observés au niveau de la séquence T.4. La nappe, peu profonde, a un caractère alcalin (voir tableau précédent). Sous son influence se développent des sols caractérisés en particulier par :

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

En partie haute de la séquence (nappe proche de la surface, car alimentée par une source) la succession des horizons se présente ainsi :



Les sels sont donc observés dans ce profil, du bas vers le haut dans l'ordre : CaCO<sub>3</sub> , CaSO<sub>4</sub> et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , et enfin Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> . Les sols de cette séquence, décrits ici très sommairement, furent classés comme sols HALOMORPHES, non lessivés à alcalis, très salés (avec présence de carbonate de sodium).

Il est à noter que la structure de ces profils est peu dégradée, et qu'il n'y a pas de structure poudreuse. Ceci serait dû aux caractères très particuliers du matériau, au degré de développement et à la stabilité de sa structure en particulier.

### 2.3.4 - FERTILITÉ DES SOLS.

L'halomorphie, en 10 ou 15 ans (depuis la création des 2 polders de Bol Guini et Bol Bérim) a agi comme un élément de différenciation de la valeur agronomique des sols, valeur élevée au départ.

#### 2.3.4.1 - Sols faiblement salés, correspondant à une nappe peu salée.

C'est le cas des sols de la séquence P. 27, étudiée dans la première partie : en bordure ouest du polder Guini, sur une bande de terrain large de 100 à 200 m, la salinisation du sol est faible, l'alcalinisation nulle ; la nappe phréatique est alimentée par des eaux d'infiltration faiblement salées (moins de 1 g de sel par litre) et cette salinité n'augmente pas d'année en année. Un écoulement de la nappe vers l'Est entraîne en effet les sels dans cette direction. Ces sols ont donc gardé une excellente fertilité.

#### 2.3.4.2 - Sols halomorphes, salins, à efflorescences de surface.

C'est le cas des sols de la séquence P. 17. Une nappe très salée (3 à 5,5 g/l) proche du sol, des sols très salés, laissent supposer une fertilité faible : les parties basses et médianes de la séquence ne sont effectivement jamais cultivées.

Par contre, en haut de séquence une culture de blé a été 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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ) ; 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 racines 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, vu 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 mmho seulement) , et la mise en place d'un système de drainage (complexe vu l'absence d'écoulement naturel).

### **2.3.4.3 - Sols halomorphes, salés à alcalis, à carbonate de sodium.**

La séquence T. 4 correspond à une large tache de sols salés à alcalis, abandonnée par les paysans. La remise en valeur de ces terres supposerait une irrigation avec des eaux moins alcalines que celles de la nappe phréatique locale (dont le S.A.R. est compris entre 20 et 30). Dans une première phase cette irrigation aurait un effet dégradant plutôt qu'améliorant, puisqu'elle lessiverait les sels.

Mais la description des profils de ce secteur a montré que la structure de ces sols n'était actuellement que partiellement dégradée et restait prismatique à fentes de retrait en profondeur. On peut penser que cette bonne structure à la base des profils permettrait un bon drainage (à mettre en place) et que, la forte teneur en matière organique aidant, il n'y aurait pas besoin de faire appel à un amendement.

### **2.3.5 - CONCLUSION D'ORDRE AGRONOMIQUE.**

Les polders Guini et Bérim seront probablement, dans les quelques années à venir, cultivés dans le cadre traditionnel de l'agriculture "au chaddouf", c'est-à-dire avec une irrigation avec eaux de la nappe, sans réseau de drainage. Pour limiter les pertes de fertilité dues à l'halomorphie, les quelques remarques suivantes sont proposées :

— Dans les zones où la nappe phréatique est faiblement salée et où sa conductivité n'augmente que très faiblement d'année en année (pour des raisons d'évacuation latérale des sels), prévoir une irrigation en excès partout où le blé souffrirait de la salinité (ce qui est encore rare). Cette remarque est valable en particulier sur la bordure ouest du polder Guini.

— Dans les parties basses des polders, 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 come Sud-Ouest, et sur la bordure est du polder Guini (zone soit de sols salés à alcalis, soit véritable "réservoir" des sels venant des autres parties du polder).

— Dans les zones où la nappe phréatique est moyennement salée (1 à 2 g/l), assez profonde (50 à 150 cm), à caractère salin (pH de 7,5 à 7,8) il est souhaitable d'intensifier l'irrigation.

Les zones nord des deux polders sont dans ce cas. Ces zones ne sont pas, actuellement, cultivées pendant une période assez longue durant l'année. Une irrigation plus intense le permettrait. La structure

du sol étant excellente et stable, l'eau de la nappe non alcaline (S.A.R. de l'ordre de 10), le seul danger est celui d'une salinisation progressive, danger inévitable avec le système actuel, mais qui n'altérerait pas les qualités intrinsèques du matériau.

### 3. CONCLUSION : LES TRAITS DOMINANTS DE L'ÉTUDE

— 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.

— Cette nappe, plus ou moins salée (teneur en sels comprise entre 0,2 et 5 g/l), provoque également des phénomènes d'halomorphie et de carbonatation.

— Du point de vue de l'halomorphie, les sols des polders de Bol sont le plus souvent des sols salins, à accumulation de sels en surface durant la saison sèche. Ces mêmes sols sont lessivés vers la nappe en saison des pluies.

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.

— Dans certaines conditions : nappe moyennement salée, à caractère alcalin, alimentée par des eaux elles-mêmes alcalines, se développent des sols salés à alcalis, à carbonates de sodium.

— Les manifestations de la carbonatation sont observées en particulier dans les parties hautes, de bordure, des polders. Dans les parties basses, la carbonatation, moins intense, peut être liée à l'action de la nappe actuelle.

— La nappe phréatique du polder, alimentée plus ou moins directement par les eaux du Lac Tchad dépose des sels dans un ordre donné qui paraît le suivant : carbonates de calcium sur les bordures ; bicarbonates de sodium, sulfates de calcium et de sodium vers les parties centrales.

Les phénomènes liés à l'action d'une nappe (nappe en rapport avec les eaux du Lac), décrits ici à l'échelle des polders de Bol, se sont probablement manifestés également à l'échelle des surfaces anciennement couvertes par les extensions différentes de l'histoire géologique du Lac Tchad, c'est-à-dire sur des surfaces considérables.

## ANNEXE

### MÉTHODES ANALYTIQUES EMPLOYÉES

#### 1. 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 h, 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  $\text{CaCl}_2$  à pH 7 ; percolation avec 500 cc de  $\text{KNO}_3$  ; 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 cm<sup>3</sup> au niveau étudié). Passage 24 h 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 h.
- **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 h, 20 h, 43 h.

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

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) - 1963 - La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. Sols afr. IX, 1, pp. 97-105.
- BARBEAU (J.) - 1956 - Notice explicative sur la feuille Fort-Lamy. Gouv. Général de l'A.E.F., Paris, 35 p. + 1 carte au 1/1 000 000.
- BILLON (B.), CALLEDE (J.), SABATIER (J.) - 1963 - Etude hydroclimatologique des polders de la région de Bol. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 69 p. multigr.
- BOUCHARDEAU (A.), LEFEVRE (R.) - 1957 - Monographie du Lac Tchad. Tome I. Ed. provisoire O.R.S.T.O.M., Com. Sci., Logone Tchad, Fort-Lamy. 112 p.
- Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy - 1965 - Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Campagne 1963. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 97 p. multigr.
- CHEVERRY (C.) - 1964 - Caractérisation de quelques sols de la région de Bol. Etude de 2 séquences de sols. I. Sur sables dunaires. II. Sur argile des polders. Centre O.R.S.T.O.M. Fort-Lamy, 72 p. multigr.
- DIELEMAN (P.J.), DE RIDDER (N.A.) - 1963 - Studies of salt and water movement in the Bol-Guini palder, Chad Republic. J. Hydrol., 1, 4, pp. 311-343.
- ETATS-UNIS SALINITY LABORATORY STAFF - 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Agriculture handbook n° 60, Washington, VIII - 160 p.
- FRANZ (H.) - 1958 - Boden und wasserwirtschaftliche Probleme im Tschad-gebiet. Oesterreichische Wasserwirtschaft, Jahr 10, pp. 48-51.
- GUICHARD (E.), LEPOUTRE (B.), BOUTEYRE (G.) - 1959 - Etude pédologique des polders de Bol et de Bol-Guini. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 75 p. multigr.
- HENIN (S.) - 1960 - Le profil cultural. S.E.I.A., Paris, XXIV - 320 p.
- KOVDA (V.A.) - 1964 - Alkaline soda-saline soils. Symposium on sodic soils Budapest, pp. 15-48.
- PIAS (J.), GUICHARD (E.) - 1958 - Etude pédologique des rives du Lac Tchad de Djimtilo à Bol et du sillon du Bahr el Ghazal, de Massakory à Moussoro (Rép. du Tchad). O.R.S.T.O.M., Com. Sci., Logone, Tchad, Fort-Lamy, 161 p. multigr.
- PIAS (J.), BARBERY (J.) - 1960 - Evolution de la salinité dans le polder de Bol-Guini en 1959-1960. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 106 p. multigr.
- PIAS (J.), BARBERY (J.) - 1961 - Evolution de la salinité dans le polder de Bol-Guini en 1960-1961. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 58 p. multigr.
- PIAS (J.), SABATIER (J.) - 1964 - Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. 1962. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 144 p. multigr.
- PIPER (A.M.) - 1944 - A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Trans. Amer. Geoph. Union, pp. 914-929.
- SCHOELLER (H.) - 1958 - L'interprétation des analyses chimiques des eaux salées. Les problèmes de la salinité dans les régions arides. Actes du Colloque de Téhéran. UNESCO. Recherches sur la zone

aride, XIV, Paris, pp. 61-71.

SOGETHA - 1963 — Etude d'un polder expérimental dans la région de Bol. Etudes préliminaires. Rapport de synthèse. Avant-Projets.

WHITTIG (L.D.), JANITZKY (P.) - 1963 — Mechanisms of formation of sodium carbonate in soils. J. Soil Sci., XIV, 2, pp. 322-333.