

**NOTES TECHNIQUES
DU CENTRE ORSTOM
DE N'DJAMÉNA**

N° 3

**LES POLDERS DU LAC TCHAD
MILIEU NATUREL ET FORMATION DES SOLS
CONSEQUENCES DE LA SECHERESSE**



M. RIEU

LA RECHERCHE DE BASE AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT

LES POLDERS DU LAC TCHAD
MILIEU NATUREL ET FORMATION DES SOLS
CONSEQUENCES DE LA SECHERESSE

par
M. RIEU

LE MILIEU NATUREL

Le lac Tchad et les Polders

Le lac Tchad occupe un des points bas de la cuvette tchadienne, le point le plus bas étant situé plus au nord, au-delà du Bahr el Gazal. Il s'agit d'une lame d'eau de 2 à 6 m d'épaisseur, qui couvre une superficie variable suivant les conditions de son alimentation. La cote moyenne du plan d'eau est de 281 à 282 m.

Au nord-est du lac, un champ de dunes (erg) est partiellement ennoyé : il en résulte un relief en flots émergés et dépressions interdunaires inondées. Par analogie avec les dépôts marins côtiers, la création de polders consiste à isoler certaines de ces dépressions par des barrages (en sable) et à les assécher.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 7483 ep 2
Cote A

Le climat

C'est un climat subaride, sahélien à sub-désertique, caractérisé par une courte saison des pluies (juillet-septembre) et une longue saison sèche (octobre-juin).

La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 300 mm. Au cours des dernières années une baisse importante doit être notée : 202 mm en 1971, 98,6 mm en 1972 et 182,8 mm en 1973. Par contre, la saison des pluies a été normale en 1974.

Les températures ne dépassent que rarement 40 °C et sont assez fortement contrastées avec des amplitudes de l'ordre de 20 °C en saison sèche et 10 à 15 °C en saison des pluies. La température moyenne annuelle est de 28 °C.

L'évaporation est très forte : 2 200 mm/an à la surface du lac et 2 200 mm pour un sol sous couvert végétal continu et constamment alimenté en eau (évapotranspiration potentielle). On voit aisément que l'évolution des sols de la région sera dominée par les phénomènes évaporatoires, puisque la différence entre le potentiel d'évaporation et les précipitations (déficit hydrique) atteint 1 900 mm.

L'héritage sédimentaire

La bordure nord-est du lac Tchad est constituée dans sa partie supérieure par les dépôts suivants (de haut en bas) :

- Des vases disposées en lits plus ou moins riches en matière organique, sur une épaisseur de 40 cm environ ;

- Des argiles "structurées" en polyèdres plus ou moins anguleux, sur 1 à 4 m d'épaisseur. Sur les 20 à 40 cm supérieurs, les polyèdres deviennent de plus en plus petits et arrondis, assez souvent enrichis en calcaire ;

- Des argiles "molles" grises à gris bleu, sur 3 m en moyenne ;

- Des argiles limoneuses gris verdâtre, sur plusieurs mètres d'épaisseur.

Les sols de polders se développent sur cette formation qui correspond à une série lacustre, géologiquement récente, dont les dépôts ont commencé 9 000 ans avant l'époque actuelle.

Dans ces niveaux sédimentaires, les teneurs en matière organique peuvent atteindre 4 à 25 % du poids de terre sèche. Les structures et le dépôt de carbonates se sont développés lors des régressions lacustres (évaporation et dessiccation). L'ensemble des sédiments est initialement peu salé.

Répartition et salinité des eaux souterraines

On rencontre toujours dans les polders une nappe phréatique à faible profondeur (0,5 à 2,5 m). On pourrait penser que cette nappe est en relation avec le plan d'eau du lac. En fait, des mesures ont montré que les phénomènes d'infiltration sont limités. Le lac n'imprègne qu'une frange assez étroite et l'influence des eaux météoriques devient rapidement prépondérantes dès la bordure des polders. L'alimentation en eau de la nappe superficielle des polders (argiles structurées) se fait soit latéralement par les bordures dunaires (biseaux sableux), soit verticalement à travers les argiles sous lesquelles la nappe est souvent en charge.

Il existe en réalité trois aquifères superposés (fig. 1) :

La nappe phréatique dans 60 à 80 m de sables éoliens contenant des lentilles d'argile. (Série des Soulias). Un niveau imperméable (série argileuse de 200 à 400 m) la sépare de :

La nappe de base (75 m de sables fluviatiles) localement artésienne.

La nappe artésienne du Continental Terminal se situe dans 200 à 300 m de sable fluviatile à couches argileuses. Le sol cristallin se trouve à - 673 m.

Les eaux du lac communiquent directement avec cet ensemble. La proportion des eaux lacustres augmente avec la profondeur.

Du point de vue de la salinité, les eaux du lac dans la région de Bol sont faiblement salées (0,1 à 0,15 g/l), essentiellement bicarbonatées calciques. La nappe phréatique sous-dunaire, peu salée en surface (0,15 g/l) est plus salée en profondeur (1,5 g/l). Les eaux sont le plus souvent bicarbonatées calciques ou sodiques.

La nappe phréatique des argiles structurées (polders) a une salinité variable (de 0,5 à plus de 8 g/l). Par l'intermédiaire du sol, la nappe est en contact avec l'atmosphère et les phénomènes de remontées capillaires et d'évaporation peuvent localement provoquer des concentrations salines importantes. Cette nappe est souvent riche en sulfates. Ces derniers semblent provenir de la dissolution de sulfates contenus dans les lentilles argileuses sous-dunaires, en particulier à quelques mètres au-dessus du niveau des polders.

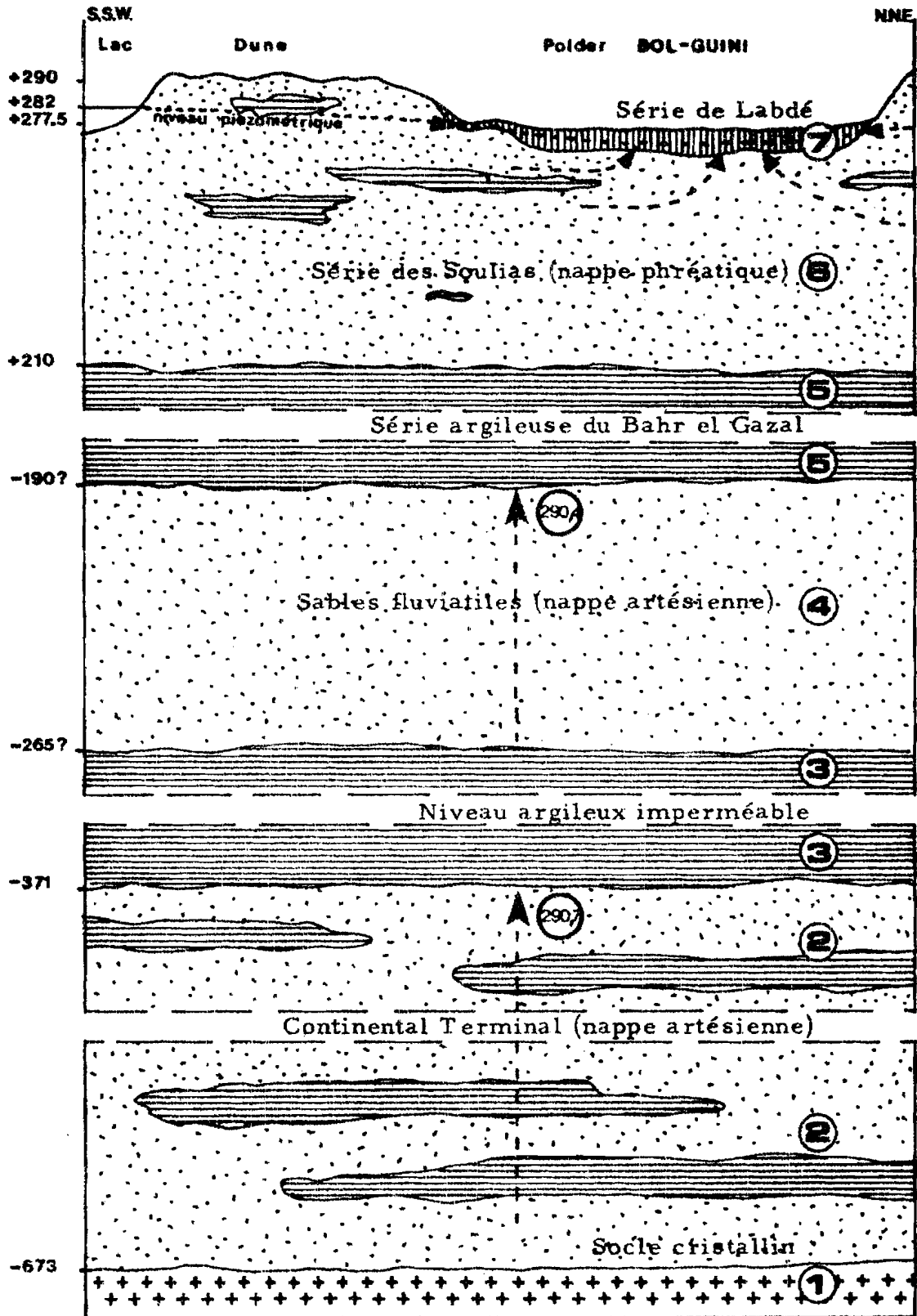


Fig. 1 : Coupe schématique du polder de BOL-GUINI

LA POLDERISATION

Formation et dynamique des sols de polders

Après fermeture d'un barrage, le bras du lac ainsi isolé s'assèche. Les eaux résiduelles laissent en s'évaporant un dépôt de sels à la surface du sol (carbonates de sodium et de calcium).

Le sédiment saturé d'eau s'assèche à son tour, un réseau de fentes de retrait s'ouvre dans les vases, la nappe phréatique peu profonde est en équilibre avec l'atmosphère. L'eau de cette nappe remonte par capillarité à travers le sol, entraînant vers la surface les sels solubles contenus dans le sédiment. Il se produit dans la partie supérieure du sol des échanges chimiques dont le résultat essentiel est le remplacement du carbonate de sodium, abandonné par les eaux lacustres, par du carbonate de calcium et du sulfate de sodium. Ces deux sels "neutres" sont bien moins néfastes aux cultures que le carbonate de sodium, sel "alcalin".

Parfois, le mécanisme précédent ne joue pas. En effet, si les eaux résiduelles séjournent trop longtemps dans le bras de lac en cours d'assèchement, il se produit une trop forte accumulation de sels alcalins et une basicité excessive du sédiment encore saturé d'eau fortement alcaline. Il en résulte des modifications physiques irréversibles telles que la dispersion des argiles * et par suite la destruction des agrégats avec perte de la structure héritée (argiles "structurées") et comme conséquence une très faible possibilité d'aération du sol.

Un tel sol est inutilisable pour la culture. Son amélioration est très difficile et onéreuse. En général, il tend à devenir de plus en plus compact et alcalin. A la longue, il évolue vers le type de sol que l'on rencontre dans les "natronnières" de la région.

* Système dans lequel les particules fines sont en suspension dans un fluide.

Dans la plupart des cas, on peut assécher le polder nouvellement créé en un temps suffisamment bref pour éviter la détérioration initiale du sol. On dispose ainsi de terres bien aérées, riches en matière organique et éléments minéraux, d'un travail aisé et avec une topographie plane.

La dynamique de ces sols est réglée par deux facteurs essentiels :

- la proximité de la nappe phréatique à faible profondeur (2 à 3 m maximum) ;
- le climat (forte évaporation, pluviométrie faible et concentrée en trois mois).

En saison sèche, le régime des remontées capillaires à partir de la nappe s'établit. Ce processus peut être à l'origine de concentrations salines importantes à proximité de la surface du sol. En effet, la nappe étant salée, les eaux qui remontent par capillarité sont chargées en sels dissous. Au fur et à mesure que la frange capillaire approche de la surface, l'évaporation est plus importante ; l'eau devient plus concentrée et les sels cristallisent dans le sol. Fort heureusement, dans les polders du lac Tchad, la partie superficielle du sol se disperse naturellement en fragments très fins. Ce niveau de "mulch" signifie une rupture des capillaires du sol à quelques dizaines de cm de la surface. Le contact entre l'atmosphère et la frange capillaire est ainsi limité, l'évaporation moins intense et la salinisation du sol moins importante.

En saison des pluies, les eaux météoriques percolent à travers le niveau de "mulch" qu'elles lessivent. Elles empruntent ensuite le réseau de fentes des argiles "structurées" lavant les agrégats et les prismes des sels déposés pendant la saison sèche et rejoignent la nappe qu'elles ressalent.

Mise en cultures et irrigation

La nappe phréatique d'un polder est en général trop profonde pour permettre une alimentation en eau suffisante au moment des semis. Il faut donc irriguer. Par la suite les racines se développent vers la profondeur et rejoignent un niveau assez humide pour assurer un développement végétatif normal sans apport d'eau artificiel.

Traditionnellement, le système d'irrigation pratiqué consiste à aménager le terrain en rigoles et petits carrés de 1 à 2 m de côté limités par une diguette. On inonde régulièrement ces petites parcelles avec de l'eau tirée d'un puits grâce à un balancier (Chadouf). Ce système présente deux inconvénients, liés au faible débit d'eau : on est obligé de se limiter à des parcelles exiguës, ce qui correspond à une perte de surface cultivable importante et surtout l'eau n'est pas apportée assez rapidement pour permettre un bon lessivage du sol, ce qui peut entraîner une rapide salinisation de la surface du sol.

Sur les polders de Bol, la SODELAC pratique une irrigation à grande échelle grâce à un ensemble d'unités de pompage et de canaux. Il s'agit d'irrigation par submersion. L'aspersion peut être aussi envisagée.

Dans la plupart des cas, les eaux de la nappe phréatique sont assez peu salées pour que leur utilisation en irrigation soit sans danger pour le sol. L'eau du lac semble aussi apte à cette utilisation. Cependant, un contrôle constant doit être exercé sur la salinité des eaux et du sol, et des précautions doivent être prises notamment en ce qui concerne le drainage et l'élimination des eaux trop salées après lessivage du sol.

La richesse naturelle des sols, leur aptitude à la culture et la présence sur place d'un stock d'eau important confèrent à la région des polders un potentiel agronomique élevé. Les céréales, le coton et les plantes maraîchères peuvent y être cultivées avec des rendements élevés des années durant,

sans apport d'engrais. A titre d'exemple, on notera les rendements obtenus en 1972 malgré une saison des pluies fortement déficitaire, par les "paysans pilotes" des polders de Bol, avec l'encadrement et l'assistance technique de la SODELAC : Coton, rendement maximum : 3 550 kg/ha ; Blé, rendement maximum : 47 q/ha.

LA SECHERESSE DE 1971-1973 ET SES CONSEQUENCES

La zone sahélienne du continent africain a connu ces dernières années un climat exceptionnellement sec. La région du nord-est du lac Tchad n'a pas échappé à ce phénomène général, durant les années 1971, 1972 et 1973.

Diminution des précipitations et approvisionnement du lac

Les valeurs de la pluviométrie annuelle aux stations de N'Djaména, de N'Gouri et Bol pour les rives nord-est du lac, permettent de préciser l'ampleur de la sécheresse.

Sur le tableau ci-dessous figurent les valeurs du déficit pluviométrique par rapport à la moyenne des précipitations pour chaque station :

Station	1970	1971	1972	1973	1974
N'DJAMENA	+ 4.2 %	- 32.5 %	- 1.4 %	- 49.8 %	- 31.5 %
N'GOURI	- 34.7 %	- 40.6 %	- 77.7 %	- 39.7 %	RNP
BOL	+ 10.3 %	- 38.0 %	- 81.1 %	- 54.9 %	+ 29.1 %

Au cours des saisons 1972-1973 et 1973-1974, le Chari a fidèlement enregistré la diminution des pluies sur son bassin versant : à N'Djaména la cote a été inférieure de plusieurs mètres (2,5 à 3,5) par rapport à la normale et le débit à peine égal à la moitié des quantités d'eaux qui arrivent au lac en année normale (40 milliards de m³). La superficie du lac est ainsi passée de 19 000 à 9 000 km². Les marécages ont occupé environ 5 000 km² et la cote à Bol, isolé du reste des eaux libres, a atteint 278,3 m (juillet 1973).

Abaissment des nappes

Le déficit hydrique des sols déjà important en temps normal (1 900 mm/an à Bol) a été fortement augmenté au cours des années 1971-1972. La conséquence pédologique la plus immédiate a été l'abaissement du niveau piézométrique et l'assèchement du sol sur une épaisseur plus importante.

Sur le plan régional, l'abaissement du niveau piézométrique peut être estimé grâce aux fluctuations du niveau de l'eau dans les puits de la zone considérée. Les valeurs reportées ci-après concernent sept régions comprises entre les parallèles 13 et 15 et les 14 et 18ème degrés Est.

Région	Dates de visite	Points de mesure	Fluctuation
ARAK 14° 52' N, 16° 34' E	12/71-1/72-1/73	18	- 1.84 m
SALAL 14° 50' N, 17° 14' E	4/71-2/73	4	- 3.40 m
NOKOU 14° 35' N, 14° 47' E	12/71-1/73	11	- 1.57 m
MOUSSORO 13° 39' N, 16° 30' E	1/71-12/72 3/71-1/73	9	- 1.50 m
MAO 14° 07' N, 15° 19' E	12/71-1/73	7	- 1.49 m
N'GOURI 13° 38' N, 15° 22' E	1/71-3/71-1/73	4	- 1.34 m
AM DJEMENA 13° 6' N, 17° 8' E	4/71-2/73	4	- 3.40 m

Dans les polders de la région de Bol, l'abaissement moyen de la nappe entre mars 1971 et mars 1974 est de 80 cm. Les secteurs des polders qui en 1971 étaient encore couverts par une lame d'eau résiduelle se sont asséchés et la nappe apparaît à 60-100 cm de profondeur. Des sondages effectués dans les secteurs où la nappe se rencontrait à 2 m de profondeur en 1971 ont permis de constater que ;

- la nappe phréatique se trouve actuellement piégée à une profondeur de 2 à 2,5 m dans un niveau argilo-limoneux à très forte capacité de rétention pour l'eau (75 % du poids de sol sec) ;

- une épaisse frange capillaire maintient le sol humide jusqu'à 15 cm environ de la surface ;

- l'humidité du sol est inférieure à sa capacité de rétention au-dessus de 1,20 m de profondeur, ce niveau correspondant à un net abaissement de l'humidité. Vers 80 cm de profondeur un nouvel abaissement ramène celle-ci à 40 % environ. Ces mêmes niveaux de "décrochage" de l'humidité avaient été observés en 1971 à 50 et 35 cm de profondeur respectivement. Il y a donc eu translation de 70 à 80 cm vers la profondeur du "système hydrique" du sol.

Conséquences de l'abaissement des nappes dans les polders de Bol

Conséquences agronomiques

Les conséquences agronomiques de l'abaissement des nappes des polders sont évidentes. Seules les espèces végétales dont le système racinaire peut s'enfoncer au-delà de 120 cm peuvent subsister. Toutefois, l'irrigation étant couramment pratiquée sur les polders, l'agriculture reste possible. Mais le mode traditionnel d'irrigation au "Chadouf" devient délicat sinon impossible si le niveau de l'eau des puits est à plus de 2 m de profondeur. Comme c'est malheureusement le cas de la majeure partie des surfaces cultivables, les cultures ont pratiquement été abandonnées sauf sur les parcelles équipées d'une moto-pompe.

Conséquences physiques

Le rapide abaissement du niveau piézométrique a favorisé la dessiccation des sédiments lacustres constituant le fond des polders. Ces matériaux contenant surtout des argiles gonflantes, leur dessèchement a été accompagné d'une diminution de volume de 30 à 35 %. La surface topographique des polders a été bouleversée et un réseau polygonal de fractures de 5 à 10 m de longueur est apparu. Ces fractures larges d'une cinquantaine de centimètres et profondes de plus d'un mètres, délimitent des effondrements et des bosses d'une amplitude verticale relative à 1 à 2 m. Ce bouleversement de la surface du sol a entraîné la dislocation du réseau de canaux d'irrigation et de drainage des polders.

Conséquences chimiques

a) les nappes

Dans la région de Bol, le degré de minéralisation des nappes sous-dunaires est resté stable. A la bordure ouest du polder de Bol-Guini, les eaux contenaient en mai 1970 463 mg/l de sels, elles en contiennent encore 467 mg/l en mai 1974. Les proportions des différents sels ont légèrement varié : les bicarbonates ont augmenté de 36 % alors que les sulfates ont diminué dans la même proportion.

La salinité des eaux de la nappe phréatique des polders a augmenté. Dans le canal collecteur du polder de Bol-Guini, en relation directe avec la nappe, la teneur en sels est passée de 513 mg/l à 991 mg/l entre mai 1970 et mai 1974, soit une augmentation de 93 %. Dans le centre ouest du polder de Bol-Bérim, la teneur en sels des eaux de la nappe est passée durant la même période, de 686 mg/l à 1 202 mg/l, soit une augmentation de 75 %. Elles sont encore aptes à l'irrigation, si certaines précautions de drainage sont prises.

Dans la région de Bol, il semble donc que les nappes aient connu deux types d'évolution sous l'effet de la sécheresse de ces dernières années. Les nappes sous-dunaires situées sous une épaisseur de sable de l'ordre de 15 m ont suivi la baisse d'ensemble du niveau piézométrique mais ne se sont pas concentrées. Par contre, les nappes des polders, peu profondes, soumises à l'évaporation par le biais des capillaires du sol sont environ deux fois plus minéralisées qu'avant la sécheresse.

b) les sols

L'abaissement du niveau des nappes et l'augmentation de leur degré de minéralisation ont eu une répercussion sur la salinité des sols des polders comme le montre l'analyse d'un profil situé sur la bordure ouest du polder de Bol-Guini, à proximité de la station expérimentale de Matafo.

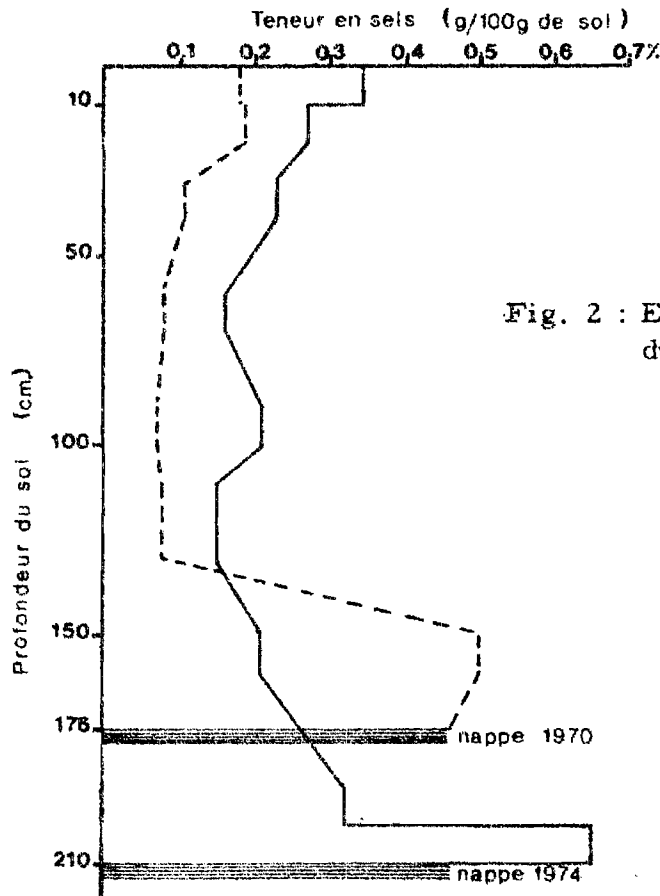


Fig. 2 : Evolution de la salinité des sols durant la sécheresse.

La salinité globale du sol est évaluée par le poids de sels contenus dans 100 g de sol sec. Sur le graphique ci-dessus, on a représenté la proportion de sel (en %) en fonction de la profondeur, entre le niveau de la nappe et la surface du sol. L'aire comprise entre la courbe ainsi obtenue et les axes de coordonnées est une image de la salinité de la tranche de sol correspondante. La comparaison des surfaces correspondant à la salinité du sol en mai 1970 et mai 1974 fait apparaître une augmentation de la teneur globale en sel de 71 % (poids de sel en % de poids de sol sec).

Dans le cas précis, de ce profil, la proportion relative des différents sels n'a pas varié. La forme de deux courbes permet de constater que l'augmentation de la salinité du sol a une double origine : les remontées capillaires à partir d'une nappe de minéralisation croissante ont enrichi chaque niveau en sels (translation latérale de la courbe), mais ces remontées affectant une épaisseur de sol plus importante du fait de l'abaissement de la nappe, la masse de terre salée - donc le stock de sels emmagasinés dans le sol - a augmenté. (étirement vertical de la courbe).

Les résultats analytiques qui précèdent ne concernent que les polders de Bol. On peut cependant sans gros risque d'erreur les extrapoler à l'ensemble des polders de la bordure du lac et aux ouadis non natronés du Kanem, la profondeur des nappes étant du même ordre et le régime hydrique identique.

CONCLUSION

En 1974, les précipitations ont été voisines de la normale. La crue du Chari de 1974-1975 se rapproche de ce qu'elle était en 1970-1971, c'est-à-dire légèrement inférieure à la normale. La remise en eau de la cuvette sud du lac a eu lieu et la surface en eau se rapproche de celle de 1969 (les rives mises en culture en 1974 sont de nouveau en marécages). Fin 1974, les eaux n'ont guère franchi la Grande Barrière et la remise en eau de la cuvette nord n'a pas eu lieu.

Toutefois, rien ne permet de prévoir une remontée rapide du niveau piézométrique, même en bordure du lac Tchad. Les relations lac-nappes sont en effet complexes. Il est donc probable que les modifications, tant chimiques que physiques, subies par les sols se maintiendront durant quelques années. En particulier, les sédiments lacustres, du fait de leur teneur élevée en matière organique, acquièrent au séchage certains caractères qui limitent leur gonflement en cas de réhumectation. En ce sens, les modifications de volume qui ont affecté les sols des polders peuvent être considérés comme des caractères acquis irréversibles.

L'abaissement des nappes, l'augmentation de la salinité des eaux et des sols dus à trois années de sécheresse ne sont pas catastrophiques certes, mais rappellent avec une vigueur accrue l'urgence d'une meilleure connaissance des eaux souterraines de la zone sahélienne du Tchad et du régime hydrique et salin des sols soumis aux fluctuations de nappes salées. Car si on ne peut guère éviter une sécheresse, on pourrait prendre en connaissance de cause les mesures qui évitent des dommages irréremédiables.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- DIELEMAN (P.J.), DE RIDDER (H.A.), 1963 - Expertises sur les mouvements des eaux et du sel dans le polder de Bol-Guini.
Inst. Internat. pour l'amélioration et la mise en valeur des terres.
Wageningen, 50 p.
- CHEVERRY (C.), 1965 - Essai de caractérisation des polders de Bol.
Centre ORSTOM de Fort-Lamy, 120 p. multigr.
- CHEVERRY (C.), 1967 - Note sur la fertilité des sols des polders de Bol après dix années de mise en culture.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., V. 2, pp. 117-135
- CHEVERRY (C.), 1969 - Salinisation et alcalinisation des sols des polders de Bol. Conséquences sur la fertilité et l'aptitude à l'irrigation de ces sols.
Centre ORSTOM de Fort-Lamy, 110 p. multigr.
- FONTES (J.C.), MAGLIONE (G.), ROCHE (M.A.), 1969 - Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure nord-est.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., VI, pp. 17-34
- CHEVERRY (C.), SAYOL (R.), 1971 - Etude des sols des deux polders de Bol-Guini et Bol-Bérim dans leurs relations avec la nappe phréatique sous-jacente.
Centre ORSTOM de Fort-Lamy, 106 p. multigr.
- ANONYME, 1972 - Etude des ressources en eau du bassin du lac Tchad en vue d'un programme de développement. Commission du Bassin du Lac Tchad, Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad - Ressources en eau de surface dans le bassin du lac Tchad.
UNDP/FAO - A.G.L. : DP/RAF/66/579 - Rapport technique,
Rome, 135 p.

ANONYME , 1973 - Rapport sur les principales activités de la station de Matafo jusqu'en 1973. République du Tchad.
SODELAC - SCET Intern., 108 p. multigr.

CHEVERRY (C.), 1974 - Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sols en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques.
Thèse Sci. Nat. Univ. Louis Pasteur - Strasbourg. ORSTOM, Paris, 275 p. multigr.

CHOURET (A.), LEMOALLE (J.), 1974 - Evolution hydrologique du lac Tchad de 1972 à 1974.
Centre ORSTOM de N'Djaména, 12 p. multigr.

ANONYME, 1974 - Liste chronologique des études effectuées par l'ORSTOM en République du Tchad et pour partie dans le bassin du lac Tchad.
Centre ORSTOM de N'Djaména, multigr. 687 réf. 3 index.