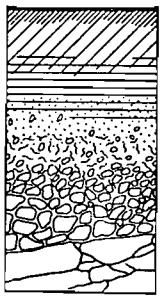
REPUBLIQUE DU TCHAD

SOCIETE DE DEVELOPPEMENT
DE LA REGION DU LAC TCHAD
(Sodelac - Fort-Lamy - Tchad)

N° de Convention ORSTOM : 530.
Origine du Financement : OAA. PNUD.
Exercice Budgétaire concerné : 1970.
Date de parution du rapport : décembre 1971

ETUDE DES SOLS DES DEUX POLDERS DE BOL-GUINI ET BOL-BERIM DANS LEURS RELATIONS AVEC LA NAPPE PHREATIQUE SOUS-JACENTE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE FORT-LAMY

SOCIETE DE DEVELOPPEMENT DE LA
REGION DU LAC TCHAD
(SODELAC - FORT-LAMY TCHAD)

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ETUDE DES SOLS DES DEUX POLDERS DE BOL-GUINI ET BOL-BERIM DANS LEURS RELATIONS AVEC LA NAPPE PHREATIQUE SOUS-JASCENTE

C. CHEVERRY et R. SAYOL

CENTRE ORSTOM de FORT-LAMY

Décembre 1971

S O M M A I R E

Pages

INTRODUCTION..... 7

I. LE VIEILLISSEMENT DES SEDIMENTS LACUSTRES ET SES CONSEQUENCES SUR LA TOPOGRAPHIE, L'EQUILIBRE: NAPPE PHREATIQUE - SOL - ATMOSPHERE : 9

11. Evolution topographique du fond des deux polders 9
12. Les sédiments lacustres superficiels et leur comportement : 9
13. Le vieillissement des sédiments et l'évolution de leur structure. Conséquences sur leur comportement textural, sur l'aération et la circulation de l'eau dans les sols : 16

II. L'HERITAGE BIOGEOCHIMIQUE LAISSE PAR LE LAC AU MOMENT DE SON RETRAIT : ARGILES, MATIERE ORGANIQUE, CARBONATATION ANCIENNE, SELS SOLUBLES : 27

21. Argiles. Analyses par le réactif tri acide : 27
22. La matière organique : 27
23. Le niveau de carbonatation ancienne : 29
24. Les sels solubles : 32

III. LES CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE EN 1970-1971 : RELATIONS AVEC LA NATURE DES SELS DANS LES SOLS CORRESPONDANTS : 35

31. Intérêt de la caractérisation chimique des eaux de la nappe pour l'aménagement des polders : 35
32. Remarques préliminaires. Les moyens mis en oeuvre ... 35
33. Analyse des variations des caractères chimiques de la nappe phréatique le long d'un axe traversant le polder Guini d'Ouest en Est : 37
34. La représentativité à l'échelle des deux polders des types d'eaux ainsi définis : 41
35. Les types d'eaux de la nappe phréatique dans les parties Centre et Sud du polder Bérim : rôle des paysages marécageux : 43
36. Application de cette classification des eaux de la nappe selon des "types d'eaux" à la cartographie de la salure et de l'alcalinisation dans les sols, et au problème de l'origine de ces eaux : 44

Pages

37. Conséquences du drainage naturel observé dans les polders entre 1966 et 1971 sur les caractères chimiques des eaux de la nappe : 45

IV. LA SALURE DES SOLS DES POLDERS. UTILISATION DE LA METHODE DE BAZILEVICH, N.I. : 47

41. Introduction : 47
42. La méthode de BAZILEVICH, N.I. : 47
43. L'application de la méthode de BAZILEVICH à un sol salé du polder Guini : 51
44. Application de la méthode à un sol très faiblement salé du polder Guini : 56
45. Application de la méthode à un sol à carbonate de sodium : 60
46. Extension à l'échelle des deux polders des divers types de sols salés précédemment définis. Introduction à la lecture des calques au 1/5000 de salure et d'alcalinisation : 63
47. Cartographie du polder Guini : 64
48. Cartographie du polder Bérim : 66

V. LE PROBLEME DE L'IRRIGATION AVEC DES EAUX BICARBONATEES : 71

51. La méthode classique d'appréciation de la qualité d'une eau d'irrigation : 71
52. Le problème particulier de l'utilisation des eaux bicarbonatées : 72
53. La méthode de BOWER et al. (1ère partie) : 72
54. Application de cette formule au cas des eaux du Lac et de la nappe : 74
55. La méthode de BOWER et al. (2ème partie) : 74
56. Les conséquences de l'irrigation traditionnelle au chaddouf sur la salure des sols : 76

VI. L'EVOLUTION DES RESERVES ORGANIQUES DES SOLS DES POLDERS. NIVEAU DE CES RESERVES EN 1971 : 79

61. Répartition dans l'espace des teneurs en matières organiques de l'horizon superficiel : 79
62. Le niveau des réserves en matière organique de l'horizon 0-10 cm en 1971 : 81

Pages

VII. CONCLUSIONS SUR L'EVOLUTION PEDOLOGIQUE ACTUELLE DES SOLS DES POLDERS GUINI ET BERIM, DANS UNE OPTIQUE DE MISE EN VALEUR REGIONALE : 83

71. Conséquences favorables du drainage naturel des deux polders depuis 1964 : 83
72. Indications d'ordre pédologique pour une mise en valeur rationnelle des sols de polder : 86

Bibliographie 89

Table des figures 91

Tableaux 91

Cartes hors-texte 92

Annexes.

INTRODUCTION.

Le rapport et les cartes ci-joints ont été réalisés dans le cadre d'une convention établie entre la Société de Développement de la Région du Lac Tchad (SODELAC) et l'ORSTOM, sur financement OAA-PNUD. Les travaux ont été effectués sous la responsabilité de C. CHEVERRY et de R. SAYOL, à partir d'observations, de mesures et de prélèvements recueillis sur le terrain entre 1968 et 1971 et de données analytiques fournies par les laboratoires du Centre ORSTOM de Fort-Lamy (sous la direction de C. BLANCH), des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM (sous la direction de B. DABIN et P. PELLOUX), de l'Institut de Géologie de l'Université de Strasbourg pour la minéralogie.

- Les fonds topographiques utilisés sont : a) les levés des deux polders de Bol Bérim et de Bol Guini effectués en 1958 par l'ATGT, à une échelle 1/5000. b) les levés, au 1/5000 également, de la Direction du Génie Rural en 1966. c) le cheminement effectué en 1970, dans le polder Bérim et dans le cadre de cette convention par J.P. MEDEVILLE.

- on s'est par ailleurs référé aux travaux déjà publiés sur les polders : a) les travaux des pédologues ORSTOM depuis 1955 (GUICHARD, BOUTEYRE, LEPOUTRE, PIAS, CHEVERRY). b) les travaux de DIELEMAN - DE RIDDER (1963), de la SOGETHA (1963). c) les travaux de chercheurs d'autres disciplines de l'ORSTOM : hydrologie, géologie, climatologie. d) les résultats d'observations, agronomiques notamment, communiqués par la Société de Développement du Lac, la Division d'Etudes Agronomiques de la Direction de l'Agriculture, la Société Centrale d'Equipement du Territoire.

Monsieur le Préfet du Lac a suivi avec attention et bienveillance le déroulement de nos travaux. Qu'il en soit ici remercié ainsi que ses collaborateurs et le personnel des organismes précédemment cités, avec lesquels nous avons pu avoir de nombreux et fructueux échanges.

Présentation du rapport.

Il ne pouvait s'agir dans un tel rapport de reprendre l'ensemble des données, pédologiques, agronomiques, climatologiques, hydrogéologiques accumulées depuis 15 ans et déjà publiées sur ces deux polders. Ces données sont en effet fort nombreuses. Il s'agissait plutôt, dans l'esprit du texte de la convention et en fonction des essais d'irrigation-drainage en cours :

- de synthétiser les principales données déjà connues autour de quelques pôles : vieillissement des sédiments lacustres, circulation de l'eau dans le plan vertical (lessivage, remontée capillaire), rôle des variations de profondeur du plan d'eau sur le type de salure des sols correspondants, évolution de la matière organique. Quelques interprétations nouvelles sur ces divers points seront proposées.

- d'actualiser un certain nombre de données essentielles pour la mise en valeur : piézométrie et salure de la nappe, salure et richesse organique des sols. La nappe fut ainsi suivie en 720 points (profondeur, conductivité), analysée chimiquement en 90 points; 167 sols firent l'objet de mesures.

- d'employer de nouvelles méthodes d'appréciation de la toxicité de ces sols (suivant les travaux menés par N.I. BAZILEVICH en URSS (1969), et d'appréciation du danger d'employer pour l'irrigation des eaux bicarbonatées (BOWER et coll, USA, 1968).

I. LE VIEILLISSEMENT DES SEDIMENTS LACUSTRES ET SES CONSEQUENCES SUR LA TOPOGRAPHIE, L'EQUILIBRE : NAPPE PHREATIQUE-SOL-ATMOSPHERE

Le fond des polders bouge et s'affaisse depuis leur création voici 20 ans pour Guini et 17 ans pour Bérim. Il apparaît que :

- le fond des polders n'est pas encore stabilisé.

- l'ampleur des affaissements est très variable suivant le secteur de polder considéré.

- dans un même secteur, on peut observer un véritable vallonnement du fond du polder avec apparition de mamelons de 15-20 m de diamètre, 0,5 à 1 m de dénivelée entre leur sommet et leurs pourtours.

- l'étude de la stratigraphie des sédiments lacustres superficiels exondés par la poldérisation et des phénomènes de vieillissement dont ils sont ensuite l'objet rend compte, dans une certaine mesure, des faits précédents.

11. Evolution topographique du fond des deux polders.

Dans le polder Guini, la comparaison détaillée des cartes topographiques ATGT 1958 et Génie Rural 1966 met en évidence le fait qu'en huit ans l'affaissement n'a jamais dépassé 25 cm et est presque nul dans beaucoup de secteurs.

Dans le polder Bérim, on dispose de trois cartes : 1958-1966 et 1970 (cheminement de 18 km). Il apparaît que l'affaissement est en général plus fort que dans le polder Guini et que le rythme de cet affaissement ne s'est pas ralenti, mais au contraire accéléré depuis 1966.

L'extrême-nord du polder Bérim se serait ainsi affaissé d'environ 125 cm en 15 ans, le secteur Nord de 70 cm, le secteur Centre de 90 cm, le secteur Sud par contre de 20 à 60 cm seulement. Ces valeurs ne sont évidemment qu'indicatives car elles s'appuient sur des rapprochements cartographiques. Mais elles mettent en évidence un phénomène d'ensemble dont la compréhension, les modalités sont à rechercher dans l'étude du comportement des sédiments lacustres lors de leur déssèchement.

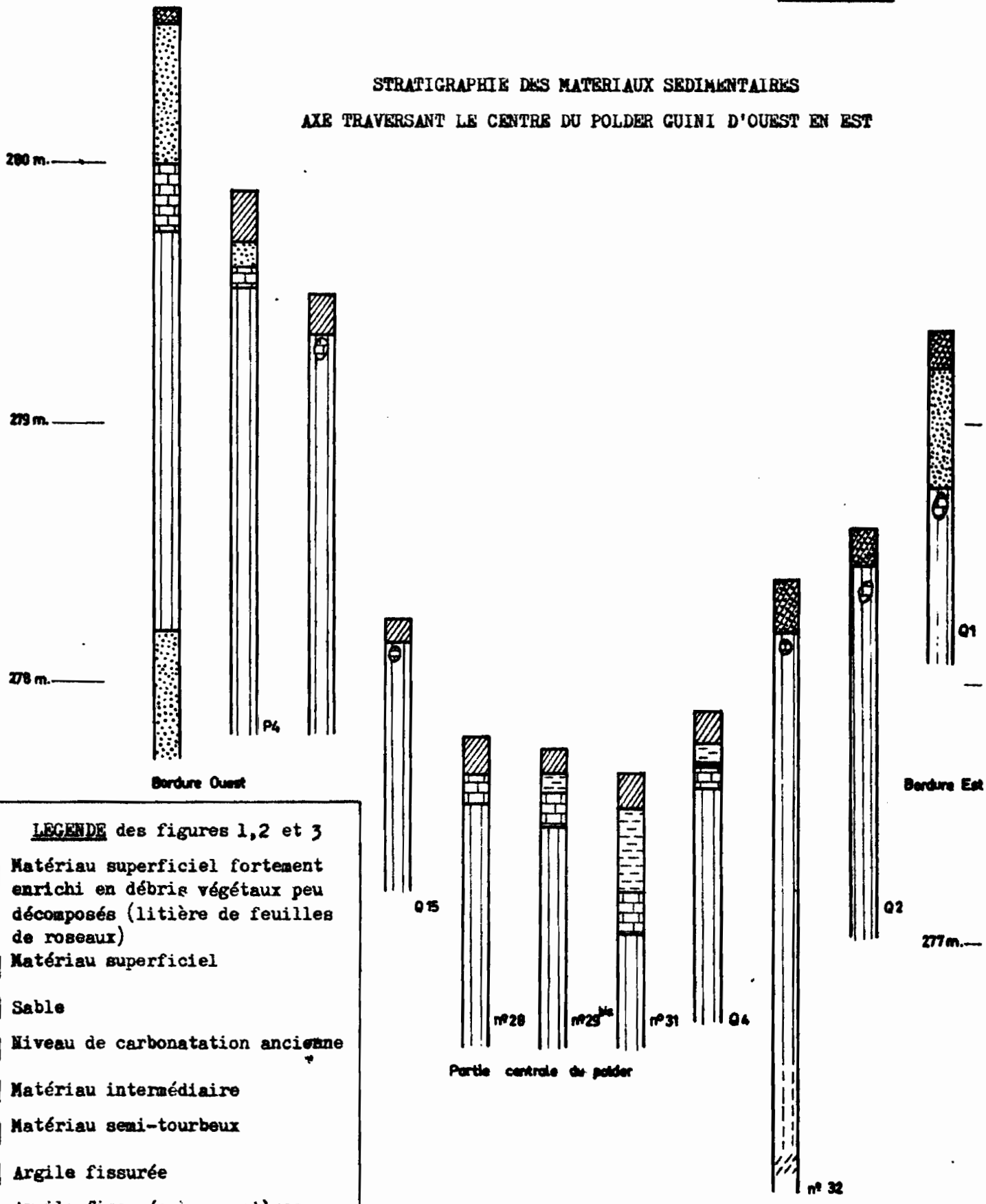
12. Les sédiments lacustres superficiels et leur comportement.

Trois figures (n°s 1, 2 et 3) présentent la stratigraphie de ces matériaux le long de cinq axes recoupant d'Ouest en Est les deux polders. Deux tableaux (I et II) indiquent les variations granulométriques à la verticale de neuf profils. Ces divers matériaux sont emboîtés les uns sur les autres avec une disposition en forme de "bateaux"? (CHEVERRY, 1969, pp. 2 à 15).

Figure n° 1

STRATIGRAPHIE DES MATERIAUX SEDIMENTAIRES

AXE TRAVERSANT LE CENTRE DU POLDER GUINI D'OUEST EN EST



LEGENDE des figures 1,2 et 3

- Matériau superficiel fortement enrichi en débris végétaux peu décomposés (litière de feuilles de roseaux)
- Matériau superficiel
- Sable
- Niveau de carbonatation ancienne
- Matériau intermédiaire
- Matériau semi-tourbeux
- Argile fissurée
- Argile fissurée à caractères intermédiaires avec le matériau limono-verdâtre
- Matériau limono-verdâtre

Altitude : référence IGN 1956 et levé GR 1966

121. Le matériau superficiel.

Ce matériau argileux, localement argilo-sableux (en contre bas des dunes) ou limono-argileux, provient de la maturation de vases lacustres. Au moment de leur exondation, l'humidité de ces vases était de 300 à 450% après ressuyage rapide. On constate qu'après une exposition prolongée au soleil ces vases perdent 50% de leur capacité de rétention et de gonflement et ceci de façon irréversible; ceci a été confirmé expérimentalement (CHEVERRY, 1971, page 22). A cette première maturation correspond un affaissement de 10 à 15 cm.

Mais dans les polders de Guini et de Bérim, cette première étape est atteinte depuis plus de dix ans et ce matériau, partout présent en surface, est "stabilisé", "mûr", son épaisseur se réduisant alors à 10 cm environ. Ses variations volumiques actuelles, liées aux alternances de dessication réhumectation, sont faibles par rapport aux chiffres d'affaissement précédemment cités pour le dessèchement initial. Deux secteurs, d'extension très limitée, font exception : des plages de 25 à 50 hectares au pied des 3e et 2e barrages de Bérim, qui n'avaient jamais été réellement exondées jusqu'en 1970. Un affaissement de 10 cm, pour ce matériau superficiel, est à prévoir.

122. Le matériau intermédiaire et le matériau semi-tourbeux.

Immédiatement sous-jascents, ces matériaux sont plus riches en limon fin et leur structure est à tendance horizontale. Ils sont peu représentés dans les secteurs Nord et Sud de Guini, Nord de Bérim. Dans les secteurs Centre-Est de Guini et Centre de Bérim ils ne sont observés que dans la partie basse et le matériau semi-tourbeux est alors réduit à une ligne ayant au plus 3 à 5 cm d'épaisseur (figure 1 : profils n°s 29 bis, 31, Q4; figure 3 : profils n°s 95, 96, 97). Il en va tout autrement en Bérim Sud où le matériau semi-tourbeux peut avoir jusqu'à 50 cm d'épaisseur, et reste gorgé d'eau par suite de la présence d'une nappe à très faible profondeur (paysages marécageux). Ce matériau perdrait en cas de drainage de ce secteur plus de 80 % de son épaisseur et ceci de façon irréversible : il apparaît en effet que les lignes noires organiques de Guini Centre Est et Bérim Centre, sont bien le résultat de la contraction, du tassement récents d'un matériau type Bérim Sud, ce qui a accentué d'ailleurs le caractère horizontal de leur structure. Donc, dans les phénomènes d'affaissement :

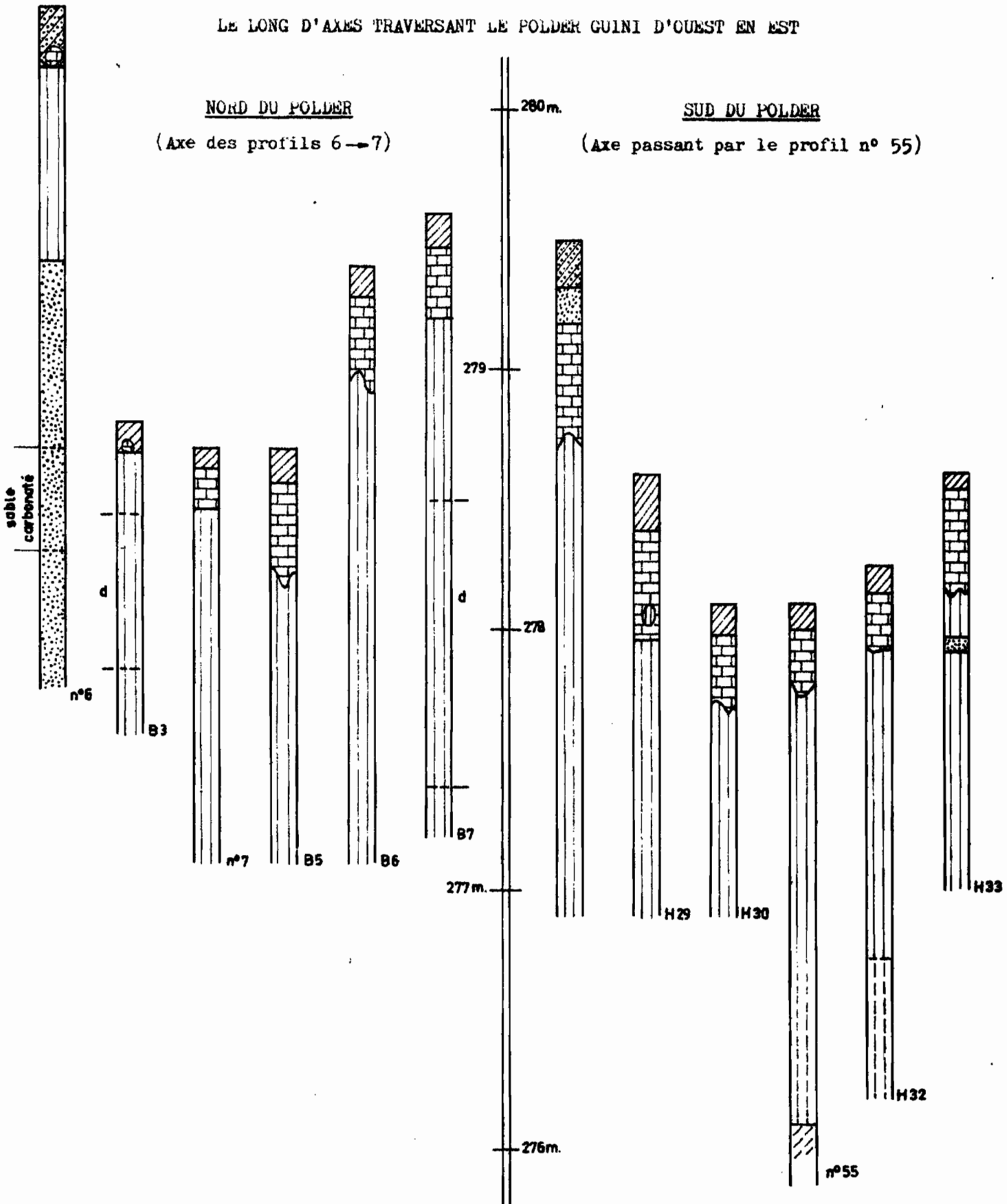
- ces matériaux intermédiaires et semi-tourbeux n'ont joué pratiquement aucun rôle ces dernières années en Guini Nord, Guini Sud et Bérim Nord.

- ils ont provoqué depuis 1963 (niveau maximum du plan d'eau depuis 15 ans) un affaissement de l'ordre de 5 à 15 cm en Guini Centre Est et Bérim Centre, par suite de l'abaissement progressif du niveau de la nappe depuis cette date; mais ils sont proches maintenant, dans ces secteurs, d'un état stabilisé.

Figure n°2

STRATIGRAPHIE DES MATERIAUX SEDIMENTAIRES

LE LONG D'AXES TRAVERSANT LE POLDER GUINI D'OUEST EN EST



Altitude : référence IGN 1956 et levé GR 1966

- ils ne se sont pas encore tassés en Bérim Sud, dont le fond apparaît "suspendu" à une côte encore supérieure à 278,50 m, alors que des fonds tels que ceux de Guini Nord sont nettement au-dessous de 278 m, et même 277,5 m. Il faut rappeler ici que ce sont les infiltrations sous le barrages qui ont empêché ce secteur Bérim Sud de se drainer et par suite les sédiments de mûrir. L'affaissement probable de ces matériaux en cas de drainage peut être estimé à 30-50 cm. Leur extension latérale est difficile à cartographier car ils se sont déposés en phase lacustre d'eaux probablement peu profondes, sur un fond mamelonné. On constate que leur épaisseur varie beaucoup et sur de très courte distance.

123. L'argile fissurée.

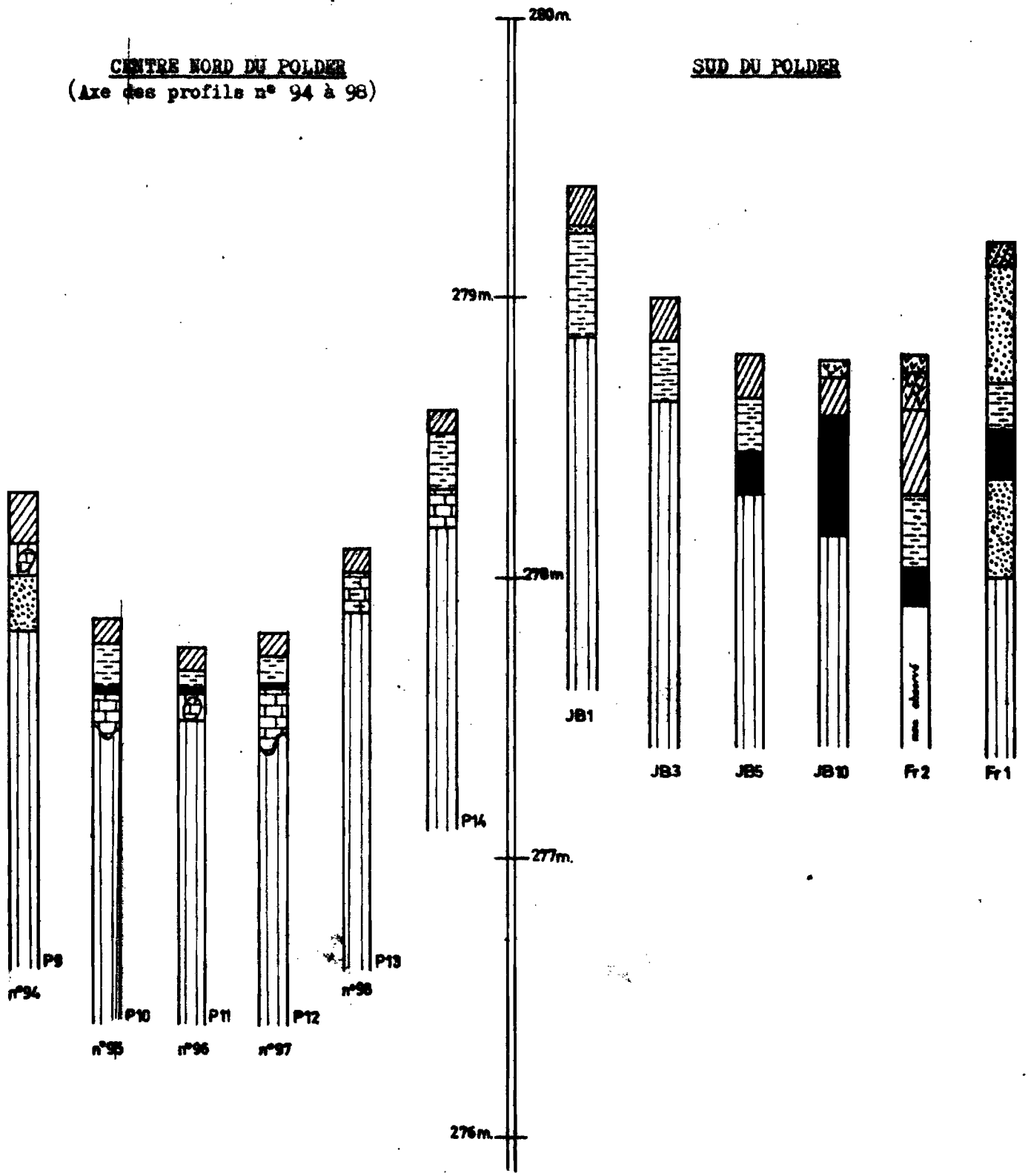
Ce matériau, dont l'épaisseur varie de 120 à 250 cm est homogène par sa teneur en argile (60 à 70 %), et se caractérise par une tendance à prendre une structuration primatique grossière fortement développée. Sa teneur en matière organique diminue du haut vers le bas, alors que la proportion de diatomées augmente. Ont été ainsi définis (CHEVERRY, 1969), des faciès : granuleux, humifères (7 à 12 % M.O.), faiblement humifères (4 à 6 % M.O.), à lits blancs horizontaux (1,5 à 4 % de M.O., les lits sont des diatomées).

Contrairement aux matériaux précédemment décrits, l'argile fissurée n'apparaît pas au moment de l'exondation, comme un matériau de consistance vaseuse, sans structure, gorgé d'eau, mais comme un matériau déjà en grande partie stabilisé. Une expérience a été menée dans ce sens, sur un sol exondé depuis moins de trois mois du polder de Djiboulboul et avec des éléments de 2 faciès de l'argile fissurée (faciès granuleux et faciès humifère) : des agrégats d'argile fissurée sont pris dans leur état initial, n'ayant jamais été dessèchés et étant simplement soumis à un ressuyage rapide (1); puis ils sont soumis à dessication par exposition prolongée au soleil (2) en saison sèche (température à l'ombre : 40°); ils sont enfin réhumectés par immersion prolongée puis soumis à un ressuyage rapide (3). Le tableau ci-dessous rapporte l'humidité (en % de terre sèche) et le volume spécifique apparent approché des agrégats (hygroscopicité estimée à 5 % dans ces diverses conditions :

	(1)		(2)		(3)	
	H	Vsa	H	Vsa	H	Vsa
Argile fissurée faciès granuleux	158	2,0	(5)	0,66	100	1,3
Argile fissurée faciès humifère	169	2,1	(5)	0,67	100	1,45

STRATIGRAPHIE DES MATERIAUX SEDIMENTAIRES

SUD DU POLDER BERDIN



Altitude : référence IGN 1956 et levé GR 1966

Ces résultats montrent que la dessication de l'argile fissurée, pratiquée dans des conditions expérimentales proches de celles du milieu naturel, s'accompagne d'une perte de volume considérable; et que ceci est partiellement irréversible : même après réhumectation par submersion, il persiste encore une diminution de 30 à 35 % du volume initial. On peut également noter au passage la diminution sensible de la rétention pour l'eau.

Une tranche d'argile fissurée de 1,50 m au moment de la poldérisation se réduirait donc à 1 m si cette tranche entière était soumise à une dessication totale (baisse du plan d'eau, saisonnière ou interannuelle) puis à une réhumectation (remontée du niveau de la nappe, capillarité).

Ceci n'a pas été le cas dans ces polders depuis leur existence, mais il est probable que la baisse régulière du niveau de la nappe observée depuis 1963, amenant cette nappe à un niveau minimum record, s'est accompagnée d'un assèchement et d'un affaissement, partiellement irréversibles des argiles fissurées dans les secteurs de polders où la nappe est profonde et ne baigne plus que le pied de cette tranche de matériau en saison sèche (Guini Nord, Sud, Bérim Nord). Des affaissements de l'ordre de 10 à 30 cm sont considérés comme des valeurs simplement indicatives de la part de l'argile fissurée dans le phénomène global.

124. Le matériau "limono-verdâtre".

En profondeur, l'argile fissurée passe très progressivement à un matériau plus limoneux, non structuré initialement, plus riche en matière organique (voir TABLEAU I : granulométrie du profil nº 22 à partir de 140 cm de profondeur). Depuis 1969, et pour la première fois dans l'histoire de ces polders, la frange supérieure de la nappe phréatique est descendue au niveau de ce matériau dans les secteurs où la nappe était la plus profonde par rapport à la surface du sol (Bérim Nord en particulier). On observe alors que le matériau limono-verdâtre acquiert les grands traits de la structure de l'argile fissurée : la position des fentes de retrait est induite par celle des fentes préalables de l'argile sus-jacente. Mais cette structure est nouvelle, acquise. Ce matériau, initialement à très forte capacité de rétention pour l'eau, perd de façon très nette cette capacité par suite du rôle hydrophobe de la matière organique lors du déssèchement. On conçoit donc que les secteurs de polders touchés par l'abaissement de la nappe à ce niveau de leur profil voient le rythme de leur affaissement s'accentuer.

125. Conclusion.

- Les fonds des deux polders ont encore beaucoup bougé, dans le sens d'une subsidence, entre 1966 et 1971 et ceci particulièrement dans les secteurs à nappe profonde (150 cm et plus). L'origine en est attribuée à la baisse, jamais atteinte depuis la création des polders, du niveau de la nappe, à la poursuite du déssèchement des argiles fissurées et surtout au début de déssèchement du matériau limono-verdâtre sous-jacent.

- Le maintien du niveau de la nappe au niveau de l'argile fissurée s'accompagne par contre d'une certaine stabilisation du fond des polders : matériaux superficiel et intermédiaire sont stabilisés; l'argile fissurée ne l'est pas complètement mais garde un équilibre dans la mesure où la nappe ne descend pas au-dessous d'un certain seuil. Ceci pourrait expliquer les variations relativement faibles de la topographie de Guini et de Bérim Nord entre 1958 et 1966.

- Certains secteurs des polders : Bérim Sud, Centre-Est Bérim (face au 3ème barrage) n'en sont pas à ce stade : aucun des matériaux superposés n'est encore stabilisé, tous sont gonflés d'eau. Une subsidence assez brutale devrait être envisagée en cas de drainage artificiel.

13. Le vieillissement des sédiments et l'évolution de leur structure - Conséquence sur leur comportement textural, sur l'aération et la circulation de l'eau dans les sols.

Si le vieillissement des sédiments s'accompagne d'une baisse de la nappe, donc d'un drainage des paysages, tel qu'il a été observé de 1963 à 1969, l'évolution des sédiments va, du point de vue structural, dans le sens :

- d'un développement de plus en plus marqué de ces structures.
- d'une diminution de la taille des éléments structuraux.
- d'une augmentation de la stabilité structurale de ces éléments.

Ceci dans la mesure où les sols conservent un bon drainage interne et n'évoluent pas sur la voie alcaline, avec individualisation de carbonate de sodium (CHEVERRY, 1968, 1969).

131. Tendances structurales des divers matériaux sédimentaires lacustres - Rappels.

La poldérisation livre une série de matériaux sans consistance marquée, sans structure, sans orientation privilégiée, milieux "isotropes" : ce sont les matériaux superficiel et intermédiaire, semi-tourbeux, limono-verdâtre. Mais elle livre aussi un matériau déjà organisé, à structure potentiellement prismatique : l'argile fissurée.

Lors du vieillissement, cette argile fissurée, dont la structure prismatique grossière se confirme, induit l'organisation structurale naissante des matériaux immédiatement sus-jacents ou sous-jacents, si bien que l'ensemble des structures acquises est à tendance dominante verticale.

a) Ceci ne concerne pas toutefois le matériau superficiel. Dans les mois qui suivent l'exondation consécutive à la poldérisation, la première organisation structurale qui apparaît est déterminée par un réseau de fentes de retrait à mailles polygonales, conséquence des forces de rétraction en

milieu isotrope. La deuxième, consécutive, est la désquamation du sol à partir de sa surface. Ces écailles (CHEVERRY, 1971, p. 24), d'1 cm d'épaisseur, et 2 à 7 cm x 2 à 5 cm présentent "une face inférieure constituée d'une série de mamelons juxtaposés qui prédéterminent une sous-structure polyédrique à subanguleuse fine".

C'est cette structure polyédrique à subanguleuse fine qui va rapidement s'individualiser, se développer avec le vieillissement du matériau et qui, sauf en cas de dégradation alcaline, est observée en 1971 dans les polders. Vis à vis du débit d'une pluie violente, ou du débit d'une irrigation, ces éléments se comporteront comme des "pseudo-sables"; avec la persistance de l'excès d'eau, il s'agglomèreront, se prendront en masse même mais un déssèchement ultérieur, un travail de l'homme (type celui de préparation des "carrés" ou des "poquets" dans le mode traditionnel de culture du blé et du maïs) les reconstitueront.

b) L'influence de l'argile fissurée ne touche pas non plus, dans une première étape, le matériau intermédiaire et la semi-tourbe. En vieillissant et en se tassant ces matériaux acquièrent une structure à nette tendance horizontale; les débris végétaux moins décomposés, noircis, en particulier, sont déposés en bancs horizontaux; mais à un stade ultérieur peut apparaître une structure prismatique, induite par la position des fentes de l'argile fissurée sous-jacente.

c) L'argile fissurée joue donc un rôle essentiel. Sa structure prismatique en se développant, "ouvre" le profil, faisant éclater parfois la continuité horizontale des autres matériaux. Lorsque le déssèchement s'accentue, les prismes grossiers se fragmentent successivement en plaquettes, puis en éclats conchoïdaux puis enfin en petits polyèdres à angles très durs (CHEVERRY, 1964). Le litage sédimentaire facilite ce passage par une sous-structure horizontale (plaquettes).

d) A la base des profils, le matériau limono-verdâtre acquiert une structure prismatique d'abord très grossière, induite par l'argile fissurée sus-jacente.

132. Les facteurs favorisant la stabilisation des structures lors du vieillissement - Conséquence sur le comportement textural des matériaux.

Avec le vieillissement et avec un bon drainage interne, on constate que :

- les composés du fer et du manganèse, contenus initialement dans les sédiments à l'état réduit, s'accumulent et s'individualisent à l'état oxydé (hydroxydes) sur les parois des éléments structuraux et en particulier sur les faces verticales des prismes, constituant un "emballage" des structures acquises.

TABLEAU n° I

RESULTATS D'ANALYSES GRANULOMETRIQUES.

Localisation des prélèvements. Numéro du profil.	Profondeur (cm)	MO %	Argile 0-2 µ	Limon fin 2-20µ	Limon gros-sier	Sable fin	Sable gros-sier	Remarques.
Guini Nord	0-7	5,7	22	6	2	39	25	Matériau superficiel à faciès
Bordure du polder	10-20	2,8	31	6	1	38	22	sableux
	20-25	4,4	41	18	2,5	17,5	14,5	Poches de carbonatation ancienne
n° 6	75-85	1,2	73	10	0,5	9	6	Argile fissurée
	100-110	0,3	2	0,5	0,5	47	49	Sables dunaires
	160-170	0,1	1	1	0,5	43	54	"
Guini Centre Nord	0-5	11,5	51	14	2	10	16	Centre du polder. Influence dunaire réduite.
	5-12	12,2	49	13	3	10	13	
n° 16	12-23	11,0	63	17	3	4	5	
	33-56	10,7	70	15	3	4	3	
	75-85	6,7	62	8	2	10	11	
Guini- Ouest	0-7	7,7	32	17	2	24	13	A 100 m de la bordure dunaire. Influence sableuse en surface.
	7-11	7,8	46	15	1	12	13	
n° 22	7-29	8,1	37	21	1	8	18	
	20-30	6,5	59	6	1	18	4	
	50-60	3,6	76	3	0,5	6	3	
	100-110	2,0	60	8	0,5	24	0,5	
	140-150	20,0	38	28	0,5	3	6	
	215-235	15,4	47	18	1	5	7,5	
	255-275	9,9	66	6,5	1	11	1,3	
Guini Centre-Est	0-2	7,9	33	33	3	14	9	Partie basse du polder.
	3-10	6,6	34	32	2	12	16	
n° 36	12-22	7,7	47	24	1	4	18	
	24-32	10,5	51	18	0,5	1,5	17	
	34-42	17,5	21	37	4	10	13	
	46-55	11,9	21	40	3	9	20	
	60-70	7,1	73	3	3	4	8	

- l'association matière minérale - matière organique bien évoluée, à fort pourcentage d'humine, se renforce avec l'assèchement et augmente la stabilité structurale.

Cette consolidation des structures explique la difficulté d'apprécier correctement le comportement textural des divers matériaux en fonction des résultats d'analyses granulométriques. Les résultats présentés sur les TABLEAUX I et II ont été obtenus par une méthode classique : extraction des sels, attaques ménagées à l'eau oxygénée, emploi d'un dispersant pour sol calcaire. Ils sous-estiment le pourcentage réel d'argile, par suite d'une dispersion peu stable, donc d'une surestimation des limons et même des sables au dépend de la fraction la plus fine. Ceci a été confirmé par l'étude détaillée de la fraction obtenue après tamisage et qualifiée de "sables grossiers". Certains de ces sables sont en fait de petites plaquettes d'argile. Cette étude permet de reprendre sommairement la caractérisation granulométrique des divers matériaux.

a) Le matériau superficiel. Sa composition réelle semble de 65 à 70 % d'argile, de 10 % de limon fin. La teneur en limon est très faible. Ces valeurs sont obtenues par l'analyse dans les sols de Bérim Sud, très alcalins, où le carbonate de sodium mobilise la matière organique et où le complexe adsorbant est très sodique, donc se disperse bien. Dans les autres secteurs de polder par contre (profils nos 36, 85, 148), l'argile est sous-estimée et une partie passe en limon et même en sables."In situ" ce matériau argileux se comporte de par sa structure, comme un pseudo-sable. Dans d'autres secteurs enfin, en bordure des dunes notamment, la teneur en véritables sables, fins et grossiers, quartzeux, dunaires, est élevée (profil nos 6, 22, 32).

b) les matériaux intermédiaires et semi-tourbeux sont plus riches en limon fin : 20 à 30 %, avec un rapport argile sur limon fin de 1 à 2 seulement.

c) l'argile fissurée contient de 60 à 70 % d'argile. Ceci apparaît notamment sur les échantillons du faciès à lits de diatomées, faciès relativement pauvre en matière organique (1,5 à 4 %). Tous les sables obtenus après tamisage sont de vrais sables quartzeux. Ce faciès a 72 % d'argile (moyenne de 8 mesures) et un rapport argile/limon fin de 10.

d) le matériau limono-verdâtre est, comme l'indique son nom, nettement plus riche en limon (20 à 30 %).

Ces exemples montrent que si les résultats de l'analyse granulométrique sont fréquemment faussés c'est surtout parce qu'une partie seulement de la matière organique est détruite. La distorsion entre résultats obtenus et résultats théoriques en cas de dispersion idéale est d'autant plus faible que le matériau est pauvre en matière organique ou initialement très alcalin. Mais la distorsion est forte lorsque "in situ" l'argile se comporte dans une certaine mesure comme un "pseudo-sable".

TABLEAU n° II

RESULTATS D'ANALYSES GRANULOMETRIQUES (suite)

Localisation des prélèvements. Numéro du profil	Profondeur (cm)	MO %	Argile	Limon fin	Limon gros-sier	Sable fin	Sable gros-sier	Remarques.
Guini Bordure Est	0-3	9,9	28	9	1,5	23	24	Bas de la dune; forte influence des sables dunaires sur la granulométrie, en particulier en surface.
	3-13	7,6	30	6,5	1	25	25	
n° 32	15-25	6,5	42	9	2	18	20	
	25-35	6,6	52	16	1	9,5	15	
	35-45	5,8	50	6,5	0,5	17,5	19	
	70-80	4,6	47	4	1	38	6	
	100-110	4,7	70	3	1	14	6	
Guini - Sud-Ouest	0-1	11,2	43	28	2	5,5	10	
	1-4	7,9	60	10				
n° 53	4-7	10,1	68	11	1	1,5	1,5	
	7-14	9,1	70	10,5	1	1	1,5	
	14-20	8,6	43	27,5	1	4	15,5	
Bérim Nord	0-5	11,3	42	21	1	5	11	
	7-13	9,9	50	17	1	3,5	8	
n° 85	13-20	9,7	46	22	2	4	7	
	35-45	12,6	56	17	2	3	4	
	60-70	8,0	58	6	2	18	3	
	85-95	6,1	75	5	1	6	2	
	115-130	3,4	76	11	0,5	1	3	
Bérim Centre Sud	0-2	12,0	33	23	2	8	23	
	6-15	8,3	72	11	1	2	3	
n° 148	20-27	23,2	38	20	1	4	15	
	27-38	10,9	49	15	2	13	11	
	40-50	8,2	72	11	0,5	3	2	
Bérim Sud	0-6	5,2	57	17	1	7,	11	
	6-11	4,5	56	17	1	7,5	14	
n° 157	15-25	4,0	76	9	1	3	5	
	30-40	12,6	48	23	1,5	5,5	7	
	45-55	6,7	60	18	1,5	7	6	

On conçoit donc qu'une granulométrie "idéale" n'aurait qu'un intérêt relatif. Elle supposerait des attaques répétées et violentes à l'eau oxygénée détruisant l'intégralité de la matière organique. Or cette matière organique fait partie de l'héritage laissé par le Lac au moment de son retrait.

133. Le vieillissement des sédiments et ses conséquences sur l'aération des sols et sur la circulation de l'eau.

En conditions de bon drainage interne, le vieillissement des sédiments s'accompagne du développement des structures, de leur stabilisation, d'une aération des profils. Ainsi, en avril 1971, dans le profil 22 (Centre-Ouest de Guini), avec une nappe à 205 cm de profondeur, il a été mesuré et calculé que le volume des vides correspondant aux fentes de retrait représentait 18% du volume total entre 40 et 50 cm, 15 % entre 140 et 150 cm (base du matériau argile fissurée). Dans le profil 32 (bordure Est de Guini), ce pourcentage était de 10 % entre 90 et 170 cm. Il en résulte que l'atmosphère de tels sols est encore relativement riche en oxygène et pauvre en gaz carbonique, malgré le caractère très humifère du milieu. Ceci s'avèrera un facteur essentiel de l'interprétation des phénomènes de salure nappe-sols.

Ce vieillissement s'accompagne aussi d'une modification profonde des conditions de circulation de l'eau : remontée capillaire ascendante de l'eau de la nappe, percolation des eaux de pluie ou des eaux d'irrigation, et ceci pour deux raisons :

a) la remontée capillaire est moindre du fait de la rupture mécanique des capillaires en rapport avec la structuration, et du fait des variations des propriétés intrinsèques des matériaux, dont le caractère hydrophobe s'accentue. L'humidité à un pF donné en particulier diminue progressivement avant de se stabiliser. L'exemple du matériau superficiel sera pris : dans un polder de quelques de mois, l'humidité à pF 3 de ce matériau peut dépasser 100 % (si le matériau n'a pas subi de séchage artificiel). Dans les parties marécageuses de Bérim Sud, en présence de carbonate de sodium, cette humidité reste de 80 %. Par contre, en milieu à bon drainage interne, elle est tombée après vingt ans de poldérisation à 45-50 % (matériau superficiel argileux) ou 35-40 % (matériau superficiel contenant des sables dunaires).

b) le vieillissement s'accompagne d'une modification de la géométrie du sol; lorsque le milieu est peu organisé, continu, la composante capillaire est presqu'exclusivement verticale. Lorsqu'il s'organise, les composantes sont encore verticales mais aussi latérales, horizontales, à l'échelle de chaque prisme bien individualisé en particulier. Le contact sol-atmosphère n'est plus la surface du sol mais en plus une série de surfaces internes; ce contact se produit dans des conditions thermiques très différentes et l'évaporation est modifiée dans le sens d'une diminution.

Pour illustrer ces points, un exemple de régime hydrique de sol à bon drainage interne sera décrit.

134. Le régime hydrique en 1970-1971 d'un sol à bon drainage interne, à sédiments "mûrs" (profil nº 22).

L'emplacement de ce profil, situé à 100 m de la bordure Ouest du polder Guini, au Sud de Matafo, avait fait l'objet d'une étude détaillée de profils hydriques durant la saison sèche 1964-65 et la saison des pluies 1965 (CHEVERRY, 1965, pp. 38 à 46 : séquence P. 27, emplacement P2). Cette étude a été poursuivie depuis lors.

a) La figure nº 4 présente le profil hydrique d'un sol de cet emplacement en fin mars 1971, donc 6 mois après le début de la saison sèche; ce profil est comparé à ceux des humidités à pF 2,5 et à pF 3,0 (les données à pF 4,2 n'étant pas disponibles). La nappe est alors à 203 cm de profondeur. On constate à l'examen de cette figure que la remontée capillaire à partir de la nappe joue :

- sur la tranche de matériau limono-verdâtre de 203 à 140 cm. La capacité de rétention de ce matériau pour l'eau est bien supérieure à celle de l'argile fissurée comme déjà indiqué dans l'étude du problème de l'affaissement du fond des polders.

- sur la tranche du matériau argile fissurée de 140 à 50 cm. La diminution lente et progressive de l'humidité entre 140 et 50 cm correspond à celle observée dans les expériences menées en colonnes sur un matériau argileux homogène. Elle traduit une bonne remontée capillaire jusqu'à cette hauteur du sol (d'autant que les humidités à pF 2,5 et 3,0 diminuent elles-mêmes légèrement.

- à partir de 50 cm, on note vers le haut du profil un décrochement brutal de l'humidité, qui traduit la rupture de certains liens capillaires.

- ces décrochements, donc ces ruptures de films capillaires s'accentuent entre 35 et 10 cm : l'humidité est alors très inférieure à celle de pF 3,0.

- à 10 cm, l'humidité est insuffisante pour "alimenter" le matériau superficiel sus-jacent, qui est pratiquement sec. La valeur de 4 % relevée entre 0 et 5 cm correspond à l'hygroscopicité du matériau.

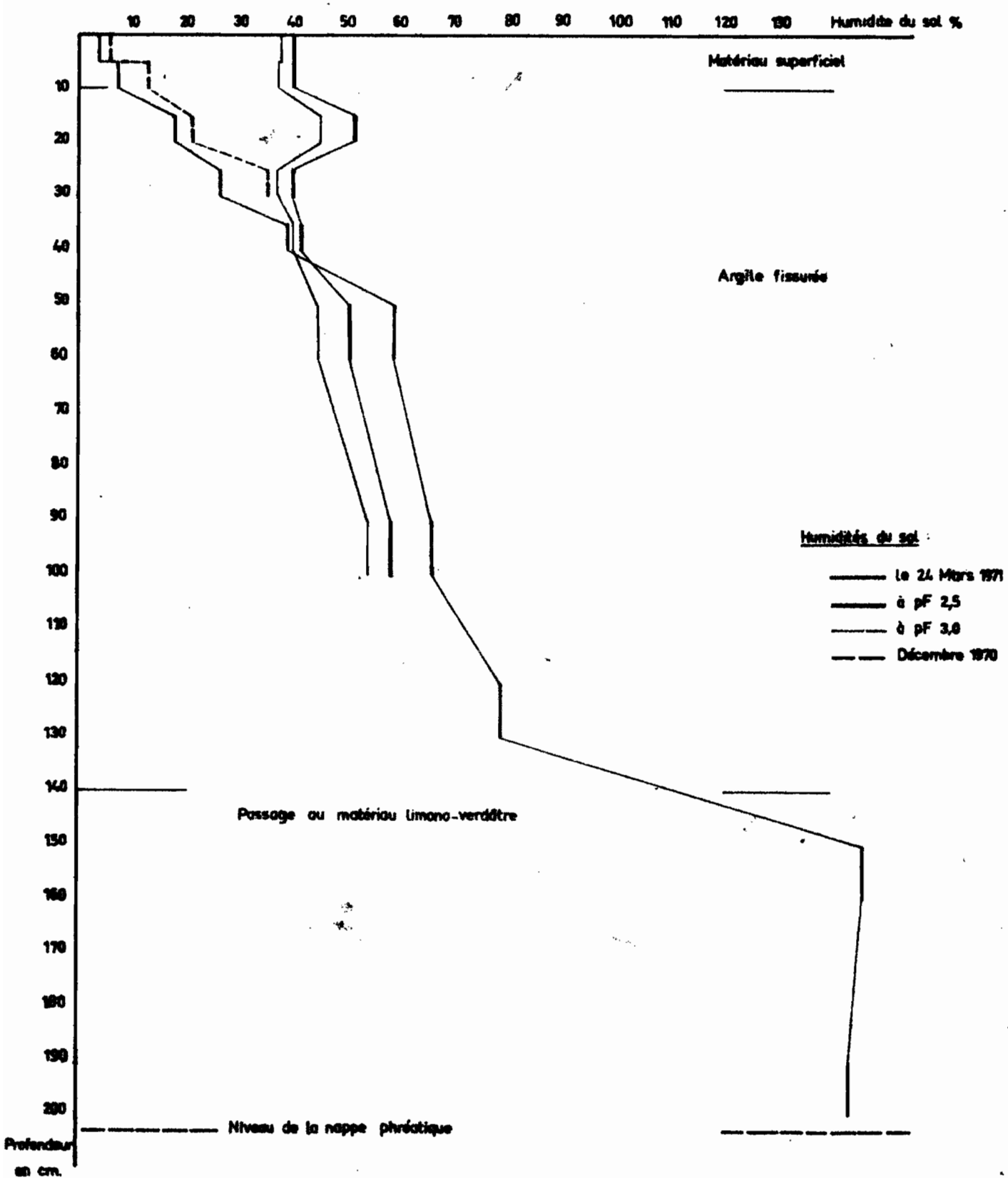
La remontée capillaire joue donc sur 160 cm de hauteur au dessus de la nappe, dans ce cas; le sol est sec sur 10 cm d'épaisseur, presque sec de 10 à 35 cm.

b) Sur la même figure, a été tracé le profil hydrique des 30 cm superficiels en début décembre 1970. La forme du profil est exactement la même que celle de mars, les valeurs étant toutefois décalées vers des humidités un peu plus fortes; c'est à 25 cm de profondeur et non à 35 cm comme en mars, que l'humidité "décroche" par rapport à celle de pF 3. Ces données comparées autorisent quelques remarques sur le régime hydrique de ce sol :

- l'allure du profil hydrique du sol en mars 1971 traduit un régime évaporatoire

Figure n° 4

REGIME HYDRIQUE D'UN SOL A BON DRAINAGE INTERNE



- ce régime s'établit rapidement après la fin de la saison des pluies (septembre-octobre) puisque dès début décembre le profil hydrique a acquis sa forme caractéristique

- la stabilité de ce régime évaporatoire durant la saison sèche traduit un débit. Ce débit est probablement faible par rapport à l'ETP mais impossible à calculer à partir de ces seules données.

c) Ce régime en 1970-1971 est évidemment fort différent de celui décrit en 1964-65, alors que la nappe ne descendait pas à plus de 100 cm de profondeur en fin de saison sèche et que la remontée capillaire jouait presque jusqu'en surface (mulch de 5 cm seulement) de décembre à avril.

d) Intérêt de ces données pour quelques problèmes de mise en valeur

Les sols où un drainage d'ensemble du paysage (baisse de niveau de la nappe), et un bon drainage interne ont permis au vieillissement des sédiments de jouer dans le sens d'un développement et d'une stabilisation des structures, d'une stabilisation du volume de ces sols, avec un fort pourcentage de vides organisés préférentiellement dans le plan vertical (fentes de retrait), "auront tendance à être des sols aérés, rapidement secs en surface, malgré leur texture argileuse" (CHEVERRY, 1969). Ceci a été confirmé depuis par des essais d'irrigation menés sur la station de Matafo en octobre 1970 (SCET, 1971) :

" L'importance des doses d'irrigation de départ (comprises entre 75 et 300 mm) n'a pas d'influence sur le comportement de la plante. On n'aura donc pas intérêt à appliquer des doses élevées comme 300 mm. Il est nécessaire d'apporter les doses d'entretien selon une fréquence comprise entre 5 et 10 jours"

Cette propriété du sol de ne stocker dans sa tranche superficielle qu'une fraction d'une forte dose d'irrigation pourra par contre se révéler très favorable lorsque le problème à résoudre sera celui de la désalinisation des sols. Une partie de cette eau pourra percoler directement vers la nappe, le long des fentes, sans que l'intégralité de la tranche de sol sus-jacente ait vu son humidité remonter à la capacité de rétention. Or le régime évaporatoire, décrit précédemment, entraine la précipitation des sels dissous d'une part à la limite de rupture des liens capillaires, d'autre part, plus bas dans le profil, à la surface des prismes (composante latérale de la capillarité). L'efficacité d'une irrigation fortement excédentaire sera donc augmentée par la convergence des localisations dans la géométrie du profil de l'eau libre "glissant" sur les faces des prismes revêtues d'hydroxydes ferriques et rendues plus ou moins hydrophobes par le déssèchement et d'une partie des sels à dissoudre et à lessiver.

Ce lessivage artificiel des sels ne fera d'ailleurs qu'accélérer très sensiblement un processus naturel en cours depuis 4 ans dans le profil nº 22 par exemple. Les horizons supérieurs de ce sol se déssalent naturellement. Le lessivage des sels en saison des pluies est réel (CHEVERRY 1964,

1969 = recharge de la nappe en sels, page 23, figure 6). Les premières eaux de pluie sont d'autant plus efficaces que les précipitations sont fortes et groupées. En saison sèche la remontée capillaire est rapidement bloquée à une certaine profondeur, ainsi que les sels qu'elle transporte et laisse lorsque les solutions s'évaporent.

TABLEAU n° III

ANALYSES MINERALOGIQUES D'ARGILES ET DE SELS.

Effectuées à l'Institut de Géologie de la Faculté des Sciences de Strasbong (n°s 1 à 7) et au laboratoire de spectrographie de l'ORSTOM (n°s 8 à 10).

n°	Localisation	Remarques sur le prélèvement	Résultats minéralogiques.
1	Bérim - Sud	Zône marécageuse, n'ayant jamais été cultivée; végétation dense de Phragmites communis. L'analyse porte sur le matériau superficiel prélevé entre 0 et 5 cm.	Argile - Quartz - Calcite - Argiles dont :* 6/10 montmorillonite - 1/10 Illite - 3/10 Kaolinite.
2	Bérim - Sud.	Sol à accumulation superficielle de salant noir. Analyse du salant noir mélangé au matériau superficiel.	Argile-Quartz-Calcite-Trona - Argiles : 7/10 montmorillonite - 1/10 Illite - 2/10 Kaolinite.
3	Bérim - Sud.	Salant blanc se formant localement en surface des sols.	Argiles-Quartz-Calcite-Thénardite Argiles : 7/10 montmorillonite - 1/10 Illite - 2/10 Kaolinite.
4	Bérim Centre-Sud	Paysage marécageux en voie d'assèchement : analyse du matériau superficiel.	Argiles-Quartz-Calcite, dont argiles : 7/10 montmorillonite - 3/10 Kaolinite - 1/10 Illite.
5	Guini Centre-Est	Zône la plus salée du polder. Analyse du matériau superficiel entre 3 et 10 cm de profondeur.	Argiles-Quartz-Calcite, dont argiles : montmorillonite 6/10; Illite 1/10; Kaolinite 3/10.
6	Guini Centre-Est	Même zône. Materiau intermédiaire légèrement enrichi en matière organique, entre 30 et 40 cm.	Argiles : montmorillonite 6/10; Illite 1/10; Kaolinite 3/10.
7	Guini Centre-Est	Même zône. Argile fissurée, prélevée entre 85 et 110 cm.	Argiles : montmorillonite 4/10; Illite 3/10; Kaolinite 3/10.
8	Guini Est	Niveau de carbonatation ancienne.	Calcite - Quartz - Montmorillonite - Kaolinite - Illite.
9	Guini Sud-Ouest	Salant blanc observé sur le matériau intermédiaire, entre 8 et 15 cm de profondeur.	Gypse - Montmorillonite - Un peu de Kaolinite.
10	Guini bordure Est	Salant blanc prélevé entre 30 et 50 cm, et argile fissurée.	Gypse - Quartz- Montmorillonite - Kaolinite - Illite.

* Estimation semi-quantitative des proportions respectives des grandes familles d'argiles, (par rapport à une somme de 10).

II. L'HERITAGE BIOGEOCHIMIQUE LAISSE PAR LE LAC AU MOMENT DE SON RETRAIT : ARGILES , MATIERE ORGANIQUE, CARBONATATION ANCIENNE, SELS SOLUBLES.

21. Argiles - Analyses par le réactif tri acide.

Du point de vue minéralogique, la fraction argileuse du matériau superficiel est constituée d'une nette dominance de la montmorillonite avec de l'illite et de la Kaolinite (TABLEAU nº III). L'estimation semi-quantitative (rayons x) des proportions respectives, par rapport à une somme de 10, donne : 6 à 7 / 10 pour la montmorillonite, 1/10 pour l'illite, 2 à 3/10 pour la Kaolinite. Cette dominance est particulièrement marquée en Bérim Sud, dans les zônes marécageuses à salure alcaline n'ayant jamais été cultivées ou presque. A ces argiles sont associés du quartz et presque toujours de la calcite, plus des sels (trona, thénardite, bloedite, gypse... suivant le type de salure local).

L'argile fissurée a une composition minéralogique un peu différente: la dominance de la montmorillonite (4/10) sur l'illite (3/10) et la Kaolinite (3/10) est peu marquée.

Le TABLEAU nº IV présente les résultats d'analyses au réactif tri-acide de 6 échantillons. Par une telle attaque, les minéraux sécondaires tels que les argiles et les oxydes libres sont dissous. Le résidu correspond avant tout au quartz. On remarque une certaine homogénéité des résultats relatifs aux divers matériaux.

Le rapport SiO_2 / R_2O_3 est assez élevé : 2,5 à 3,1, le rapport Al_2O_3/ Fe_2O_3 proche de 3. Dans les bases totales, le CaO domine le MgO avec un rapport assez variable : 1,2 à 2,2. Le potassium est dans tous les cas bien représenté, mieux que le sodium. Il est à souligner qu'aucun des six échantillons n'était ni fortement carbonaté (carbonates totaux inférieurs à 1,5 %) ni fortement salé (conductivité de l'extrait de saturation inférieure à 2,5 mmhos).

22. La matière organique.

Les matériaux hérités au moment de l'exondation sont tous humifères. Les plus pauvres correspondent à la partie inférieure de l'argile fissurée : faciès peu humifère avec 4 à 6 % de matière organique - faciès à litages blancs avec 1,5 à 4 %.

Les plus riches correspondent au matériau superficiel au moment de l'exondation (20 % et plus), au matériau semi-tourbeux, au matériau limono-verdâtre de la base des profils.

RESULTATS D'ANALYSES* TRIACIDES SUR LES MATERIAUX DES POLDERS

TABLEAU n° IV

	Profil n° 17	Profil n° 168	Profil n° 16	Profil n° 54	Profil n° 73	Profil n° 17
	Matériau superficiel 0-8 cm	Matériau intermédiaire de couleur claire (40-50cm)	Argile fissurée; humifère 40-50 cm	Argile fissurée; faciès humifère; 50-60 cm	Argile fissurée; faciès humifère, 55-65 cm	Argile fissurée; faciès peu humifère 70-80 cm
Perte au feu	16,45	18,30	12,0	18,60	18,05	12,75
Résidu total	26,10	15,95	35,40	18,05	28,25	33,80
SiO_2 silicates	32,10	36,65	29,80	34,35	30,70	28,95
Al_2O_3	16,20	15,55	14,65	17,85	14,40	15,95
Fe_2O_3	5,70	7,30	5,15	6,10	4,80	5,20
FiO_2	0,50	1,20	0,45	1,30	0,60	0,40
Ca O	1,61	1,31	0,98	1,16	1,24	1,12
Mg O	0,71	1,00	0,83	0,92	0,71	0,63
K_2O	1,01	0,60	0,54	0,75	0,60	0,66
Na_2O	0,20	1,35	0,32	0,42	0,35	0,20
Total	100,58	99,21	100,12	99,50	99,70	99,66
SiO_2 / h_2O_3	2,73	3,08	2,82	2,68	2,98	2,54
M.O. %	11,5	12,1	8,1	12,1	14,5	7,0
$CaCO_3$ %	0,4	1,4	0,1	1,4	0,4	0,8
Argile %	51,0	70,0	58,0	70,0	59,0	61,0

* Les analyses ont été éffectuées au laboratoire des S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M., à Bondy.

- Ces teneurs constituent une très forte réserve de matière organique. Après 15-20 ans d'évolution, le profil vertical type des teneurs en matière organique pour un sol bien drainé sous horizon semi-tourbeux peut être schématisé par la séquence de valeurs suivantes :

8 à 10%	de	matière	organique	entre	0	et	10	cm	avec un	C/N	de 9 à 12
7 " 8%		"	"	"	10	"	20	cm	"	"	"
5 " 6%		"	"	"	20	"	40	cm	"	"	"
3 " 5%		"	"	"	40	"	150	cm	"	"	"
10 " 18%		"	"	"	150	"	200	cm	"	"	15 et plus.

Ce qui représente encore une réserve moyenne de 4,3 à 6% sur 100 cm d'épaisseur, de 5,4 à 8,7 % sur 200 cm. Ces valeurs seraient plus faibles en bordure même des polders (matériaux moins argileux, enrichis en sables dunaires), plus fortes au fond des polders, là où la semi-tourbe est représentée.

- Cette matière organique s'est accumulée en milieu subaquatique, donc en conditions très hydromorphes, et probablement modérément alcalines. Ce second point est suggéré par le caractère très évolué, très lié à l'argile de la matière organique. Celle-ci constituerait le résidu de l'activité biologique globale (production primaire) du Lac Tchad et pas seulement du cycle végétal. Les vases lacustres superficielles donnant naissance au matériau superficiel sont ainsi caractérisées (CHEVERRY, 1971, p. 23) par l'absence de matières organiques légères et par contre par un taux de 75 % d'humine/M.O. totale. La semi-tourbe, représentée localement et le plus souvent modestement (1 à 2 cm d'épaisseur) s'est accumulée dans un milieu de sédimentation différent : une partie de la matière organique est individualisée sous forme de débris dont l'origine végétale est reconnaissable; son C/N est supérieur à 14.

- L'histoire du polder après sa création (action du climat, des sels, de l'homme) modifie cet héritage, en particulier au niveau du matériau superficiel. Cet aspect sera traité de façon plus détaillé dans la suite du rapport (chapitre VI).

23. Le niveau de carbonatation ancienne. (figure nº 5)

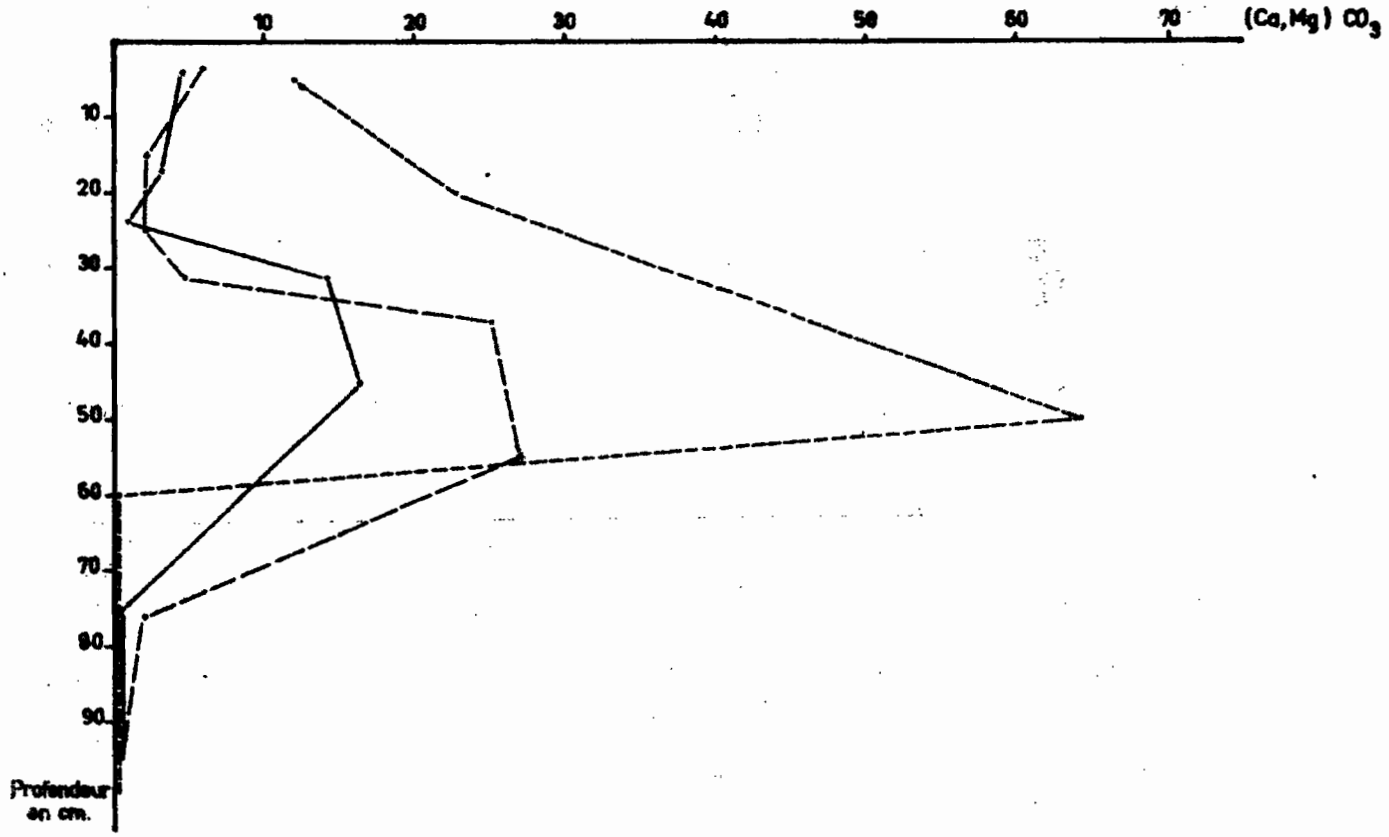
Ce niveau est également un élément de l'héritage laissé par le Lac. Ses caractéristiques générales, sa micromorphologie, la démonstration de son caractère hérité, ont été déjà présentées (CHEVERRY, 1969, pp. 6 à 11). On s'attachera ici à la position de ce niveau dans les profils, à sa répartition géographique (aspect cartographique), aux conséquences physiques et chimiques qu'entraine sa présence.

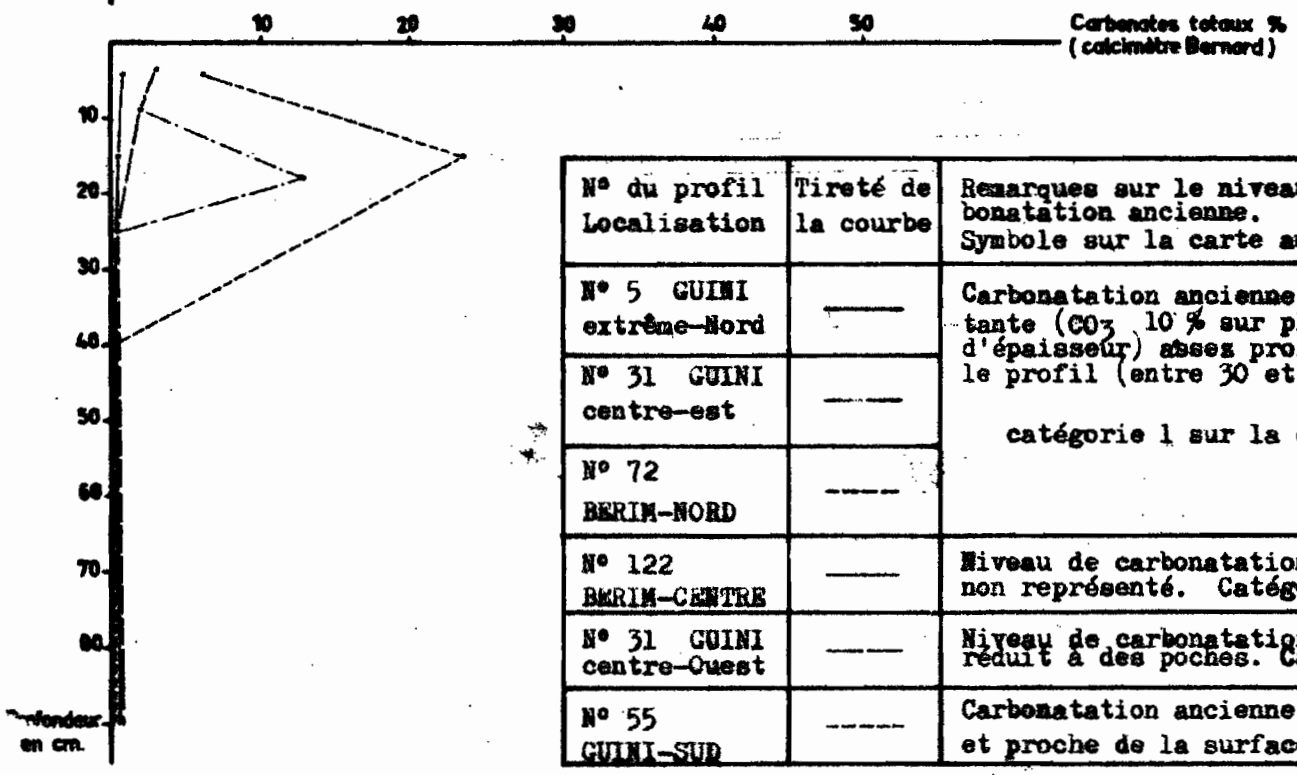
. Dans les profils, ce niveau de couleur gris-clair à blanche, dont la teneur en carbonate double de calcium et de magnésium varie de 10 à 70 % (avec un rapport Ca/Mg, en milliéquivalents, de 2,5 à 3) peut :

- ne pas être représenté (profil nº 122 : Bérim Centre)
- être réduit à des poches de 10-20 cm, plus larges que hautes,

LE NIVEAU DE CARBONATATION ANCIENNE :

son importance ; sa position dans les profils





N° du profil Localisation	Tireté de la courbe	Remarques sur le niveau de carbonatation ancienne. Symbole sur la carte au 1/5000
N° 5 GUINI extrême-Nord	———	Carbonatation ancienne importante (CO_3 10 % sur plus de 10cm d'épaisseur) assez profonde dans le profil (entre 30 et 55 cm) catégorie 1 sur la carte
N° 31 GUINI centre-est	——	
N° 72 BERIM-NORD	----	
N° 122 BERIM-CENTRE	———	Niveau de carbonatation ancienne non représenté. Catégorie 3
N° 31 GUINI centre-Ouest	——	Niveau de carbonatation ancienne réduit à des poches. Cat. 2
N° 55 GUINI-SUD	-----	Carbonatation ancienne importante et proche de la surface. Cat. 3

vers 10-20 cm de profondeur (profil nº 31 : Guini Centre Ouest).

- être représenté par un horizon continu, à faible profondeur par rapport à la surface du sol (10 cm) (profil nº 55 : Guini Sud).
- être représenté par un horizon continu, à une profondeur plus grande : 30-50 cm (profils nºs 5, 31, 72).

. Sa répartition géographique est assez tranchée. Le niveau de carbonatation ancienne n'est pratiquement pas représenté dans toute la moitié Sud de Bérim. Son importance maximum est observée dans les secteurs Nord de Bérim et de Guini, Sud de Guini.

Cette répartition autorise une hypothèse sur les conditions de sa formation. Il a été démontré que ce niveau n'était pas actuel, mais vieux de 500 ans B.P. environ. Son origine est probablement sédimentaire : le dépôt se serait effectué en milieu subaquatique, sous une lame d'eau peu épaisse. Si l'on se rappelle que les deux polders sont d'anciens bras du Lac, on remarque :

- la localisation des dépôts les plus importants de (Ca, Mg, CO_3) au fond des bras (Bérim Nord, Guini Nord et Sud), soit dans les secteurs qui n'étaient pas de ce fait le lieu d'une circulation rapide de l'eau, mais plutôt d'une stagnation, d'une certaine concentration (favorable à la précipitation des carbonates).

- corrélativement l'absence pratiquement totale de ces mêmes dépôts dans les secteurs qui étaient compris entre plusieurs chenaux séparant des îles, donc probablement le siège de courants avec circulation et renouvellement de l'eau (Bérim Sud, chenaux correspondant aux 1er, 2ème, 3ème barrages actuels).

. Conséquences physiques de la présence du niveau de carbonatation ancienne. Cette carbonatation a surtout affecté la partie supérieure de l'argile fissurée. Le passage entre le matériau superficiel et le niveau carbonaté correspond le plus souvent à une discontinuité de consistance et au passage d'une structure fine et déliée à une structure plus grossière à éléments imbriqués. Il a été constaté (SCET, 1971) que la carbonatation "gêne la pénétration des racines" et que "le pivôt du cotonnier présente souvent une courbure à angle droit avant de pénétrer dans cet horizon".

Mais ceci paraît lié non pas à la carbonatation en tant que telle mais plutôt aux caractères de l'argile fissurée qu'elle imprègne. Il s'agit plutôt d'un encroûtement diffus et le niveau de carbonatation ancienne n'a rien à voir du point de vue dureté avec les croûtes ou carapaces calcaires d'Afrique du Nord. L'intérêt très réel d'une scarification ou d'un sous-solage semble donc avant tout de réduire la discontinuité structurale entre le matériau superficiel et les matériaux sous-jacents, qu'ils soient carbonatés ou non.

. Conséquences chimiques de la présence du niveau de carbonatation ancienne. Un niveau de carbonatation ancienne de 10 cm d'épaisseur, à 10 % de carbonates représente, en supposant une densité apparente de 1,3 du matériau, une réserve de 130 tonnes de calcaire à l'hectare. Dans certains secteurs de Bérim Nord, cette valeur peut atteindre 2600 tonnes à l'hectare. Mais il est évident que dans ces polders le calcaire n'a aucun intérêt en tant qu'amendement au sens habituel du terme (correction d'un pH acide). Il n'a d'intérêt que vis à vis de l'alcalinisation, c'est à dire comme source éventuelle de calcium soluble pouvant déplacer le sodium du complexe absorbant. Tout dépendra donc de sa solubilité vis à vis d'une eau météorique ou d'irrigation. Ce point sera traité en détail dans le chapître sur l'irrigation, mais il est déjà possible de dire que ce niveau de carbonatation ancienne ne jouera aucun rôle utile, vis à vis d'une alcalinisation éventuelle lorsque les sols seront irrigués avec les eaux du lac.

Ce niveau est par contre très utile dans les secteurs où une partie des composés du soufre est encore bloquée à l'état de sulfures. Lors du drainage du paysage, la réoxydation des sulfures se traduit par une acidification, immédiatement neutralisée en présence de calcaire. La neutralisation libère du calcium qui passe à un état beaucoup plus solubilisable, c'est à dire sous forme de gypse. Telle est l'origine du gypse fréquemment observé dans les secteurs maintenant bien drainés et réoxydés des polders (cette réaction a été observée dans d'autres cas : polders de Hollande par ENTE, P.J., 1964, en Sibérie ... etc).

Actuellement, dans les deux polders, c'est presqu'exclusivement en Bérim Sud que sont encore représentés les sulfures. Or c'est aussi le secteur où il n'y a pas de réserve calcaire. Ceci est un facteur défavorable pour la mise en valeur de cette partie du polder.

24. Les sels solubles.

Dans les deux polders de Guini et de Bérim les eaux emprisonnées lors de la fermeture des barrages n'ont pas été pompées. Sous l'effet de l'évaporation, ces eaux ont donc déposé sur place, leurs sels, partie intégrante de l'héritage laissé par le Lac lors de la poldérisation. Un calcul indicatif révèle quelques points importants :

La composition de l'eau du Lac dans la région de Bol permet une estimation de ce qu'était la salure initiale des eaux emprisonnées. Un litre de cette eau contient : 1,40 meq de HCO_3^-; 0,56 meq de Ca^{++}; 0,36 meq de Mg^{++}; 0,13 meq de K^+; 0,36 meq de Na^+. Les teneurs en Cl^- et en SO_4^{--} sont négligeables. Les sels qui précipiteront à partir d'une telle eau seront des carbonates, les réactions comportant un dégagement de CO_2. Les sels ainsi théoriquement précipités seront : (par litre)

0,28 molécule de $CaCO_3$ soit 28 mg; 0,18 mole de $MgCO_3$ soit 15,1 mg; 0,18 mole de Na_2CO_3 soit 19 mg et 0,065 mole de K_2CO_3 soit 9 mg. Total en poids : 71,2 mg.

Si l'on admet que les eaux emprisonnées avaient, à l'échelle du polder, une hauteur moyenne de 4 mètres, on peut calculer que sur 1 hectare de polder se seraient déposés :

$10^4 \times 4 \times 10^3 \times 71,2$ mg soit $71,2 \times 4 \times 10^{-2}$ tonnes = 2,85 tonnes de sel. Si l'on suppose que les sels ainsi déposés se sont localisés uniquement sur la tranche tout à fait superficielle, de 10 cm d'épaisseur, des vases lacustres en voie de vieillissement, et que la densité apparente de cet horizon naissant est de 1,1, le pourcentage pondéral de sels ainsi hérités à la création du polder serait de 2,85 / 1,1 x 104 = 0,25 % sur les 10 cm considérés, dont 0,1 % de $Ca\ CO_3$ et 0,07 % de $Na_2\ CO_3$.

Ces valeurs sont loin d'être négligeables. L'expérience du polder de Djiboulboul (CHEVERRY, 1971) laisse supposer qu'une partie du magnésium et du potassium ne donne pas des sels cristallisés mais rendre dans la structure de silicates (Mg) ou se lie à ces silicates (K). Mais le sodium se dépose bien, lui, à l'état de $Na_2\ CO_3$, à une dose déjà au delà des normes de toxicité admises (0,01 %). Du point de vue mise en valeur, deux remarques se dégagent :

a) - les sels des eaux emprisonnées ne se déposent pas de façon homogène à la surface des polders mais de façon préférentielle dans les bas-fonds, là où se sont évaporées les dernières flaques d'eaux résiduelles, les plus salées.

b) - en 1971, près de 20 ans après cette phase, le carbonate de sodium a presque complètement disparu du polder Guini et du Nord de Bérim. C'est là un point essentiel du maintien de la fertilité de ces polders durant cette période. Le mécanisme rendant le mieux compte de cette disparition du sel le plus toxique est le suivant (mécanisme déjà évoqué à la fin du § 23) :

- l'héritage met en présence du calcaire (carbonatation ancienne) et des sulfures dans les sédiments.
- lorsque le milieu est drainé naturellement, la décalcarification joue :

  $S^{--} \longrightarrow S^{6+}$ (réoxydation des composés du soufre)

  $Ca\downarrow CO_3 + H_2\ SO_4 \longrightarrow Ca\ SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$. Cette réaction joue à faible profondeur, là où sont les réserves de calcaire.
- lors des phases de remontée capillaire ultérieure, on observe en surface du sol.

  $Na_2\ CO_3$ (cristallisé) + $Ca\ SO_4$ (ionisé, solutions capillaires) $\longrightarrow Na_2\ SO_4 + Ca\downarrow CO_3$

En conclusion, l'héritage livre à l'homme des éléments très favorables : argile à forte capacité d'échange, matière organique abondante et bien évoluée, réserve calcaire et sulfures lorsqu'ils sont réunis, et des éléments très défavorables, en particulier le carbonate de sodium potentiellement contenu dans les eaux du Lac. La fertilité des polders évoluera alors suivant la réaction de ces éléments entre eux, et selon que l'un ou l'autre prédominera.

III. LES CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE EN 1970-1971: RELATIONS AVEC LA NATURE DES SELS DANS LES SOLS CORRESPONDANTS.

31. Intérêt de la caractérisation chimique des eaux de la nappe pour l'aménagement des polders.

L'héritage sédimentologique a évolué pendant les vingt ans qui se sont écoulés depuis la poldérisation de Guini, puis de Bérim. Le vieillissement des sédiments en a été une des manifestations, dont certaines conséquences sur la topographie, la structure, la texture, le régime hydrique des sols ont été décrites au chapitre I. Mais une autre manifestation a été l'échange permanent de sels entre la nappe phréatique (sels à l'état dissous) et les sols (sels dissous des solutions du sol; sels cristallisés mais aisément solubilisables; sels très peu solubles tels les carbonates alcalino-terreux et les sulfures métalliques; cations échangeables fixés sur le complexe adsorbant).

Il ne sera pas traité dans ce chapitre de l'ensemble des problèmes touchant aux relations nappe phréatique-sol sus-jacent, mais d'un point particulier, essentiel pour la mise en valeur envisagée, suivant des techniques modernes (irrigation, drainage), des deux polders dans les années à venir. A la lumière des travaux menés les années précédentes, il apparaît :

- que la nature des sels présents dans le sol est probablement plus importante à connaître que la salure globale ou que la répartition exacte des sels dans le profil avant d'irriguer. Il faut en particulier savoir s'il y a ou non dans le sol du gypse, ou du carbonate de sodium, ou aucun de ces deux sels.

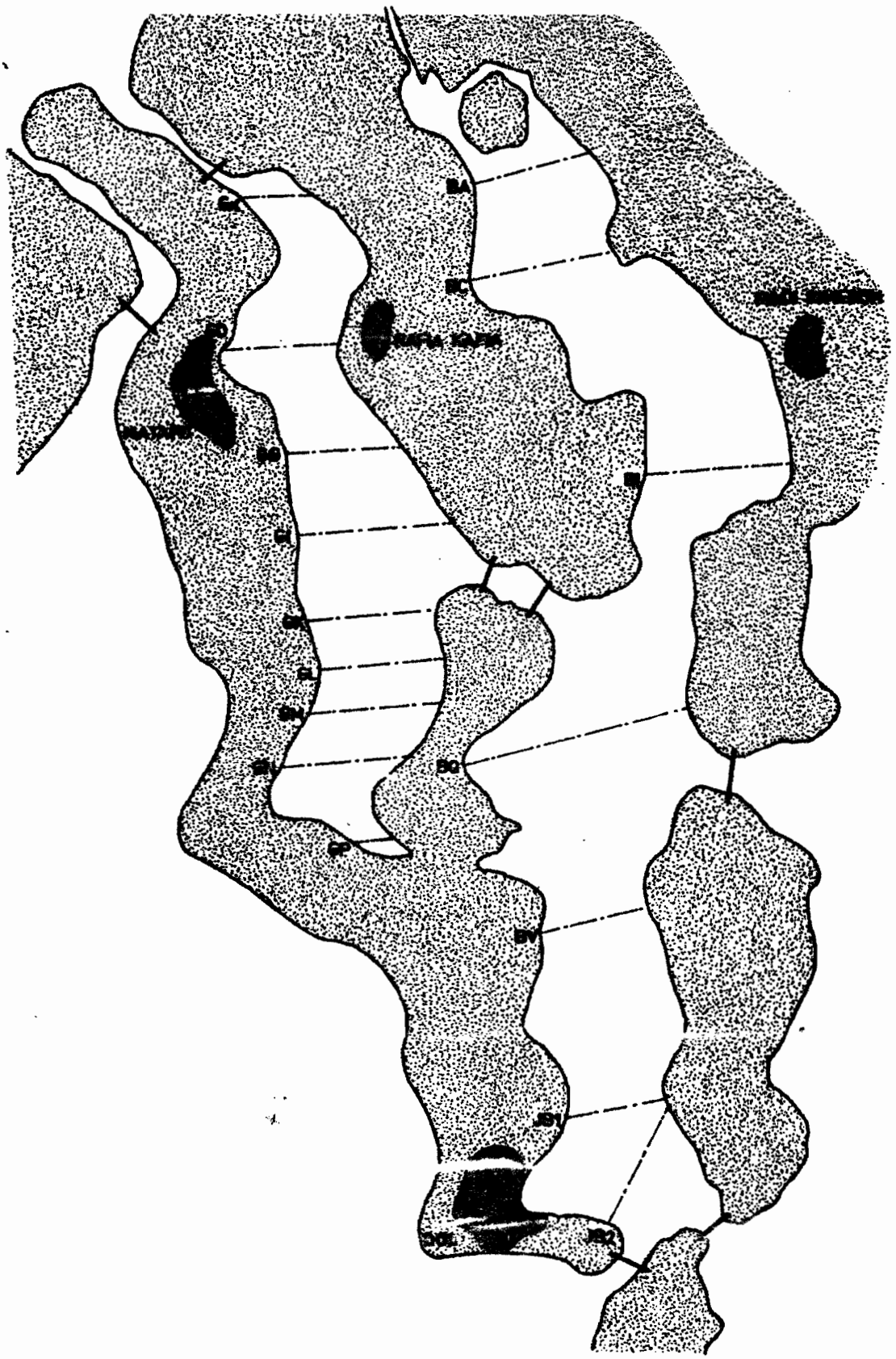
- que l'analyse détaillée des caractères chimiques des eaux de la nappe phréatique et leur interprétation, révèlent la nature probable des sels déjà accumulés ou qui s'accumuleront à court terme dans les sols sus-jacents.

32. Remarques préliminaires. Les moyens mis en oeuvre.

a) - Les caractères chimiques de la nappe phréatique (conductivité, teneurs en Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+}, Cl^{-}, SO_4^{--}, HCO_3^{-}, CO_3^{--}) paraissent obéir dans l'espace à des lois de variations, en particulier le long d'axes recoupant transversalement les polders. Cela n'est pas une loi générale dans les milieux évaporatoires à texture fine et à nappe peu profonde, sous climat aride ou subaride, décrits ailleurs dans le monde. Ces milieux sont fréquemment caractérisés par une faible perméabilité, par la très forte hétérogénéité dans l'espace de leur salure, au niveau des sols mais aussi de la nappe sous-jacente.

Figure n° 6

CARTE DE LOCALISATION DES ANALYSES D'EAUX
DE LA NAPPE PHREATIQUE



ECHELLE 1/50000

Le fait qu'il n'en soit pas ainsi à Bol, du moins actuellement, est dû à la forte perméabilité latérale de l'argile fissurée, matériau que baigne en général la partie supérieure de la nappe phréatique, celle qui alimente les remontées capillaires vers le haut des profils de sols. Il en résulte un certain déplacement latéral des sels sous forme dissoute de secteur à secteur de polder, grâce au vecteur nappe.

b) - L'analyse des caractères chimiques de la nappe pourra ainsi mettre en évidence des sens de déplacement des sels, des secteurs d'accumulation. Dans le temps, elle permettra de dégager les grands traits de l'évolution interannuelle. En ce sens, les données recueillies en 1970-1971 et présentées ici, soit :

- 719 mesures de conductivité des eaux de la nappe (176 en Guini, 543 en Bérim), qui ont servi à cartographier la salure globale de la nappe des deux polders à une échelle de 1/5.000.
- 90 analyses chimiques (TABLEAUX nºs V à XI), dont la localisation des axes de prélèvement fait l'objet de la figure nº 6 (carte au 1/50.000).

doivent être comparées aux données recueillies sur la nappe de ces mêmes polders en :

- 1959, 1960, 1961, 1962 (PIAS et al., 1960, 1961, 1964); - 1963 (DIELEMAN, DE RIDDER, 1963 : données à caractère plus hydrogéologique); -1966 (CHEVERRY, 1967); - 1968 enfin (CHEVERRY, 1969).

La campagne 1970-1971 a compris également 786 sondages (208 en Guini et 578 en Bérim) pour mesurer la profondeur de la nappe par rapport à la surface du sol. Les valeurs ont servi à cartographier cette profondeur à l'échelle 1/5.000.

33. Analyse des variations des caractères chimiques de la nappe phréatique le long d'un axe traversant le polder Guini d'Ouest en Est. (localisation : figure nº 6 : axe GI; interprétation ; figures nº 7, et nº 9).

Cette analyse permet de définir quatre types d'eaux, symbolisés par les chiffres romains I à IV, en utilisant comme critères :

- la conductivité de l'eau (indicatrice de la salure globale).
- la nature des ions dominants.
- les valeurs, ou simplement le signe, des différences : (ions exprimés en millièquivalents par litre).

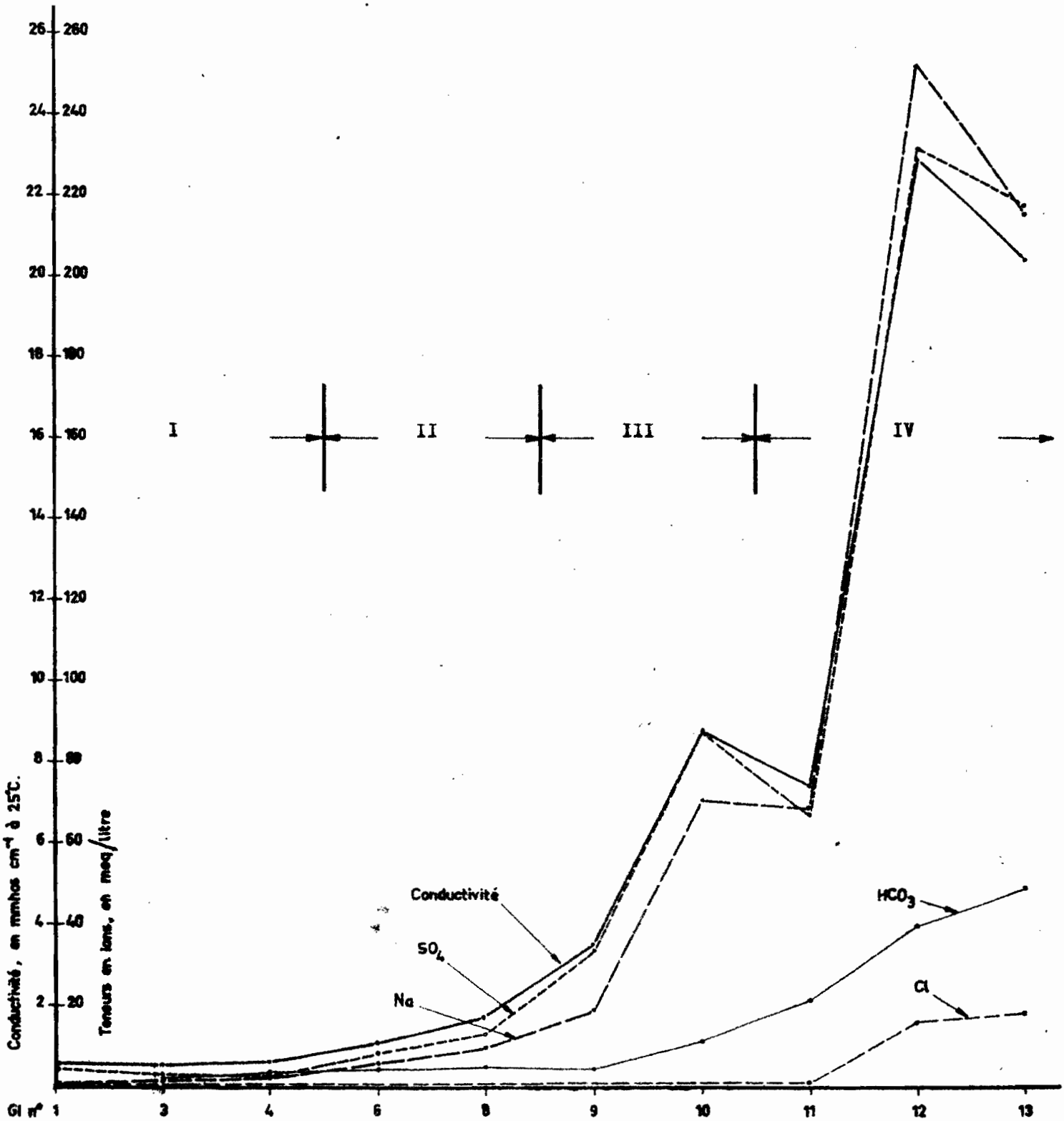
  a) - (SO_4^{--} - HCO_3^-)

  b) - (Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^- + Cl^-) : une différence nettement positive indiquera la tendance de ces eaux à

Figure n° 7

CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

LE LONG D'UN AXE TRAVERSANT LE POLDER GUINI D'OUEST EN EST



précipiter des sulfates alcalino-terreux, gypse en particulier, dans les sols sus-jacents.

c) - (Ca^{++} - Mg^{++}).

Ces types d'eaux remplacent donc la notion plus simple de "faciès" utilisée dans les rapports précédents. Le "faciès" indiquait simplement la nature des ions dominants dans l'eau considérée.

331. Les eaux de la bordure Ouest du polder : caractérisation type I. (TABLEAU nº VI : GI 1, 3, 4).

Ces eaux sont caractérisées par une conductivité faible, inférieure à 1 mmho; les teneurs en sulfates sont relativement élevées, surtout en bordure même du polder, où (SO_4^{--} - HCO_3^-) peut être positive. (Ca^{++} + Mg^{++} - (HCO_3^- + Cl^-) est légèrement positive; nette dominance du calcium sur le magnésium. Dans les sols correspondants de telles eaux provoquent une légère précipitation de carbonates alcalino-terreux (Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^- originels partiellement immobilisés) et une légère accumulation saline (sulfate de sodium). Ces eaux ne permettent pas une alcalinisation marquée du sol ni la formation de carbonate de sodium. Des traces de gypse pourront par contre être décelées.

332. Les eaux de la partie centrale de l'axe : caractérisation du type II. (TABLEAU nº VI, GI 6, 8).

La conductivité des eaux est plus forte : 1 à 3 mmhos; (SO_4^{--} - HCO_3^-) positive; (Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^- + Cl^-) également; ces eaux contiennent potentiellement des sulfates alcalino-terreux, encore en faible quantité, et l'alcalinisation qu'elles induiront lors de la remontée capillaire restera très limitée.

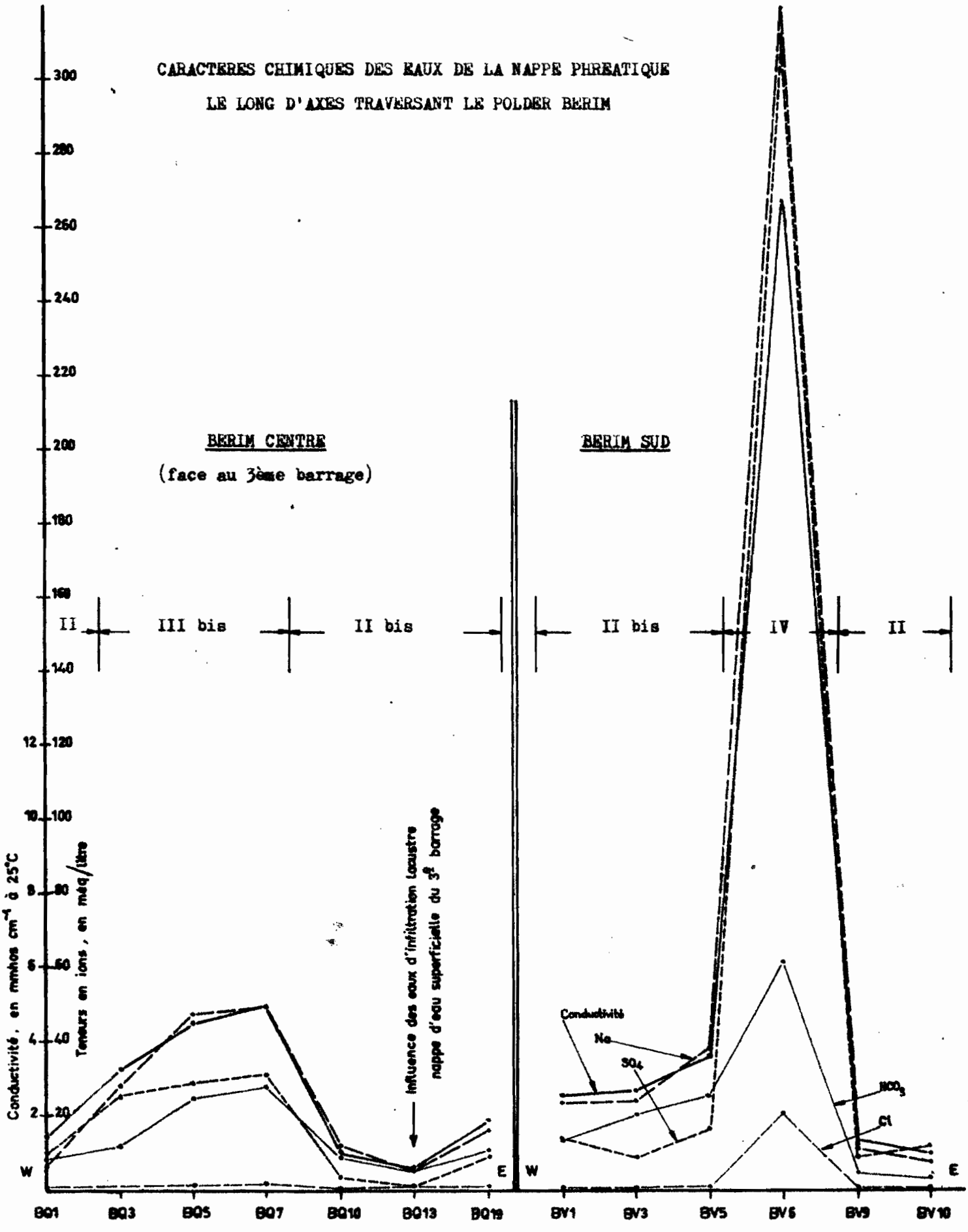
333. Les eaux de la partie Centre-Est de l'axe : caractérisation du type III. (GI 9 et 10).

Nouvelle augmentation de la conductivité des eaux : 3 à 10 mmhos; les différences (SO_4^{--} - HCO_3^-) et (Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^- + Cl^-) deviennent cette fois fortement positives Ca^{++} domine encore nettement Mg^{++}, quoique le rapport Ca^{++} / Mg^{++}, proche de 2, soit plus faible que dans les précédents types d'eaux. Ces eaux contiennent potentiellement des quantités notables de gypse, de l'ordre de 10 meq/l, gypse qui sera effectivement observé dans les sols. L'alcalinisation reste en conséquence limitée.

334. Les eaux de la partie Est de l'axe : caractérisation du type IV (TABLEAU nº VI : GI 11, 12, 13).

Très forte salure globale des eaux (pour les polders) : la conductivité peut atteindre 23 mmhos, soit un résidu sec supérieur à 20 g de sel

Figure n° 8


CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE
LE LONG D'AXES TRAVERSANT LE POLDER BERIM
BERIM CENTRE
(face au 3ème barrage)
BERIM SUD
II
III bis
II bis
II bis
IV
II
Conductivité, en mmhos cm⁻¹ à 25°C
Teneurs en ions, en méq/litre
Influence des eaux d'infiltration Lacustre
nappe d'eau superficielle du 3e barrage
Conductivité
Na
SO4
HCO3
Cl
W
E
BQ1
BQ3
BQ5
BQ7
BQ10
BQ13
BQ19
BV1
BV3
BV5
BV6
BV9
BV10

par litre; dominance très nette des ions Na^+ et SO_4^{--}; $(Ca^{++} + Mg^{++})$-$(HCO_3^- + Cl^-)$ devient très faiblement positive, puis négative; il en va de même de $(Ca^{++} - Mg^{++})$. Dans les sols correspondants on observera de fortes accumulations de sulfate de sodium, quelques sels de magnésium, parfois des traces de carbonate de sodium en surface du sol. L'alcalinisation pourra être forte, avec des valeurs de Na/T nettement supérieures à 15 %. Le gypse n'est pas représenté, ou alors à l'état de traces et jamais simultanément avec le carbonate de sodium.

34. La représentativité à l'échelle des deux polders des types d'eaux ainsi définis.

Les quatre types d'eaux ainsi définis sont représentatifs des eaux de la nappe phréatique dans le polder Guini, à l'exclusion de sa corne Sud-Ouest et dans le tiers Nord du polder Bérim. Ces types ne recouvrent pas tout à fait, du point de vue des seuils de conductivité qu'ils mettent en avant, les catégories de conductivité utilisées pour la carte de salure de la nappe au 1/5.000. Ceci pour trois raisons :

a) - dans la définition des types d'eaux, la conductivité n'est qu'un des éléments en jeu et les seuils de valeurs entre types ne sont pas précis. Ainsi, dans l'exemple de l'axe GI traité, des eaux à conductivité de 7 à 10 mmhos pouvaient appartenir soit au type III, soit au type IV.

b) - la classification d'une eau dans l'un de ces quatre types suppose la disposition de résultats d'analyses d'eau complètes : il n'était pas possible de cartographier au 1/5.000 avec 90 points seulement.

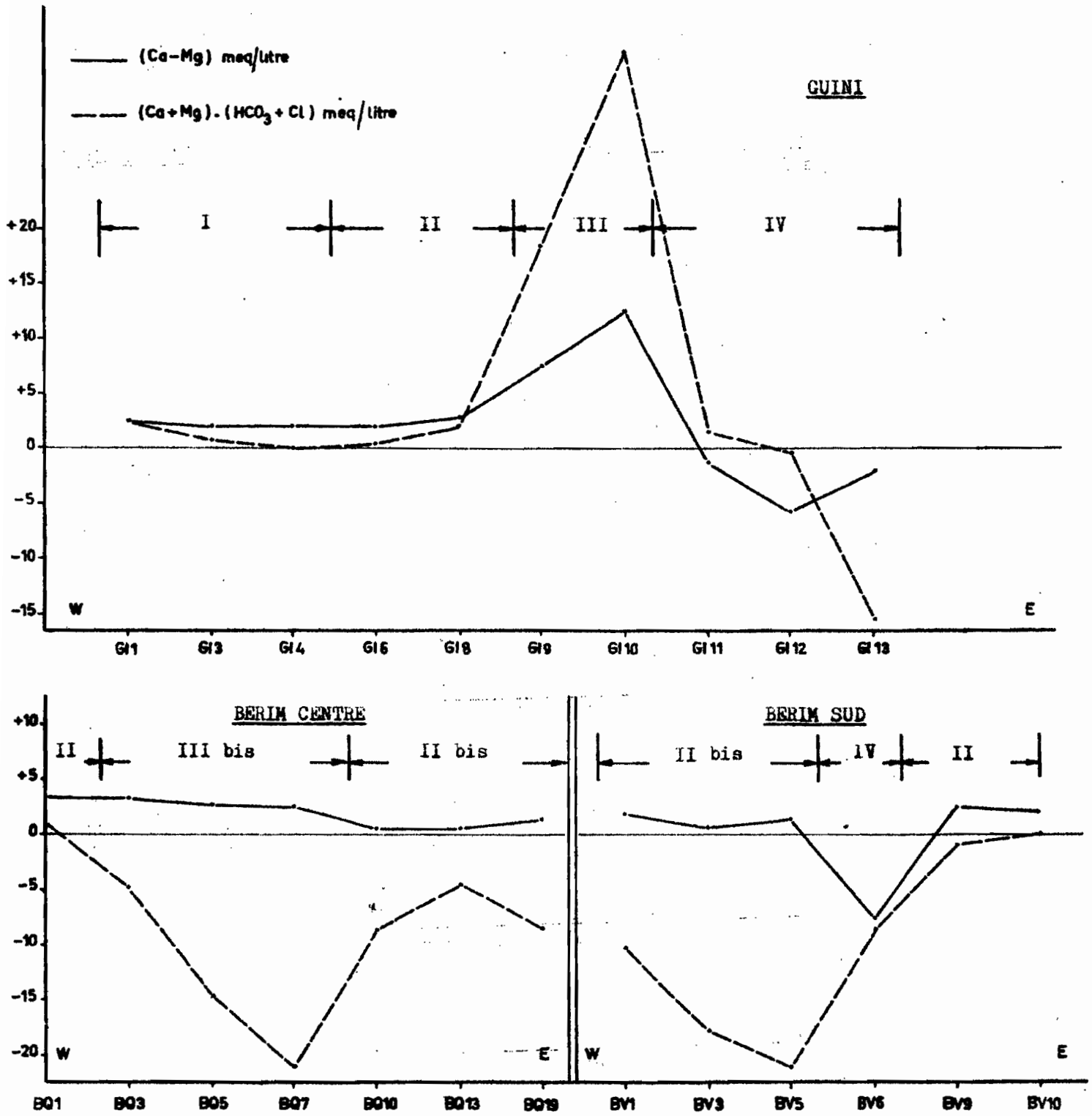
c) - les catégories de conductivités choisies ont été celles employées en 1969 ce qui permet une meilleure comparaison, entre les deux cartes, de l'évolution de la salure globale des eaux.

Les eaux du Nord du polder Guini appartiennent aux types I, II ou III, mais jamais IV. Ainsi l'eau référencée GD 8 (TABLEAU nº V) est potentiellement très riche en gypse. Les sols de ce secteur sont soit faiblement salés, soit salés mais alors avec présence de gypse, et non alcalinisés. On peut raisonnablement penser que les sols salés du secteur seront facilement lessivés et déssalés, sans risque d'alcalinisation secondaire, par des irrigations en excés avec des eaux douces (le problème de l'irrigation fait l'objet d'un chapitre spécial).

Les eaux de la bordure Ouest du polder Guini, sur toute la plage de conductivité inférieure à 0,75 mmho , sur la carte au 1/5000, seront du type I, sans danger grave pour le sol laissé à lui-même. Elles pourront même servir éventuellement à des fins d'irrigation.

Les eaux de l'Est du polder Guini sont, à l'exception d'une frange de 50 à 100 m immédiatement en contre bas de la dune soit du type III,

VARIATIONS CARACTERISTIQUES DE CERTAINES DONNEES IONIQUES
DES EAUX DE LA NAPPE LE LONG DES MEMES AXES (Fig. n° 7 et 8)



soit du type IV. Ces dernières sont évidemment à drainer et à évacuer hors du polder en priorité.

Les eaux du Nord du polder Bérim sont des types II et III, c'est à dire ont tendance à laisser du gypse dans les sols sus-jacents, mais se distinguent par une teneur relativement élevée, pour leur salure globale, en chlorures (axes Ba, BB, BC : TABLEAU nº VIII). Au Centre Nord de Bérim (axe BI), les eaux sont des types I et II avec toutefois déjà, au Centre de l'axe, des caractères intermédiaires avec les eaux du Centre et du Sud du polder.

35. Les types d'eaux de la nappe phréatique dans les parties Centre et Sud du polder Bérim : rôle des paysages marécageux. (figures nº 8 et nº 9).

Les quatre types d'eaux précédemment définis ne rendent pas compte des caractères de toutes les eaux des parties Centre et Sud de Bérim. La définition de deux nouveaux types d'eaux s'avère nécéssaire. Le caractère marécageux du paysage (nappe peu profonde, végétation dense de roseaux, abondance de matières végétales fermentescibles) joue en effet un rôle particulier sur le chimisme des eaux.

. Les eaux très salées (conductivité supérieure à 10 mmhos) de ce secteur ont des caractères proches de ceux des eaux de salure équivalente du polder Guini : elles appartiennent au type IV.

. Les eaux de salure moyenne (conductivité de 1 à 10 mmhos) ont des caractères très différents : les bicarbonates y jouent un rôle beaucoup plus important par rapport aux sulfates qu'en Guini ou Bérim Nord. La différence $(Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^- + Cl^-)$ est toujours négative, parfois très fortement (BQ 7, BV 5). Ces eaux ne contiennent jamais potentiellement du gypse mais au contraire du bicarbonate de sodium. Elles sont donc potentiellement (car au niveau de la nappe ce trait peut être masqué par une forte pression partielle de CO_2) beaucoup plus alcalines que celles de Guini. Deux nouveaux types d'eaux ont ainsi été définis :

type II bis : conductivité comprise entre 1 et 3 mmhos. Valeurs négatives des différences $(SO_4^{--} - HCO_3^-)$ et $(Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^- + Cl^-)$ Ca^{++} domine Mg^{++}.

type III bis : conductivité comprise entre 3 et 10 mmhos. $(SO_4^{--} - HCO_3^-)$ peut redevenir positif, avec $(Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^- + Cl^-)$ encore nettement négatif. Ca^{++} domine Mg^{++}.

Ces eaux sont très dangereuses car elles peuvent être à l'origine de l'individualisation et de l'accumulation de carbonate de sodium dans les sols sus-jacents. Dans l'extrême Sud du polder (axes JB 1, JB 2) la double influence des eaux d'infiltration (sous les barrages) d'origine lacustre et des conditions marécageuses accentue la dominance de HCO_3^- sur SO_4^{--} et de Na^+ sur Ca^{++}; des phénomènes de réduction sulfato-bactérienne au niveau de la

nappe ont été localement mis en évidence (JB 1-2, JB 1-4) par des analyses comparatives effectuées avant puis après réoxydation énergique.

Dans ces deux polders, on constate donc que lorsque la nappe devient très salée (conductivité supérieure à 10 mmhos) les ions dominants sont toujours le sodium et les sulfates, et ceci même dans le cas de conditions marécageuses. On note aussi que les chlorures sont peu représentés et toujours en troisième position par rapport à HCO_3^- ou SO_4^{--}. Ces chlorures ne commencent à s'accumuler que lorsque la conductivité de la nappe dépasse 10 mmhos et le décrochement vers des teneurs nettement croissantes se produit toujours après ceux de SO_4^{--}, puis de HCO_3^- (figures nº 7 et 10).

36. Application de cette classification des eaux de la nappe selon des "types d'eaux" à la cartographie de la salure et de l'alcalinisation dans les sols, et au problème de l'origine de ces eaux.

La définition de ces six types d'eaux n'a pas la prétention d'être une nouvelle classification de portée générale.

C'est dans le cas présent un bon instrument de travail, notamment à des fins cartographiques. Comme il a déjà été dit, les six types d'eau définis, symbolisés par les chiffres I, II, II bis, III, III bis, IV n'ont pas été utilisés pour la cartographie au 1/5.000 de la salure de la nappe. Ils ont joué par contre un grand rôle dans l'établissement des calques de salure et d'alcalinisation des sols. Les 23 profils (120 échantillons) dont la salure a été analysée en détail (TABLEAUX nºs XII à XVI) ont confirmé en effet la validité des interprétations tentées à partir des seules analyses d'eaux de la nappe sous-jacente, du moins des grands traits de ces interprétations. Pour la cartographie au 1/5000 des sols, la trame des 90 points correspondants aux analyses d'eaux est donc venue compléter précieusement la trame des 23 profils analysés et celles des 144 autres profils pour lesquels on ne dispose que de données soit partielles soit plus anciennes.

Cette classification permet aussi de confirmer la double origine des eaux de la nappe phréatique : origine purement lacustre au niveau des barrages de Bérim : l'apport d'eaux d'origine lacustre est particulièrement net dans le cas du prélèvement BQ 13 (figure nº 8) : l'eau est alors très faiblement salée mais déjà à dominance de Na^+ sur Ca^{++} et surtout très pauvre en sulfates. Origine plus complexe, avec influence de la nappe du Kanem, d'eaux météoriques ... (FONTES et al. 1969, CHEVERRY, 1969 et 1971, ROCHE, 1970) immédiatement en contre bas de certaines dunes (prélèvements BQ 1, BV 1, GI 1 ...) : l'eau, très faiblement salée, est alors à dominance de SO_4^{--} sur HCO_3^-.

37. Conséquences du drainage naturel observé dans les polders entre 1966 et 1971 sur les caractères chimiques des eaux de la nappe.

La comparaison des cartes de profondeur de la nappe par rapport à la surface du sol établies en 1966, 1968, 1970 met en évidence la forte baisse du plan d'eau durant cette période : près de 100 cm au Centre du polder Guini. A cette baisse du plan d'eau correspond un changement du type chimique de ces eaux. L'axe traversant Guini d'Ouest en Est, dont l'analyse au § 33 a permis la définition des quatre premiers types d'eaux, est proche, du point de vue localisation, de l'axe étudié en détail en saison sèche 1966 (CHEVERRY, 1968). La comparaison révèle de profondes différences, qu'il sera plus simple d'exprimer en termes de "faciès" (nature des ions dominants).

La "séquence de nappe" décrite en 1966, d'Ouest en Est, avec des conductivités croissantes, correspondait à la succession suivante des "faciès:

HCO_3, Ca HCO_3, Na SO_4, Na.

La séquence décrite en 1970 se résume à la succession de "faciès" :

HCO_3, SO_4, Ca SO_4, Ca SO_4, Na; Ca SO_4, Na

A la baisse du plan d'eau observée depuis six ans, au drainage interne des sols qui en résulte, avec ses conséquences sur le vieillissement des matériaux (structuration, aération, modification du régime hydrique) correspond, au niveau de la nappe phréatique et pour des eaux de salure comparable : - un enrichissement en sulfates et en calcium; - un appauvrissement en bicarbonates, donc une diminution des caractères potentiellement alcalins de la nappe. Tout se passe comme si le drainage naturel du polder libérait préférentiellement du calcium et des sulfates et par là même réduisait le rôle relatif du sodium et des bicarbonates (diminution d'intensité des phénomènes "générateurs de CO_2"). Cette évolution peut être considérée comme plutôt favorable sur le plan agronomique.

Cette évolution n'a pas touché la corne Sud-Ouest du polder Guini, toujours soumise à des arrivées d'eaux alcalines, probablement au niveau de l'ancienne source T4 (du nom d'un piézomètre implanté par DIELEMAN-DE RIDDER), ni surtout la partie sud du polder Bérim où la baisse du plan d'eau a été plus faible quoique notable et où l'héritage géochimique est différent (absence de réserves de calcaires : § 23).

IV. LA SALURE DES SOLS DES POLDERS. - UTILISATION DE LA METHODE DE BAZILEVICH, N.I.

41. Introduction.

Dans le chapitre consacré à la nappe phréatique, l'accent a été mis sur les caractères chimiques des eaux. Il en sera de même pour les sols, où l'on s'attachera à estimer la nature et la quantité des divers sels présents dans chacun des horizons du profil. La méthode présentée par BAZILEVICH, N.I. en 1968 constitue un bon instrument de travail pour aborder ce problème. Dans un premier paragraphe cette méthode sera décrite en détail. Elle sera ensuite appliquée à trois cas concrets, c'est à dire à trois profils de sols des polders assez représentatifs des grands types de salure actuellement observés. Cette représentativité à l'échelle des deux polders sera précisée, ce qui introduira à la lecture des calques au 1/5000 de salure et d'alcalinisation des sols.

42. La méthode de BAZILEVICH, N.I.

D'après l'article : "Tentative classification of soils by salinity", paru dans "Soviet Soil Science", 11, 1968, pp. 1477 à 1488. Il est précisé qu'il ne s'agit pas ici d'un résumé exhaustif de cet article, mais d'extraits commentés.

421. Le principe de la méthode; ses limites; son intérêt.

BAZILEVICH utilise trois critères pour juger de la salinité d'un sol : - le type chimique de salinisation; - le degré de salinisation; - la profondeur de l'horizon salé le plus haut du profil; c'est le premier de ces critères qui est le plus difficile à manier. La méthode, classique dans son principe, consiste à reconstituer des sels hypothétiquement présents dans un échantillon de sol, en liant entre eux, dans un certain ordre, les anions et les cations déterminés sur un extrait aqueux de cet échantillon.

Dans un second temps, les teneurs en milliéquivalents par 100 g de sol, des divers sels hypothétiques ainsi reconstitués sont comparées à des échelles de toxicité définies pour chacun de ces sels.

Plusieurs inconvénients d'une telle tentative apparaîssent :

a) - cette "reconstitution" peut évidemment prêter le flanc à la critique sur le plan théorique. La méthode ne donne d'ailleurs pas des résultats précis mais plutôt des "fourchettes" de teneurs possibles pour tel ou tel sel.

b) - la méthode tient compte de l'ensemble des sels dissous dans l'extrait alors que ces mêmes sels pouvaient être dans le sol lui-même soit cristallisés, soit dissous dans les solutions du sol, les seconds jouant un rôle plus marqué sur la toxicité réelle du milieu vis à vis des plantes.

c) - le seuil de toxicité réel des sels dépend non seulement de la nature de ces sels, mais aussi de l'état d'humidité du sol et plus généralement de ses propriétés texturales, hydriques, des conditions climatiques, des plantes considérées, de la phase du cycle végétatif de ces plantes, des pratiques culturales ... etc.

Ces inconvénients cités, il apparaît néanmoins que la méthode de BAZILEVICH peut être un bon instrument de travail pour des sols contenant des carbonates et des sulfates. Son originalité et son grand intérêt sont en effet de proposer une démarche assez stricte, encore que quelque peu arbitraire, pour effectuer le calcul de reconstitution des sels et ceci à partir des très nombreuses données recueillies sur le terrain en URSS depuis 30 ans. L'expérience ainsi accumulée dans le domaine des sols à carbonates (qui couvrent de vastes superficies) est précieuse, en particulier pour juger du comportement des sels, de leur solubilité lorsqu'ils sont en mélange.

L'inconvénient c) est circonscrit en considérant que les échelles de toxicité proposées ont trait à un sol théorique, argilo-limoneux, de densité apparente d'environ 1 dans les horizons supérieurs, 1,3 dans les horizons profonds (ce qui est d'ailleurs proche des valeurs observées dans les polders), d'une humidité donnée et à des plantes modérément résistantes aux sels (coton par exemple).

422. Le calcul de reconstitution de sels hypothétiques.

Les anions sont liés aux cations dans l'ordre : carbonates, puis bicarbonates, sulfates et enfin chlorures.

. Les anions CO_3^{--} de l'extrait aqueux seront liés en priorité au sodium, puis au magnésium s'ils sont en excès. L'anion CO_3^{--} est très toxique et le seuil de toxicité proposé est très bas : 0,001 % (du poids de sol sec de la tranche de sol ou de l'horizon considérés).

. Les anions HCO_3^{-} donnent lieu à un calcul complexe car ils peuvent correspondre soit à des sels toxiques : $Na\ HCO_3$ et $Mg\ (HCO_3)_2$ soit à un sel non toxique : $Ca\ (HCO_3)_2$. On peut remarquer ici que, sur le plan de la toxicité chimique, les sels de magnésium sont considérés comme toxiques, donc le magnésium rapproché du sodium et opposé au calcium, alors que sur le plan des propriétés physiques du sol, de sa résistance à la dégradation par alcalinisation en particulier, les américains considèrent que Mg^{++} et Ca^{++} jouent un rôle proche (voir méthode de BOWER dans le chapitre irrigation).

Dans le calcul, HCO_3^- sera d'abord associé au calcium, en tenant compte de la solubilité du carbonate de calcium. Cette solubilité très variable, est fonction notamment de la température, de la saturation en CO_2 de la solution ... Sans entrer dans les détails, on peut dire que cette solubilité en condition "normale" de salure de l'extrait est de l'ordre de 2 meq/litre d'extrait. Elle diminue et passe à 1 meq/l en présence de $Na_2\ CO_3$ ou de gypse. Elle augmente jusqu'à 4 meq/l dans certaines conditions de forte salure et surtout en présence de substances humiques (formation de complexes organo-minéraux de calcium).

Les anions bicarbonates restants sont liés au sodium pour 70 %, au magnésium pour 30 % :

. Les anions sulfates peuvent être liés à des cations pour reconstituer, comme dans le cas des bicarbonates, soit des sels toxiques ($Na_2\ SO_4$ et $Mg\ SO_4$) soit non toxique ($Ca\ SO_4$). C'est ce dernier que l'on reconstituera d'abord en tenant compte notamment du fait que la solubilité du gypse est augmentée en présence de chlorures, diminué en présence de sulfate de sodium.

. Les anions chlorures, enfin, sont liés dans l'ordre à Na, Mg, Ca pour donner $Na\ Cl$, $Mg\ Cl_2$ et $Ca\ Cl_2$.

423. Seuils de toxicité; classification des sols d'après leur degré de salinisation.

Les calculs de reconstitution de sels hypothétiques ont donc dégagé la nature des "sels présents" dans l'échantillon de sol et fourni des "fourchettes" de teneurs. Ces teneurs sont alors comparées à des seuils de toxicité (exprimés en % de poids du sel par rapport à la terre sèche).

0,001 % pour CO_3^{--} ; 0,05 % pour HCO_3^- ; 0,01 % pour Cl^- ; 0,08 % pour SO_4^{--}.

Ces valeurs ne sont évidemment qu'indicatives. BAZILEVICH propose ensuite d'affecter l'horizon ou le sol étudié d'un indice global de toxicité ("effet total" des ions toxiques) en convertissant les divers sels présents en "équivalents-chlorures", en appliquant les relations :

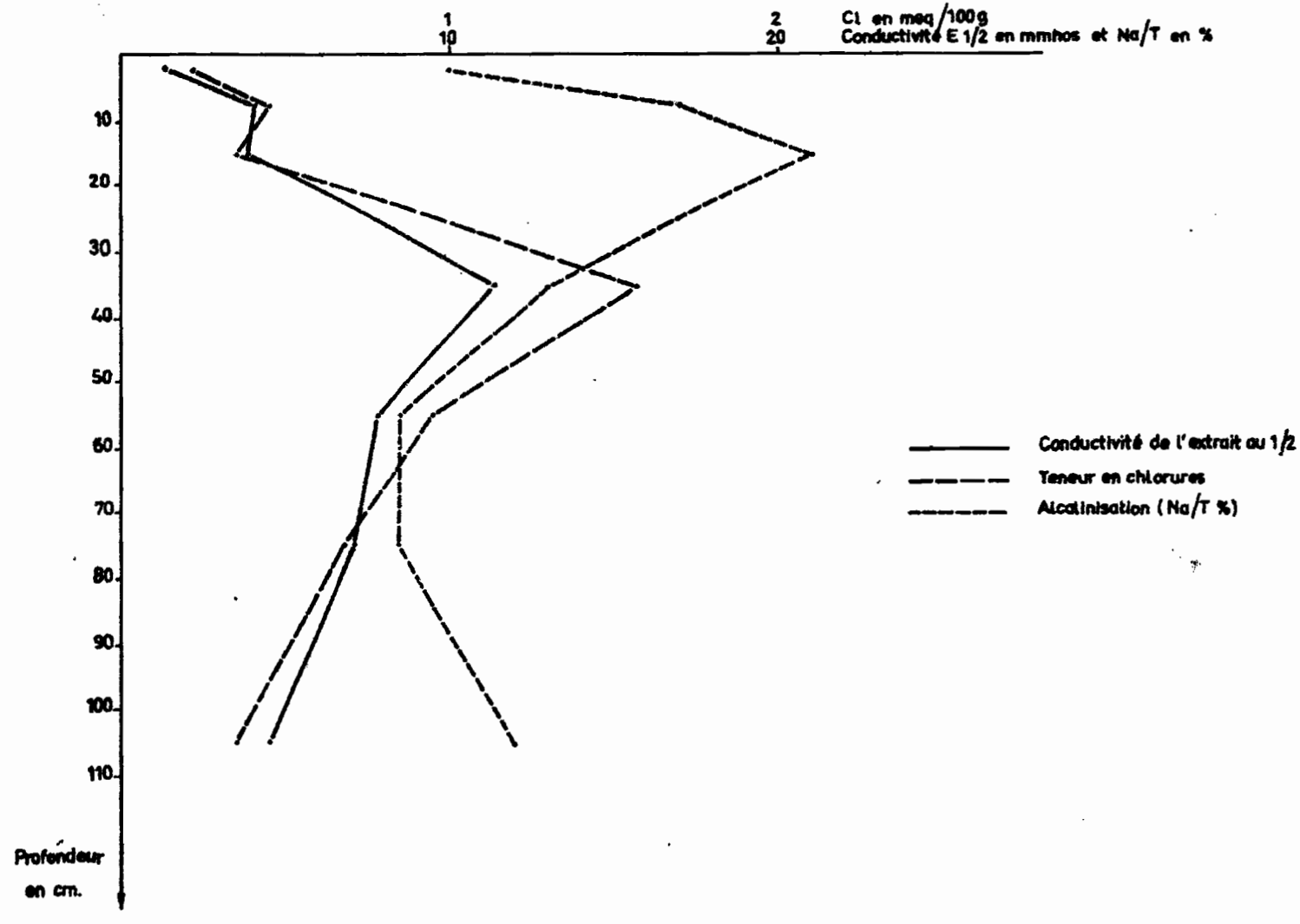
1 équivalent-chlorure = 0,1 CO_3^{--} = 2,5 à 3 HCO_3^- = 5 à 6 SO_4^{--}.
Ces valeurs sont un peu différentes de celles des seuils de toxicité, mais dans ce calcul des équivalents-chlorures, on ne tient compte que des sels toxiques, donc pas de $Ca\ (HCO_3)_2$ ni de $Ca\ SO_4$.

L'effet total des ions toxiques, ou indice global de toxicité sera comparé aux catégories d'un tableau de classification : indice inférieur à 0,3 : non salé; 0,3 à 1,5 : faiblement salé; 1,5 à 3,5 : moyennement salé; 3,5 à 7,5 : fortement salé; supérieur à 7,5 : très fortement salé. Ces valeurs-limites sont valables pour des mélanges de sels; elles seraient un peu plus faibles en cas de salure simple (presqu'exclusivement à base de chlorures par exemple).

Figure n° 10

CARACTERISATION DE LA SALURE D'UN SOL SALE, TOXIQUE

(Profil n° 31)



43. L'application de la méthode de BAZILEVICH à un sol salé du polder Guini (profil 31) (TABLEAU nº XVI, figures nº 10 et nº 11).

431. Présentation du profil.

Profil situé à 100 m de la bordure Est du polder Guini; observé et prélevé le 26 août 1970, donc en saison des pluies. La pluviométrie cumulée était alors de 207 mm dont 43 mm seulement tombés entre le 15 et le 25 août. Secteur du polder non cultivé, et recouvert d'une végétation graminéenne dense; nombreuses repousses de roseaux Typha cf. australis et Phragmites communis. La nappe phréatique est à 115 cm de profondeur.

432. Description du profil.

0-5 cm : humide; gris-noir; pas de tâches salines; structure polyédrique fine fortement développée; quelques agrégats de taille moyenne; sur-structure polyédrique moyenne faiblement développée, peu cohérente; fortement carbonaté dans la masse; les racines sont saines, non tâchées de noir.

5-25 cm : humide; gris-beige; couleur hétérogène par suite de très nombreux plaquages beige à jaune-sombre (jusqu'à 10 YR 4/4 en humide) sur toutes les faces structurales : il s'agit là d'accumulations localisées de carbonates alcalino-terreux; pas de tâches noires, ni dans le sol, ni sur les racines; celles-ci ont par contre une teinte rouille; quelques petites tâches blanches, blanc-sale, le long des pores racinaires, à la base de l'horizon. Structure polyédrique fortement développée, de taille moyenne et grossière; non ou très faiblement carbonaté dans la masse des éléments structuraux.

25-26 cm : ligne noire, discontinue autour du profil, enrichie en matière organique.

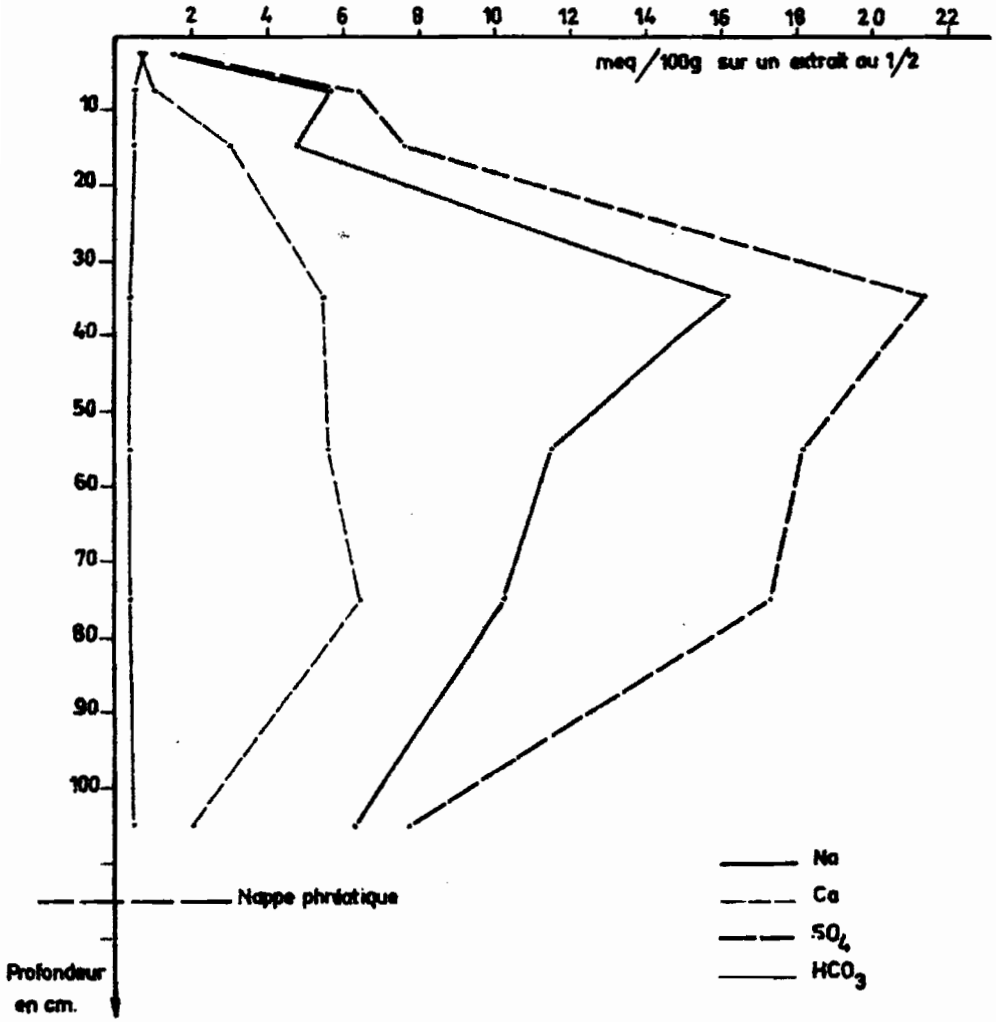
26-50 cm : humide, jaune-brun en humide (10 YR 5/4); nombreuses tâches jaune-rouille de réoxydation sur les parois des éléments structuraux; gaines salines de couleur blanc-sale, discrètes, le long des pores racinaires, ne réagissant pas à HCl. Structure polyédrique fortement développée, de taille très irrégulière : 1 à 5 cm. Horizon fortement carbonaté dans la masse. Quelques grosses racines de roseaux ont sur leurs parois des tâches un peu noirâtres, mais aucune odeur d'hydrogène sulfuré n'est nettement décelable, même avec de l'acide.

50 à 65 cm : humide; gris-sombre; nombreuses tâches rouille sombre de réoxydation; assez nombreuses très petites tâches salines, blanches, discrètes; les tiges des racines de Phragmites communis ne sont pas gainées de noir; structure granuleuse fortement développée; horizon encore fortement carbonaté dans sa masse.

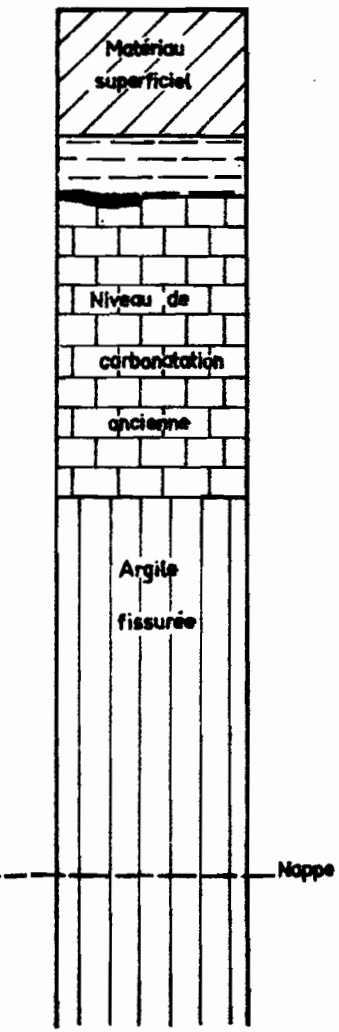
Figure n° 11

CARACTERISATION DE LA SALURE D'UN SOL SALE, TOXIQUE

(Profil n° 31)



0,5à0,7	0 à 0,2	1,6	0,1à0,2
0,5	0,1à0,5	5,7	tr.
0,5	2,6	4,8	tr.
0,4	4,4	16	tr.
0,35	4,4	11,5	tr.
0,35	5,5 *	10,4	tr.
0,5	1,5	6,3	tr.
2,5à3,5	1,2à1,8	24,4	tr.à0,7
$Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	Na_2SO_4	$NaHCO_3$



Sels en meq/100 g, calculés à partir de l'extrait au 1/2.

(en meq/l pour la nappe)

* L'extrait /2 est saturé en gypse.

65 à 115 cm (niveau de la nappe) : humide; nombreuses tâches de réoxydation, brun très sombre; quelques petites tâches salines blanches, discrètes, qui disparaissent à 90 cm; structure prismatique fortement développée, de taille grossière; horizon non carbonaté sinon très localement, par petites plages sur les faces des prismes; pas de tâches noires distinctes et pas d'odeur d'H_2S.

Du point de vue succession des matériaux sédimentaires lacustres, on reconnaît : - de 0 à 5 cm le matériau superficiel; - de 5 à 25 cm la base du matériau superficiel et le matériau intermédiaire; - de 25 à 26 cm, la ligne discontinue correspond à la semi-tourbe; - de 26 à 65 cm le niveau de carbonatation ancienne, jouant dans sa partie inférieure sur le faciès granuleux de l'argile fissurée; - de 65 à 115 cm, l'argile fissurée.

433. La nappe phréatique.

Conductivité de 3,2 mmhos; pH "in situ" de 6,8; pH après agitation prolongée : 8,05. Cette différence de pH traduit le fait qu'"in situ" l'eau de la nappe est dans un état métastable lié à une assez forte pression partielle de CO_2. Celle-ci, calculée par plusieurs méthodes, s'avère d'environ 0,01 atmosphère (méthode graphique de SCHOELLER, tables de PASCAL), alors que celle de l'atmosphère est de 0,0003 et que celle des sols agricoles habituels varie de 0,001 à 0,01. La pression partielle de CO_2 est donc encore assez forte dans la nappe de ce profil, mais plus faible que dans les paysages marécageux de Bérim Sud (0,1 et plus).

Les caractéristiques chimiques de cette eau, déterminées avant agitation et exprimées en milliéquivalente par litre, sont :

Ca^{++} = 5,3; Mg^{++} = 2,6; K^{+} = 0,6; Na^{+} = 24,4. Soit S^{+} = 32,9;

Cl^{-} = 0,65; SO_4^{--} = 29,1; HCO_3^{-} = 3,5. Soit S^{-} = 33,25;

(S^{+}, S^{-}: somme des cations, somme des anions).

Dans la classification des eaux de la nappe proposée au chapitre III, les eaux de la nappe du profil 31 appartiennent au type III : SO_4^{--} domine nettement HCO_3^{-}; la différence $(Ca^{++} + Mg^{++}) - (HCO_3^{-} + Cl^{-})$ est nettement positive; Ca/Mg peu différent de 2.

434. La reconstitution des sels des divers horizons.

Les calculs étant longs et fastidieux, seul le résultat a été figuré, sous forme d'un tableau sur la figure nº 11. Le calcul n'a été effectué et décrit ici, à titre d'exemple, que pour l'horizon 0-5 cm. Il s'agit de données obtenues sur un extrait 1/2. Le raisonnement doit être mené sur 1 litre d'extrait, pour se référer aux tableaux de solubilité.

Ca^{++} = 0,71 meq/100 g soit 3,55 meq/litre d'extrait
Mg^{++} = 0,21 meq/100 g soit 1,0 meq/litre -"-
K^{+} = 0,4 meq/100 g soit 2,0 meq/litre -"-
Na^{+} = 1,7 meq/100 g soit 8,5 meq/litre -"-
Cl^{-} = 0,22 meq/100 g soit 1,1 meq/litre -"-
SO_4^{--} = 1,6 meq/100 g soit 8,0 meq/litre -"-
HCO_3^{-} = 0,8 meq/100 g soit 4,0 meq/litre -"-

- $Ca(HCO_3)_2$ = 2,5 à 3,55 meq/l = solubilité choisie en présence d'un peu de matière organique dissoute; soit 0,5 à 0,7meq/100 g
- $Na\ HCO_3$ = 0,4 à 1,0 meq/l soit : 0,1 à 0,2 meq/100 g
- $Mg\ HCO_3$ = 0,1 à 0,5 meq/l soit : traces à 0,1meq/100 g
- $Ca\ SO_4$ = 0 à 1 meq/l soit : 0 à 0,2 meq/100 g
- $(Na_2, K_2)\ SO_4$ = 7 à 8 meq/l soit : 1,4 à 1,6 meq/100 g
- $Ca\ Cl_2$ = 0 à 1 meq/l soit : 0 à 0,2 meq/100 g
- (Mg, K, Na) Cl = 0,1 à 1,1 meq/l soit : traces à 0,2 meq/100 g
- Teneur en matière organique dissoute = 0,05 meq/100 g.

Ce calcul montre l'intérêt et les limites de la méthode de calcul: dans cet horizon, les sels dominants sont les sulfates alcalins. La présence de bicarbonate alcalin est certaine, quoiqu'à faible teneur. La présence de gypse n'est pas du tout sûre.

On constate à l'examen du tableau de la figure nº 11 que :

- ce sol est salé. Les valeurs présentées ont été obtenues à partir d'un extrait au 1/2, mais les mesures furent également effectuées sur des extraits 1/10 et sur des extraits saturés : la conductivité de ces dernières est supérieure à 4 mmhos entre 5 et 110 cm.

- L'accumulation des sels n'est pas en surface, mais à une certaine profondeur, avec un maximum entre 30 et 40 cm.

- La convergence des formes des courbes de répartition verticale des chlorures (figure nº 10) et de la conductivité est nette. Ceci est assez général dans les sols des polders : alors qu'ils représentent moins de 10 % de la somme des anions, les chlorures peuvent jouer le rôle d'"indicateurs" de la salure globale.

- Le sulfate de sodium et le sulfate de calcium ne s'accumulent pas tout à fait au même niveau du profil; le sulfate de sodium est de loin le sel dominant : 16 meq/100 g entre 30 et 40 cm, ce qui est très supérieur au seuil de toxicité de ce sel. L'accumulation maximum de gypse est observée plus bas dans le profil, entre 70 et 80 cm. L'extrait 1/2 est d'ailleurs saturé en gypse et ne rend donc pas compte de l'intégralité des réserves en ce sel de l'horizon.

- La présence d'un sel alcalin, Na HCO_3, n'est certaine qu'en surface du sol. C'est d'ailleurs le seul horizon où la présence de gypse ne soit pas, au contraire, certaine.

435. En termes de toxicité.

Chaque horizon sera affecté d'un indice de toxicité, I, exprimé en "équivalents chlorures".

Toxicité de l'horizon 0 à 5 cm :

$1,6/5\ (Na_2\ SO_4) + 0,2\ (Cl) + 0,2/2,5\ (Na\ HCO_3) = 0,6.$

Le même type de calcul effectué pour les autres horizons donne :

Horizon 5 à 10 cm: 1,6; horizon 10 à 20cm : 1,4; horizon 30 à 40: 5;
Horizon 50 à 60cm: 3,6; horizon 70 à 80cm: 3,5; horizon 100à110cm:1,7.

BAZILEVICH propose,pour caractériser globalement la salure d'un sol non encore irrigué mais que l'on se propose de mettre en valeur, de s'attacher à la tranche supérieure de sol d'un mètre d'épaisseur. L'indice global de toxicité du profil nº 31 devient alors, en tenant compte des épaisseurs des divers horizons :

$$\text{Indice de toxicité} = \frac{0,6/2 + 1,6/2 + 1,4 \times 1,5 + 5 \times 2 + 3,6 \times 2 + 3,5 \times 2,5 + 1,7}{10} = 3,1.$$

Dans la classification de BAZILEVICH, cette valeur de l'indice classe ce sol dans les sols moyennement salés, assez près de la limite supérieure de cette classe (3,5). Cette méthode est donc assez longue et les calculs quelque peu fastidieux, mais elle aboutit à un indice global de salure (ou de toxicité) très valable pour classer les sols des polders les uns par rapport aux autres.

436. Le degré d'alcalinisation de ce profil.(figure nº 10).

L'alcalinisation de ce profil est forte (valeur de Na/T supérieure à 15 %) de 5 à 25 cm. Les horizons les plus riches en sels, de 25 à 80 cm indiqués par les fortes valeurs de conductivités et de chlorures (cf. § 434), ne sont pas les plus alcalinisés ce que l'on peut attribuer à la présence, de gypse en fortes quantités. La légère désalcalinisation en surface, de 0 à 5 cm, n'est pas expliquée, car elle correspond à la présence du sel le plus alcalin (Na HCO_3).

437. Le problème de la mise en valeur de ce sol.

La salure de ce secteur du polder Guini a été régulièrement suivie et mesurée depuis 1965. La baisse très sensible du plan d'eau observée depuis

lors, près d'1 mètre, s'est traduite par une évolution profonde de la salure du sol, aussi bien de la répartition des sels dans le profil que de la nature des sels. En 1966, ces sols étaient des solonchaks à très forte accumulation superficielle de sulfate de sodium et, en quantité bien moindre mais notable, de carbonate de sodium. Le profil était alors alcalin sur une plus grande épaisseur, plus alcalinisé; les composés du soufre étaient soit à l'état de sulfures en profondeur, soit de sulfate de sodium en surface, mais le gypse n'était représenté dans aucun des horizons.

Quatre ans après, en 1970, l'accumulation saline n'est plus superficielle, même en saison sèche (les résultats analytiques ont trait à la saison des pluies, où le lessivage des sels s'est accentué). Le carbonate de sodium a presque totalement disparu (0,2 meq de $Na\,HCO_3$). Par contre, le gypse apparaît à la base et dans la partie médiane du profil, ce qui se traduit par une certaine désalcalinisation. Le mécanisme qui a joué entre 1966 et 1970 est celui de l'aération du sol, de la réoxydation des sulfures en sulfates, les réactions en jeu étant celles exposées à la fin du § 24.

Peut-on déssaler un tel sol, encore largement au-dessus du seuil de toxicité pour les plantes, par le moyen d'irrigations avec des eaux douces, à des doses en excés ? .

Dans le cas du profil n° 31 ci-dessus étudié, et à la lumière de l'évolution en conditions naturelles du sol depuis plusieurs années, il semble que l'on puisse maintenant répondre favorablement : on peut irriguer ce sol en vue d'une désalinisation, sans risque grave d'alcalinisation secondaire et d'imperméabilisation secondaire, car la teneur en carbonate de sodium résiduel (enregistré sous forme de $Na\,HCO_3$ dans l'extrait) est faible et les matériaux ont conservé une bonne partie de leurs qualités structurales originelles.

44. Application de la méthode à un sol très faiblement salé du polder Guini (profil 22) (TABLEAU nº XII, figure nº 12).

441. Présentation et description du profil.

Ce profil, situé à 100 m de la bordure Ouest du polder Guini, au Sud de Matafo, appartient à l'emplacement dont le régime hydrique a été décrit dans le chapitre sur le vieillissement des matériaux, au § 134. Description et résultats analytiques ont trait à une étude menée le 5 décembre 1968. La salure de ce profil n'a que peu évolué depuis lors.

La surface du sol est sèche, meuble; aucune trace d'efflorescence saline; végétation assez dense de Lactuca taraxifolia.

- 0 - 11 cm : Sec; gris-noir; matériau superficiel enrichi en sables grossiers dunaires; aucune tâche saline; structure polyédrique fine, fortement développée, déliée de 0 à 7 cm; de taille moyenne, non déliée, de 7 à 11 cm; horizon carbonaté, de manière diffuse.

- 11 - 40 cm : Presque sec; gris sombre; matériau argile fissurée de faciès humifère; quelques petites plages sableuses horizontales; aucune tâche saline; nombreuses tâches de réoxydation des composés du fer, de teinte rouge soutenue; structure très développée; en plaquettes fines; faible microporosité des éléments structuraux; non carbonaté.

  De 7 à 29 cm, on observe des poches du niveau de carbonatation ancienne, gris-blanchâtres; nombreux débris de microlamellibranches; la carbonatation n'est pas homogène et laisse au sein de ces poches des polyèdres d'argile fissurée non carbonatée, de 1 cm de diamètre.

- 40 - 68 cm : Humide; gris; matériau argile fissurée de faciès peu humifère; moins tâché par l'hydromorphie; même structure, même porosité que dans l'horizon précédent; non carbonaté.

- 68-134 cm : Très humide; gris-pâle; gleyeux; matériau argile fissurée, à litages blancs de diatomées; tâches jaune-pâle peu nombreuses et poudrage de tâches violacées sur les faces des éléments; structure prismatique grossière fortement développée; enracinement peu abondant et ne recoupant pas les litages blancs, sinon au niveau des fentes; non carbonaté.

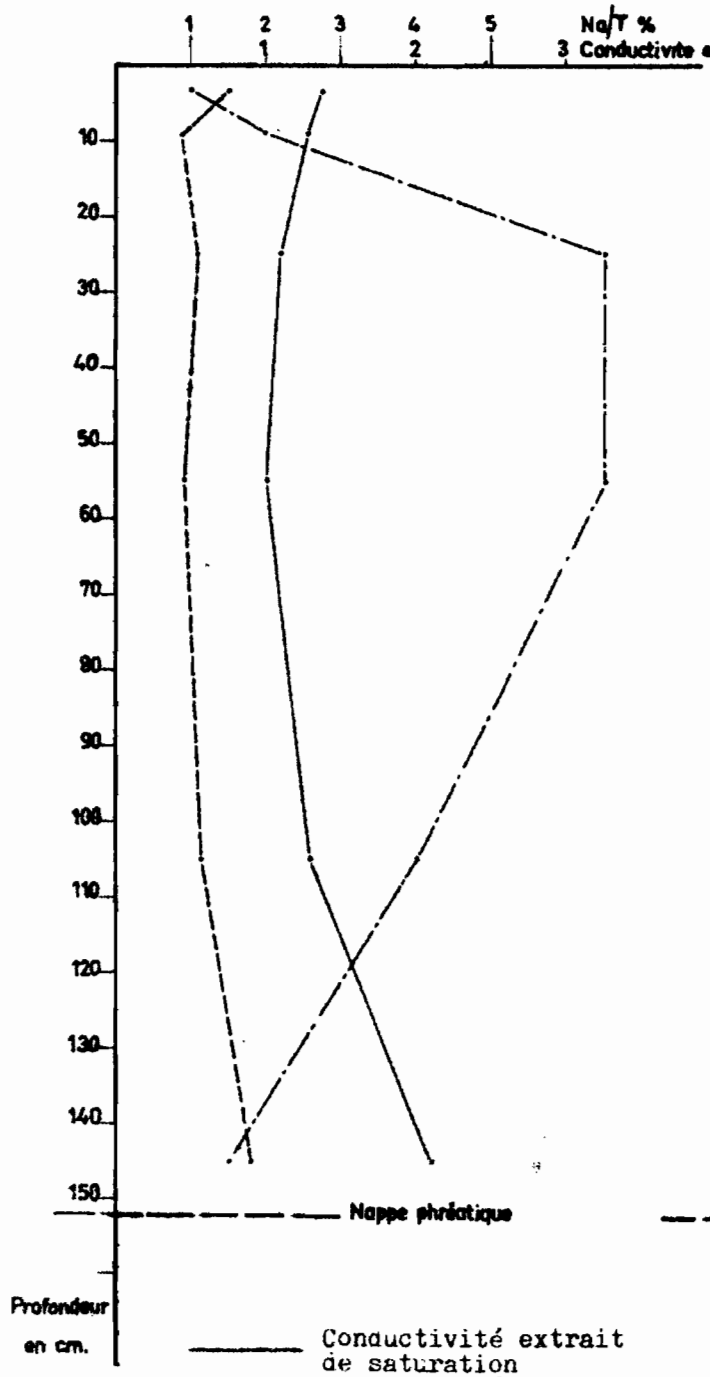
- 134-152 cm (niveau de la nappe) : Extrèmement humide; gris à teinte verdâtre; gleyeux; matériau de transition entre l'argile fissurée et le matériau limono-verdâtre; bandes horizontales de couleur plus noire; toucher un peu onctueux; légère odeur d'hydrogène sulfuré avec HCL; structure prismatique grossière encore assez fortement développée; non carbonaté.

- 152-275 cm : Matériau limono-verdâtre, à faciès nettement moins organique et plus argileux à partir de 240 cm.

- 275 cm : Passage au sable dunaire.

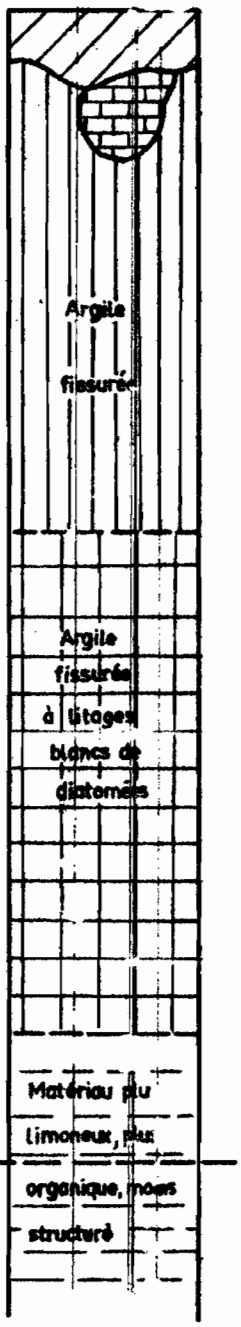
CARACTERISATION DE LA SALURE D'UN SOL TRES FAIBLEMENT SALE

(Profil n° 22)



0,3-0,5	0,3	tr.	0,5
0,3	tr.	0,2	0,2
0,3	tr.	0,4	tr.
0,3	tr.	0,5	tr.
0,2	0,4	0,5	0
0,1	0,9	0,8	0
3,5	0	1,15	1,75
$Ca(HCO_3)_2$	CaSO4	$(Na,K)_2SO_4$	$NaHCO_3$

Sels en meq/100g, calculés a partir de l'extrait aqueux ES (en meq/l pour la nappe)



442. La nappe phréatique.

Observée à 152 cm; sa conductivité est faible : 0,62 mmhos-cm^{-1} à 25°; son pH de 7,0. Cette eau est proportionnellement plus riche en bicarbonates et en sodium que les eaux du type I, pourtant très représentatives de cette bordure du polder (voir § 33). En 1970, la nappe au même emplacement avait le type I.

443. La reconstitution des sels des divers horizons (figure nº 12).

On constate à l'examen des chiffres, présentés sous forme d'un tableau sur la figure elle-même que :

. Ce sol n'est pas salé et ne présente aucune zône d'accumulation particulière. La conductivité de l'extrait saturé est inférieure à 4 mmhos sur tout le profil. Cette très faible salure globale est enregistrée par la quasi-absence de chlorures.

. Cette faible salure accentue le rôle relatif du gypse par rapport au sulfate de sodium. Mais avec d'aussi faibles teneurs ioniques, la reconstitution des sels est aléatoire.

. La toxicité d'un tel sol est évidemment réduite; les valeurs calculées des indices sont de 0,4 dans l'horizon 0-7 cm; 0,3 de 7 à 11 cm; 0,1 de 20 à 30 cm; 0,1 de 50 à 60 cm; 0,1 à 0,2 de 100 à 110 cm.

La valeur de l'indice global de toxicité de la tranche de sol de 100 cm d'épaisseur est comprise entre 0,1 et 0,2 : ce sol n'est pas salé, ni toxique, dans la classification de BAZILEVICH (seuil : 0,3).

. L'alcalinisation de ce profil est elle-même faible. On note que le léger "ventre" d'alcalinisation un peu plus forte, entre 20 et 70 cm, correspond à l'absence de gypse parmi les sels reconstitués à partir des extraits aqueux saturés de ces horizons.

444. Le problème de la mise en valeur de ce sol.

Depuis quatre ans ce sol semble se déssaler naturellement; le lessivage a porté en particulier sur le sulfate de sodium. Dans les conditions de nappe actuelles, l'irrigation d'un tel sol ne visera qu'à alimenter correctement la plante en eau en fonction de ses besoins. L'irrigation avec des doses en excès à des fins de lessivage n'est certes pas déconseillée, mais elle n'est pas indispensable.

45. Application de la méthode à un sol à carbonate de sodium. (profil nº 159) (TABLEAU nº XVI, figure nº 13).

451. Présentation et description du profil.

Ce profil de la partie Sud du polder Bérim a été étudié et prélevé le 29 août 1970, en bordure d'une zône à roseaux Phragmites communis. La surface du sol, très humide, est couverte de débris de roseaux.

- 0 - 5 cm : Humide; gris-olive; matériau superficiel; dans la masse, nombreuses petites plages plus jaunes, diffuses, correspondant à une accumulation localisée de carbonate de calcium; structure polyédrique grossière, mal développée; éléments aisément déformables; fortement carbonaté.

- 5 - 10 cm : Humide; même teinte de fond, même matériau; la taille des plages plus jaunes augmente; structure plus fine et plus développée; carbonaté.

- 10 - 23 cm : Très humide; gris-brunâtre; matériau intermédiaire; de nombreux débris végétaux ont leurs parois noircies, mais sans donner d'odeur d'H_2S avec HCl.

- 23 - 58 cm : Très humide; gris; gleyeux; matériau argile fissurée; quelques tâches de réoxydation; pas de tâches de sulfures; faiblement carbonaté dans la masse.

452. La nappe phréatique.

Sa conductivité est de 3,6 mmhos et son pH "in situ" de 7,4. Après agitation prolongée, ce pH monte à 9,0. Ce déséquilibre traduit une très forte pression partielle de CO_2 "in situ", que l'on peut calculer à 0,08, soit huit fois plus forte que dans le profil nº 31. Du point de vue des caractères chimiques, on note que Mg^{++} est supérieur à Ca^{++}, que les ions très largement dominants sont Na^+ et HCO_3^-. Ces eaux appartiennent au type II bis.

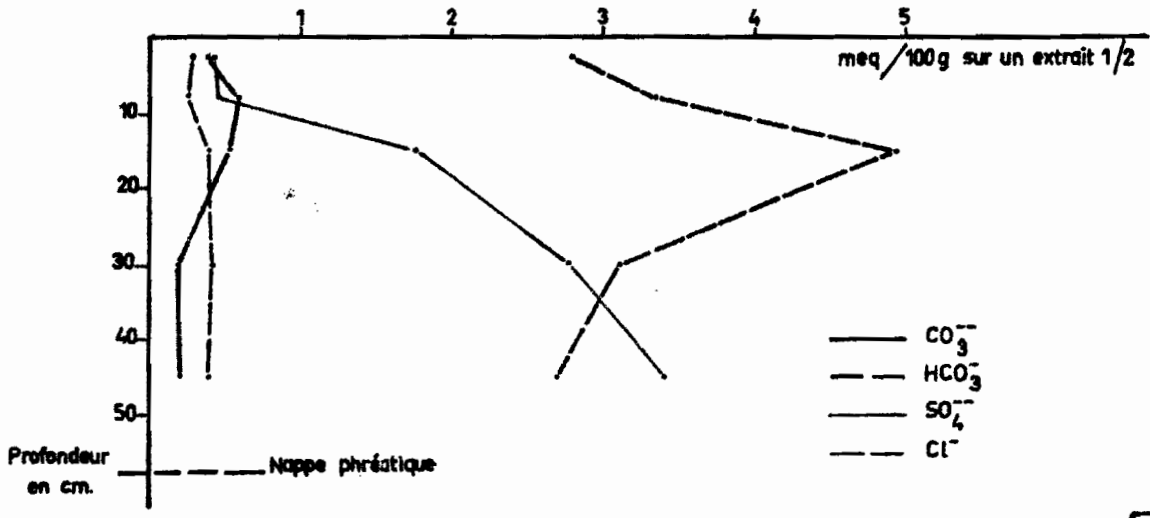
453. La reconstitution des sels des divers horizons. (tableau de la figure nº 13).

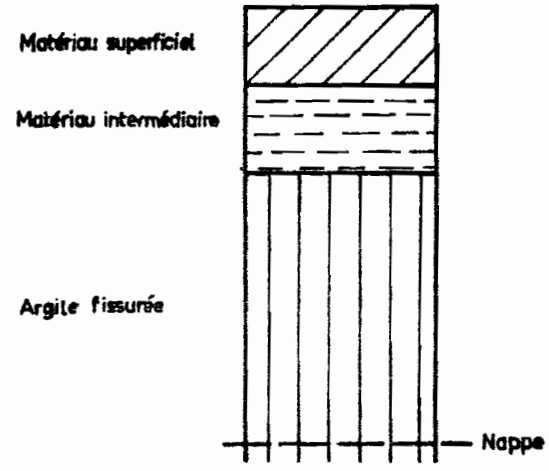
. du point de vue salure globale exprimée par la conductivité de l'extrait au 1/2, ce sol n'est que moyennement salé, beaucoup moins que le profil nº 31.

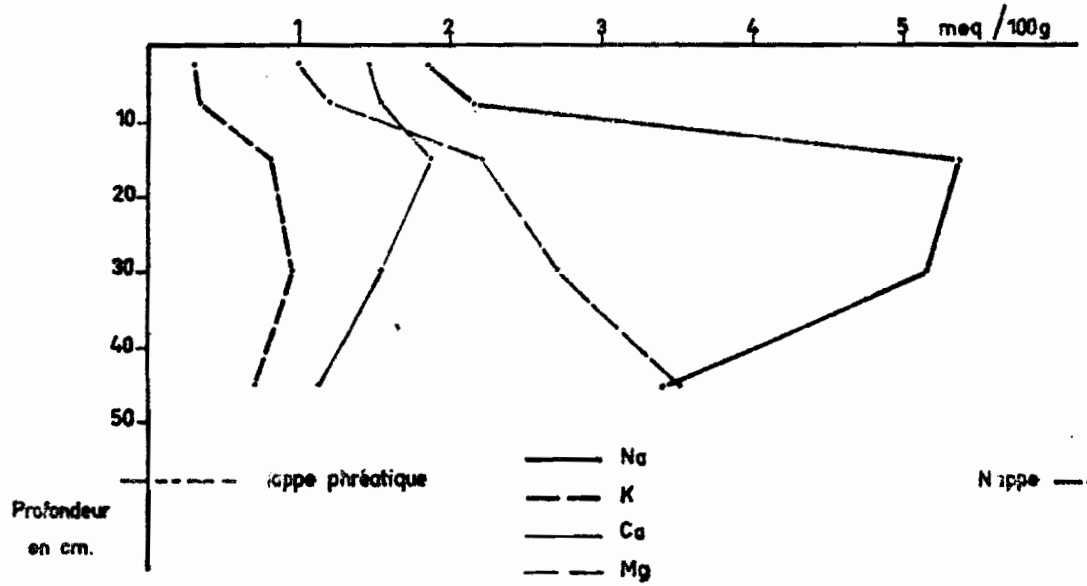
. Le gradient croissant de salure vers la base du profil tel qu'indiqué par la conductivité masque la position réelle dans le profil des sels les plus dangereux.

CARACTERISATION DE LA SALURE D'UN SOL SALE A CARBONATE DE SODIUM

(Profil n° 159 - Bérim Sud)







Na_2CO_3	$NaHCO_3$	$(Na,K)_2SO_4$	$Ca(HCO_3)_2$	Ca lié à la MO	$Mg HCO_3$
0,4	1,0	0,4	0,25	0,4	0,7 à 1
0,6	1,1	0,5	0,25	0,4	1,2
0,55	3,0	1,75	0,25	1,6	1,7
0,2	2,2	2,8	0,25	1,3	0,6
0,2	1,25	2,0	0,25	0,9	1,3
0	24	11,3	1,0	0	2,2

Nappe

Sels du sol exprimés en meq/100g. (en meq/l pour la nappe), calculés à partir de l'extrait aqueux au 1/2.

. Le carbonate de sodium est accumulé entre 0 et 20 cm, mais reste présent sur l'ensemble du profil.

. L'accumulation maximum du bicarbonate de sodium, sel hypothétique reconstitué, est, elle, notée entre 15 et 40 cm.

. C'est à la base du profil seulement que les sulfates sont dominants.

. Il est certain qu'une partie du calcium et du magnésium déterminés sur les extraits aqueux sont liés à la matière organique dissoute. La solubilité du carbonate de calcium en présence de carbonate de sodium est faible. Cette association possible de Ca, Mg, matière organique a d'ailleurs été signalée par BAZILEVICH dans sa méthode de calcul. La capacité anionique de la matière organique dissoute est ainsi de 0,4 meq/100 g de 0 à 5 cm.

Le calcul des indices de toxicité en équivalents chlorures donne les valeurs suivantes :

horizon 0-5 cm: 5,1; horizon : 5-10cm: 7,1; horizon 10-20 cm: 8,0; horizon 25-35 cm : 4,1; horizon 40-50 cm : 3,8.

Soit un indice global, pour la tranche supérieure de sol de 0 à 50 cm, de 5,25, classant ce sol comme fortement salé, très toxique, nettement plus que le profil nº 31.

Cet exemple confirme l'intérêt réel de la méthode de BAZILEVICH : cette méthode intègre tous les aspects de la salure et rend beaucoup mieux compte de l'obstacle réel que constituera la salure du sol donné à une mise en valeur rationnelle, qu'une mesure type conductivité de l'extrait saturé.

454. Le degré d'alcalinisation de ce profil.

Il est très élevé, les valeurs de Na/T % sont successivement de 40 % de 0 à 5 cm, 50 % de 5 à 10 cm, 35 % de 10 à 20 cm, 22 % de 25 à 35 cm, 24 % de 40 à 50 cm. Les horizons sont d'autant plus alcalinisés que le carbonate de sodium est mieux représenté.

455. Le problème de la mise en valeur de ce sol.

Il est grave, car :

. La nappe est déjà assez profonde (58 cm), et il n'y a déjà plus, ou presque, de sulfures dans le sol. Or le carbonate de sodium est loin d'être entièrement neutralisé.

. Le niveau de carbonatation ancienne ($Ca\ CO_3$) n'est pas représenté.

Il serait donc vain, dans ce cas, d'attendre un "miracle" d'une évolution naturelle. La solution qui nous paraît la moins mauvaise est de faire encore baisser nettement et brutalement le plan d'eau, et surtout de ne pas irriguer avec des eaux douces dans l'immédiat, de ne pas chercher à déssaler un tel sol avant que la tentative d'évolution naturelle par drainage n'ait été menée jusqu'à son terme.

46. Extension à l'échelle des deux polders des divers types de sols salés précédemment définis. Introduction à la lecture des calques au 1/5000 de salure et d'alcalinisation.

Trois types de sols salés ont été présentés :

- Un sol salé à sulfate de sodium : profil nº 31. Indice de toxicité : 3,1.
- Un sol très faiblement salé : profil nº 22 - Indice de toxicité entre 0,1 et 0,2.
- Un sol moyennement salé à carbonate de sodium : profil nº 59. Indice de toxicité 5,2.

Tous les intermédiaires entre ces différents types de sol sont évidemment concevables et en fait fréquemment observés. Deux autres types méritent cependant d'être signalés sans faire l'objet des mêmes développements :

. Les sols moyennement salés à sulfate de calcium. Cas du profil nº 5 (TABLEAU nº XII). Les valeurs de la conductivité de l'extrait saturé peuvent être nettement supérieures à 4 mmhos, mais par suite de la forte proportion de gypse, l'indice de toxicité reste modéré : 0,8 (profil nº 5).

. Les sols à partie supérieure salée, à sulfate de sodium et gypse, à partie inférieure alcalinisée par suite de l'apport et du renouvellement d'eaux de la nappe alcalines. Ce type de salure très particulier correspond à la corne Sud-Ouest du polder Bérim.

Les cartes de salure au 1/5000 ont été dressées, en ne dégageant que les grands secteurs, en tenant compte de différents types de données, que l'on s'est efforcé d'intégrer : 1) les données sur les caractères chimiques des eaux de la nappe phréatique. L'intérêt de ces données a été détaillé au chapitre III. 2) les données d'indices de salure (ou de toxicité) globale calculées par la méthode de BAZILEVICH. Ces données sont évidemment réduites en nombre puisqu'elles supposent des profils pour lesquels on dispose d'analyses complètes. 3) les données d'une campagne systématique de prélèvements de l'horizon 0-10 cm, menée au début de l'année 1971. Chacun de ces échantillons a fait l'objet d'une mesure de conductivité d'un extrait aqueux au 1/2. Les valeurs figurent sous forme de caissons sur la carte au 1/5000 des caractères pédologiques des sols.

47. Cartographie du polder Guini.

La synthèse de ces données a conduit à cartographier dans le polder Guini sept plages, numérotées de SG1 à SG7 qui sont délimitées sur le calque au 1/5000 et dont les traits essentiels seront résumés ici :

Plage SG1 : la nappe phréatique est assez profonde : plus de 150 cm au 1er mars 1970. Les eaux de cette nappe sont faiblement salées : catégories 1 et 2 de la carte de conductivité, et du point de vue des caractères chimiques appartiennent au type I, exceptionnellement au type II. La conductivité de l'extrait au 1/2 de l'horizon 0-10 cm est inférieure à 1 mmho. L'indice global de toxicité est inférieur à 0,5, le plus souvent à 0,3.

L'irrigation est à mener sur cette plage avant tout en vue d'une alimentation régulière de la plante sur le plan hydrique. La désalinisation préalable des sols n'est pas nécessaire.

Plage SG2 : la nappe est toujours à plus de 100 cm de profondeur au 1er mars 1970, et le plus souvent entre 100 et 150 cm. Dans la partie nord de cette plage G2, cette profondeur peut atteindre 3 m. Les eaux de cette nappe sont moyennement salées : catégories 1, 2, 3 et exceptionnellement, au sud de la plage, 4 et 5 de la carte de conductivité, avec une très large dominance d'eaux dont la conductivité est comprise entre 0,75 et 1,5 mmhos. Ces eaux appartiennent au type II. La salure de l'horizon de surface 0-10 cm est, en valeur de conductivité de l'E 1/2, comprise entre 1 et 3 mmhos, sauf exceptions mais les valeurs étant alors plus faibles. L'indice global de toxicité est inférieur à 1. Tous ces sols contiennent du gypse, en quantités variables, mais toujours décélables.

L'irrigation ne pose pas de problème. Il peut être intéressant, mais pas absolument indispensable de prévoir une irrigation avec des doses en excés, à des fins de lessivage des sels. Pas de danger d'alcalinisation secondaire.

Plage SG3 : L'extension de cette plage, à l'extrême-nord de Guini, est réduite, mais il est probable que d'autre petites plages, non repérées, et de mêmes caractéristiques, existent dans cette partie du polder; cette plage correspond à des sols plus salés que les précédents : la conductivité de l'horizon 0-10 cm est comprise entre 3 et 5 mmhos. Mais le sol dominant est le gypse et l'indice global de toxicité reste nettement inférieur à 1,5 (profil nº 5 : TABLEAU nº XII).

Ces sols sont à lessiver par précaution, sans danger d'alcalinisation secondaire.

Plage SG 4 : la nappe est entre 100 et 200 cm de profondeur, sa conductivité comprise entre 1,5 et 5 mmhos, l'eau de type II ou III. Les sols sont salés, avec une conductivité en surface de 3 à 5 mmhos, comme dans la plage SG 3. Mais le gypse, quoique présent, joue un rôle secondaire par rapport au sulfate de sodium et la valeur de l'indice de toxicité est plus élevée, de l'ordre de 1 à 3.

Il est nécessaire d'irriguer pour déssaler ces sols, les risques d'alcalinisation secondaire restant réduits.

Plage SG 5 : c'est la plage la plus difficile à traiter car à la fois la plus salée (salure de la nappe, type IV - salure de l'horizon 0-10cm, supérieure à 5 mmhos) et la plus alcaline, avec présence de carbonate de sodium résiduel en surface. L'indice de toxicité est aux environs de 3. S'il dépasse très nettement cette valeur, localement, c'est en considérant une tranche de 50 cm d'épaisseur seulement . Il est probable (voir étude du profil 31) que cette plage pourrait maintenant être irriguée sans danger grave.

Il paraît conseillé malgré tout de n'irriguer ce secteur à des fins de lessivage des sels que si le plan d'eau est à plus de 150 cm, pour que l'aération des profils et la réoxydation qui en découle aient joué pleinement leur rôle.

Plage SG 6 : c'est le problème particulier déjà évoqué de la corne Sud-Ouest du polder, avec des sols alcalinisés seulement en profondeur et des sels neutres, dont localement du gypse, dans la partie supérieure du profil. Ces sols sont très bien drainés intérieurement; il ne s'agit donc pas d'un problème d'aération des profils. Il faut profiter au mieux de la faible réserve de gypse pour désalcaliniser, au moins partiellement, les horizons inférieurs.

Pour cela, il faudra rechercher un lessivage ménagé et progressif des sels, sans les éliminer trop brutalement jusqu'à la nappe, donc faire "descendre" dans le profil le front de salure maximum (horizon 10-20 cm du profil 52 : TABLEAU nº XVI), lentement.

Plage SG 7 : nous ne disposons pas de données particulières sur cette plage, dont le degré de salure global s'apparente à celui de la plage SG 2. Il faut voir là l'influence d'eaux faiblement salées venant, d'Est en Ouest, de la dune.

Remarque.

L'extension des plages ainsi définies est à comparer à celle des plages proposées en 1966 (CHEVERRY, 1967, chapitre 5). La plage SG 1 de 1970-1971 recouvre assez bien la plage 5-3 a de 1966, dont il était dit : "secteurs qui pourraient encore être utilisés, du point de vue de leur salinité, pendant encore au moins dix ans, même en l'absence d'aménagement hydro-agricole : apport d'engrais éventuellement nécessaire après 5 ans". Ceci a été confirmé. La plage SG 2 recouvre les plages 5-3 b et, en partie 5-2. Le jugement sur 5-3 b : "secteurs qui ne pourraient guère être utilisés au delà de 5-7 ans, le seuil de salinité étant atteint alors" apparaît quelque peu pessimiste, car ces sols auraient pu encore être utilisés quelques années, même sans irrigation avec des eaux douces. Les plages SG 4 et SG 5 recouvrent approximativement les plages 5-2 et 5-1 b de 1966; les jugements de cette période ont été confirmés, mais ces sols n'ont pratiquement jamais été utilisés pour la culture, car la demande de terrains par les paysans a fortement décru depuis lors.

48. Cartographie du polder Bérim.

Dans le polder Bérim, neuf plages ont été cartographiées, numérotées SB 1 à SB 9.

Plage SB 1 : extrémité Nord du polder; la cote de la nappe au 1er mai 1970 était inférieure à 275,5 m, valeur la plus basse des deux polder. La profondeur et la conductivité des eaux de cette nappe sont variables, mais avec une nette dominance de nappes profondes : 200 à 330 cm, et salées : 3 à 10 mmhos. L'horizon 0-10 cm est lui-même salé : conductivité supérieure à 3 mmhos. L'indice de toxicité calculé sur un sol prélevé en saison sèche 1968, dans un des secteurs les plus salés (profil n° 60), était de 1,6 pour une tranche de 50 cm d'épaisseur. Tous les sols contiennent de fortes quantités de gypse.

Le lessivage des sels par irrigation est nécessaire avant la mise en valeur; il ne présente pas de danger particulier.

Plage SB 2 : Nord du polder; cote de la nappe entre 275,5 et 276 m au 1er mai 1970. Là encore, profondeur et conductivité de cette nappe sont très variables mais avec dominance des valeurs : 100 à 200 cm (profondeur), 0,75 à 3,0 mmhos (conductivité). Les eaux sont du type II. L'horizon 0-10 cm est moyennement salé : valeurs de conductivité le plus souvent comprises entre 1 et 3 mmhos. L'indice de toxicité, calculé sur le profil nº 85 (TABLEAU nº XIV) est de 0,55 pour une tranche de 100 cm d'épaisseur. Présence de gypse dans les sols, mais en quantités parfois faibles.

Le lessivage préalable des sels par irrigation n'est pas indispensable, mais il est sans danger et conseillé. La plage SB 2 présente des caractères communs avec la plage SG 2, avec une nappe un peu plus profonde.

Plage SB 3 : plage d'extension restreinte correspondant à des secteurs d'arrivée, au niveau de la nappe, d'eaux d'infiltration faiblement salées.

Sols faiblement salés, bons pour la culture sans désalinisation préalable (équivalent de SG 1); d'autres petites plages SB 3, non cartographiées car non répérées avec précision, existent dans ce secteur Nord.

Plage SB 4 : Centre du polder; le niveau piézométrique de la nappe est très variable, croissant du Nord vers le Sud de la plage; profondeur de 75 à 100 cm, sauf tout a fait au Sud de la plage; conductivité des eaux de 0,75 à 3 mmhos, très localement plus forte. La salure de l'horizon 0 à 10 cm, est très variable, fonction de la profondeur de la nappe, mais toujours assez forte, supérieure à 3 mmhos, sauf exception. Les indices de toxicité ont des valeurs calculées de :

0,6	Profil nº 96	(0-100 cm)	(TABLEAU nº XIV)
1,4	Profil nº 122	(0-100 cm)	(TABLEAU nº XIV)
0,5	Profil nº 123	(0-100 cm)	(TABLEAU nº XV)

Ces valeurs sont donc très diverses suivant les profils, mais on note l'apparition de sols salés sur une forte épaisseur (profil nº 122). Les profils nº 96 et 123 sont à forte salure, mais uniquement superficielle.

Une irrigation de ces sols à des fins de lessivage ne pourra être envisagée que lorsque le niveau de la nappe aura été stabilisé à plus de 150 cm de profondeur.

Plage SB 5 : L'aménagement de cette plage est, du point de vue salure, actuellement difficile à concevoir car le régime des sels est loin d'être stabilisé. Les eaux d'infiltration d'origine lacustre, passant sous le 3ème barrage, jouent un rôle net sur les caractères de la nappe phréatique. Les sédiments ne sont pas "vieillis". La salure des sols, très variable, est de caractère assez alcalin.

La partie Nord de la plage peut déjà être cultivée; la partie Sud non. Un jugement plus sûr à propos de l'évolution de la salure de ce secteur supposerait d'abord de savoir si le 3ème barrage fera l'objet ou non de travaux d'étanchéification.

Plages SB 6 et SB 8 : la cartographie de la partie Sud du polder Bérim suivant les critères énoncés au § 46 est difficile et son intérêt moindre. En effet, la nappe étant peu profonde, les couvertures du sol très différentes (roseaux denses, repousses de roseaux, prairies, terrains dénudés, terres cultivées), les phénomènes de salure évoluent très rapidement et très diversement en fonction du temps, d'où une très forte hétérogénéité dans l'espace.

Les plages SB 6 et SB 8 représentent des étapes de transition de salure croissante entre les plages SB 4 et SB 9 (sols salés à carbonate de sodium). Le niveau piézométrique de la nappe est très variable du Nord au Sud de ces plages : 276,75 à 278 m; la profondeur de la nappe également, mais elle oscille fréquemment entre 25 et 75 cm. La conductivité des eaux varie enfin sur une large gamme, de 0,5 à plus de 5 mmhos; types I, II bis, III bis. L'horizon superficiel, 0-10 cm, est moyennement salé dans le cas de la plage SB 6 : 1 à 3 mmhos sauf exception; plus salé sur la plage SB 8 : 3 à 5 mmhos. Ces sols ne contiennent pas de gypse et leur pH superficiel est très alcalin. Cependant la présence de carbonate de sodium est rare. Certaines superficies de ces plages ont été cultivées, sans irrigation, en 1968-1969. L'aménagement de ces plages du point de vue salure est difficile à dissocier de celui de la plage SB 9. Le profil nº 159 appartient à la plage SB 8, et son indice de toxicité est élevé (5,25 pour la tranche de sol de 50 cm d'épaisseur).

Plage SB 7 : Ce sont des plages d'extension réduite, en contre bas des dunes; des arrivées d'eaux d'infiltration faiblement salées ont évité à ces sols une salure alcaline.

Ces terres peuvent aisèment être cultivées. La cartographie ne rend pas compte du morcellement réel de ces petites plages, éparpillées le long des bordures dunaires.

Plage SB 9 : C'est la plage la plus importante, en extension, de la moitié Sud du polder Bérim. Le niveau piézométrique passe du Nord au Sud de cette plage de 276,75 à 278,50 m. La profondeur est variable mais toujours faible : 0 à 75 cm. La conductivité des eaux très hétérogène : 0,3 à 10 mmhos. (type : faciès lacustre, II bis, III bis, IV). La salure de l'horizon 0-10 cm est en règle générale supérieure à 3 mmhos, parfois à 10 mmhos. Les sols sont dépourvus de gypse (sinon localement en traces) mais contiennent fréquemment du carbonate de sodium dans leurs horizons supérieurs. Les indices de toxicité n'ont qu'un intérêt limité, car ils concernent des tranches de sol peu épaisses. Pour le profil nº 162, on obtient une valeur de I supérieure à 15 pour la tranche 0-10 cm.

Les lignes directrices de l'aménagement de cette plage ont été tracées en conclusion de l'étude du profil nº 159 : il faut d'abord drainer ces sols, puis laisser s'écouler un temps suffisant pour que les sédiments "vieillissent". Dans les secteurs à nette accumulation superficielle de carbonate de sodium, l'écrémage de ce sel doit être envisagé, en raclant par exemple le sol sur 3 à 5 cm d'épaisseur, après l'avoir émietté. Seulement alors l'irrigation pourra être envisagée.

Remarque : Comparaison de la carte 1970-71 avec la carte d'aptitude culturale de 1966 (CHEVERRY, 1967).

La plage SB 1 recouvre partiellement la plage 5-4 a de 1966 dont il était dit : "la nappe descend à 2 m ou plus; l'irrigation avec le système des "chaddoufs" n'est pas ou n'est plus pratiquée; la nappe est salée (conductivité supérieure à 2,25 mmhos) et les sols également; une reprise de la culture, avec irrigation au chaddouf, est souhaitable, sachant néanmoins qu'alors, au bout de 5 ans environ, le seuil de salinité serait atteint".

L'évolution des 5 dernières années a confirmé ce jugement. Cette reprise des cultures n'a pas eu lieu, et ne serait plus concevable maintenant sans irrigation préalable avec des eaux douces.

La plage SB 3 correspond à la plage 5-3 a de 1966, au Nord-Est, mais ne la recouvre que partiellement. Le reste de cette plage 5-3 a est devenu SB 2, plage à laquelle s'applique bien la prévision de 1966 : "secteurs qui pourraient encore être utilisés, du point de vue de leur salinité, pendant encore au moins dix ans, même en l'absence d'aménagement hydro-agricole".

Il y a un certain recouvrement géographique entre la plage SB 4 et la plage 5-2, de 1966 : "durée prévisible d'utilisation en Bérim : 5 à 7 ans, c'est à dire 1971-1973". Les indices de toxicité ont effectivement maintenant des valeurs de 0,5 à 1,4 et ces sols ne pourraient plus, ou assez peu de temps, être cultivés avec le chaddouf.

La plage SB 9 enfin, recouvre partiellement les plages 5-1 a et 5-1 b, dont la durée prévisible d'utilisation annoncée en 1966 était de 5 à 7 ans (1973). Ces sols sont maintenant salés. Une baisse encore sensible du niveau du lac Tchad, telle qu'elle semble s'amorcer durant cette saison sèche 1971-1972, incitera peut-être les paysans à défricher et à cultiver ces terres, vue leur proximité de la ville de Bol. Mais cette utilisation sera rapidement (1 à 2 ans) freinée par la salure et le pH.

V. LE PROBLEME DE L'IRRIGATION AVEC DES EAUX BICARBONATEES.

Application de la méthode de BOWER et al. au cas des eaux du Lac Tchad et de la nappe phréatique des polders.

51. La méthode classique d'appréciation de la qualité d'une eau d'irrigation.

C'est la méthode de RICHARDS (1954) mise au point par le laboratoire d'étude des sols salés des U.S.A., à Riverside, et qui met en avant deux caractéristiques de l'eau : sa salure globale, estimée par une mesure de conductivité, et indicatrice des risques de salinisation secondaire, et son caractère plus ou moins alcalinisant vis à vis du complexe adsorbant du sol qu'elle irriguera, exprimé par la valeur du SAR (sodium - adsorption - ratio):

$$SAR : \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

(données ioniques de l'eau exprimées en meq/l).

La classification des eaux par "qualités" découle directement de la combinaison de ces deux critères par l'utilisation de tableaux à double entrée : conductivité en abscisse, SAR en ordonnée, avec délimitation sur le graphique et d'après des données d'expériences, de secteurs (C_1 S_1 ... etc). Dans le rapport "salinisation et alcalinisation des sols de Bol" paru en 1969, cette méthode a été utilisée (figure 16); il apparaissait, et ces conclusions restent valables, que :

- les eaux du Lac Tchad sont bonnes (C_1 - S_1)
- les eaux de la nappe phréatique des polders sont assez bonnes (C2 - S1) lorsqu'elles sont très faiblement minéralisées (conductivité inférieure à 0,75 mmhos).
- lorsque la salure des eaux augmente (0,75 à 2,25 mmhos), leur qualité est "médiocre" si elles ont été prélevées dans des paysages à sols bien drainés (C3 - S1), mauvaise si elles ont été prélevées dans des paysages marécageux (C3 - S2).
- au delà de 2,25 mmhos, ces eaux sont mauvaises, surtout celles des catégories C4 S3 et C4 S4.

Il est conseillé, avec le système traditionnel au chaddouf, de ne pas utiliser des eaux dont la conductivité dépasse 1,5 mmhos.

52. Le problème particulier de l'utilisation des eaux bicarbonatées.

La méthode classique, faisant appel au seul SAR des eaux d'irrigation ne rend qu'approximativement compte des risques d'alcalinisation secondaire du profil. Car la relation maintenant bien admise rapproche le SAR des solutions du sol et la fraction de sodium fixé sur le complexe adsorbant. Or le SAR des eaux peut changer lorsque ces eaux sont mises en contact avec le sol. C'est avec des eaux initialement bicarbonatées que ce changement est le plus sensible et on a fréquemment observé alors :

- une précipitation de $Ca\ CO_3$.
- par suite, une diminution de la conductivité des eaux.
- mais une augmentation de leur SAR, par élimination partielle du calcium.

Des telles eaux bicarbonatées deviennent donc au contact du sol moins dangereuses du point de vue salinisation secondaire et plus dangereuses du point de vue alcalinisation secondaire que ne le laisserait prévoir la méthode classique, qui ne tient pas compte de la nature des anions. Avec des eaux à sulfates, et plus encore à chlorures, ces phénomènes sont peu marqués car les sels correspondants sont assez solubles.

Dans le but de pallier cet inconvénient, plusieurs chercheurs ont introduit un troisième facteur pour caractériser une eau d'irrigation. C'est le cas d'EATON, qui a proposé la notion de "$Na_2\ CO_3$ résiduel", indice calculé d'après la formule : $(CO_3^{--} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++})$. Cette notion a été fortement contestée depuis lors.

Ce problème mérite d'être abordé sous ce nouvel angle dans le cas des polders, car les eaux du Lac Tchad que l'on prévoit d'utiliser pour l'irrigation sont excellentes d'après le diagramme de RICHARDS, mais l'anion presqu'exclusif est l'anion HCO_3^{-}. Quels sont les risques d'alcalinisation des sols, à long terme, que fait courir leur emploi ?.

La méthode de BOWER fournit des éléments de réponse et il apparaît qu'avec les eaux du Lac ce risque est très faible. Il a paru utile de détailler ici cette méthode et les calculs effectués dans le cas des eaux du Lac et de la nappe.

53. La méthode de BOWER et al. (1ère partie)

Le problème de l'utilisation des eaux bicarbonatées pour l'irrigation a été traité depuis 1965, cette fois-ci encore par l'équipe américaine de Riverside, sous la direction de BOWER, assisté de WILCOX, Mac NEAL, RHOADES ... . La méthode qu'ils proposent s'appuie sur des considérations théoriques, sur des expériences de mise en valeur (dans la vallée de l'Indus,

et aux USA) et sur des expériences en lysimètres. Elle consiste à affecter le SAR des eaux d'irrigation d'un coefficient de correction tenant compte du devenir probable de ces eaux au contact du sol.

531. Le principe de la méthode.

C'est une application de l'index de LANGELIER : dans un système fermé, c'est à dire sans pertes de CO_2, soit pH_a le pH actuel de l'eau et pH_c le pH théorique qu'aurait cette eau si elle était en équilibre avec $Ca\ CO_3$.

Si l'index I : $(pH_a - pH_c)$ est positif, l'eau en question aura tendance à précipiter du $Ca\ CO_3$. Si l'index est négatif, l'eau aura tendance à dissoudre du $Ca\ CO_3$. Le terme pH_c peut être calculé par la formule :

$$pH_c = (pK'_2 - pK'_c) + pCa + pAlK.$$

avec : pK'_2 : logarithme négatif de la 2ème constante de dissociation de $H_2\ CO_3$.

pK'_2 : logarithme négatif du produit de solubilité de $Ca\ CO_3$.

pCa, pAlK : logarithmes négatifs des concentrations molaires du calcium et de $(HCO_3^- + CO_3^{--})$, ces concentrations étant elles-mêmes fonction de la force ionique du milieu.

532. Application de la méthode.

BOWER propose une série de modifications ou d'approximations, aboutissant à une formule empirique :

. dans un problème d'irrigation, on considérera que les réactions du magnésium et du calcium seront, vis à vis de l'alcalinisation du sol, proches. On remplacera donc, dans le calcul de pH_c, pCa par p (Ca + Mg), soit pH_c*

. on substituera au pH de l'eau d'irrigation, milieu faiblement tamponné, le pH actuel du sol, qui est un milieu mieux tamponné.

. on estimera enfin que le pH approximatif d'un sol en équilibre avec du $Ca\ CO_3$ est de 8,4. Ceci n'est pas valable pour les sols contenant du $Na_2\ CO_3$, tels ceux de la plageSB 9 de Bérim.

L'expression de l'index de LANGELIER se simplifie alors :

$$I = (8,4 - pH_c^*)$$

BOWER proposa en 1965, à partir d'une étude menée sur la vallée de l'Indus, la formule :

$$\underset{\text{(sol irrigué)}}{Na/T} = 2\ SAR \underset{\text{(eau d'irrigation).}}{\left[1 + (8,4 - pH_c^*)\right]}$$

54. Application de cette formule au cas des eaux du Lac et de la nappe.

L'analyse suivante (effectuée par J.P. CARMOUZE, déjà citée au § 24) rend compte de la nature chimique des eaux du Lac au large de Bol : Ca^{++} = 0,56 meq/l; Mg^{++} = 0,36 meq/l; Na^{+} = 0,36 meq/l. HCO_3^- = 1,4 meq/l. Soit en utilisant les tables de WILCOX tenant compte des données ioniques de l'eau :

SAR eau du Lac : 0,53; pK_c^* = 8,33

$Na/T = 2 \times 0,53 \times 1,07 = 1,13\ \%$.

Suivant la formule de BOWER de 1965, des eaux du Lac qui auraient la composition ionique ci-dessus ne pourraient provoquer qu'une alcalinisation très faible des sols qu'elles irrigueraient.

Le même calcul a été appliqué aux eaux de la nappe des trois profils étudiés en détail dans ce rapport, en supposant qu'elles servent à irriguer des secteurs du polder correspondant à ces types de profils :

Profil nº 22 : Na/T calculé = 2 × 1,6 × 1,9 = 6,1 %. Acceptable.

Profil nº 31 : Na/T calculé = 2 × 12,2 × 1,95 = 23,8%. Très dangereux.

Profil nº 159: Na/T calculé = 2 × 26,2 × 2 = 105 %. Prise en masse, dégradation très poussée.

Ces valeurs indiquent bien la gamme des dangers d'alcalinisation secondaire que ferait courir l'utilisation de telles eaux pour l'irrigation. Elles sont du même ordre que les alcalinisations effectivement mesurées sur les horizons supérieurs de ces sols lorsque la nappe était très peu profonde et l'accumulation saline superficielle. Le complexe adsorbant des horizons à carbonate de sodium, notamment, est pratiquement saturé par le sodium.

55. La méthode de BOWER et al., 2ème partie. Intérêt de poursuivre cette étude dans le cadre de la station expérimentale des polders. Le rôle du coefficient de lessivage.

La formule précédente a l'avantage d'être simple et nos calculs nous conduisent à la juger valable et utile dans le cas des polders. Mais elle n'est qu'un cas particulier de formules plus générales proposées par la suite par l'équipe de BOWER, à partir d'expériences en lysimètres.

Dans la pratique de l'irrigation, le facteur "coefficient de lessivage : "LF" intervient également. Ce coefficient représente la fraction de l'eau apportée par irrigation, exprimée en dixièmes d'unité, qui percole au delà de la zone racinaire et qui peut être drainée. Soit SAR_{iw} le SAR des eaux d'irrigation, et SAR_{dw} le SAR des eaux de drainage, on a la relation :

$$SAR_{dw} = \sqrt{\frac{1}{LF}} \times SAR_{iw} \quad ;$$

ceci dans la mesure où la concentration et la composition de la solution du sol dans la zône racinaire sont à un état d'équilibre; lorsque l'on irrigue et que ce régime d'équilibre est atteint, l'expérience montre que la distribution de la salure et du sodium échangeable dans le profil est assez régulière, avec une augmentation progressive des valeurs vers la base des profils. Ces valeurs sont alors évidemment d'autant plus fortes (salure et Na/T) que le coefficient de lessivage, LF, est plus faible (dans la gamme 0,1 à 0,4).

Les SAR des eaux de drainage (SAR_{dw}) et de la solution du sol dans la tranche la plus salée et la plus alcalinisée à la base du profil, sont alors pratiquement identiques. Or le SAR de la solution du sol à ce niveau du profil <u>traduit directement</u> le risque d'alcalinisation secondaire maximum que court le profil sous irrigation. La formule de BOWER de 1965 :

$Na/T = 2\ SAR \left[1 + (8,4 - pH_c^*)\right]$ peut alors être considérée comme un cas particulier, avec $\sqrt{1/LF} = 2$ d'une formule plus générale qui s'écrirait :

$$SAR_{dw} = \sqrt{\frac{1}{LF}} \times SAR_{iw} \left[1 + (8,4 - pH_c^*)\right] .$$

Et c'est cette formule ainsi écrite qui a été vérifiée par les expériences en lysimètres. RHODES en a donné, en 1968 également, une formulation mathématique plus complexe, faisant intervenir la possibilité de certains minéraux du sol de libérer du calcium, par altération en milieu irrigué et en remplaçant le coefficient de lessivage, LF, par un coefficient LR ("leaching requirement") qui n'est plus une donnée brute mais une valeur estimée : LR est la fraction estimée de l'eau d'irrigation apportée qui <u>devrait</u> percoler et drainer pour empêcher une accumulation saline excessive dans la zone racinaire. LR est donc fonction de la culture pratiquée. Sous son expression la plus générale, la formule s'écrit alors :

$$SAR_{dw} = \frac{y\ (1 + 2LR)}{\sqrt{LR}} \times SAR_{iw} \left[1 + (8,4 - pH_c^*)\right] .$$

avec y : coefficient d'altération des minéraux du sol;

Intérêt de cette méthode dans le cas des polders.

Ces formules peuvent sembler complexes et d'utilisation difficile. Elles nous paraissent néanmoins indiquer dans quel esprit pourraient être poursuivies les études sur les risques d'alcalinisation secondaire par irrigation, dans le cas des sols de polders :

a) - l'utilisation des eaux du Lac semble sans danger. Mais l'eau prélevée le sera au fond d'un bras du Lac, où des phénomènes de concentration auront pu se produire. Il serait donc prudent d'analyser périodiquement l'eau d'irrigation (2 à 3 fois par an) et de recalculer alors Na/T % prévisible en fonction du SAR et du pH_c* de ces eaux.

b) - la surveillance devrait être plus stricte, si le réseau était alimenté, de façon temporaire ou locale, par les eaux de la nappe. Prélevées dans un sol humifère, ces eaux risquent d'avoir une certaine pression partielle de CO_2, dont il est tenu compte par le pH_c*, dans la formule de BOWER. La précipitation de $Ca\ CO_3$ se fera alors soit dans les sols, soit dans les canaux, mais le résultat du point de vue alcalinisation secondaire serait le même. Les eaux de la nappe devraient donc également être analysées, périodiquement, et le calcul de BOWER effectué à l'aide des tables de WILCOX.

c) - en cas de début d'alcalinisation secondaire, il faudrait jouer sur le coefficient de lessivage, LF, en l'augmentant. Ce coefficient figure en effet, à la racine carrée, au dénominateur des formules Na/T ou SAR_{dw} = f (eau utilisée).

d) - il serait intéressant et utile, dans le cadre du fonctionnement d'une station, de prélever et d'analyser les eaux de drainage. Ceci dans des conditions de régime d'irrigation bien définies et stabilisées, en utilisant soit des lysimètres, soit des dispositifs "in situ" de récolte des eaux de percolation. Ces données permettraient de confirmer ou non la validité des équations de l'équipe américaine dans le cas de ces sols humifères, et ainsi de donner toute garantie sur l'avenir de ces sols sous irrigation, du point de vue de l'alcalinisation.

e) - le cas des sols à carbonate de sodium devra être traité sur d'autres bases, expérimentales.

56. Les conséquences de l'irrigation traditionnelle au chaddouf sur la salure des sols.

Il ne sera pas insisté sur ce point, parce qu'il a été traité en détail en 1969 (CHEVERRY, 1969 : salinisation et alcalinisation des sols des polders, chapitre VI) et surtout parce que depuis lors les surfaces ainsi cultivées dans les deux polders ont considérablement diminué, représentant en 1971 moins de 5 % de la superficie totale.

Il faut toutefois rappeler que, dans des conditions bien définies (conductivité des eaux inférieure à 1,5 mmho ; SAR inférieur à une valeur plus faible que celle indiquée en 1969 : 4 ou 5 au lieu de 6; position amont des systèmes de drainage latéral de la nappe), ce système ne présente pas de danger grave pour la salure des sols.

VI. L'EVOLUTION DES RESERVES ORGANIQUES DES SOLS DES POLDERS. NIVEAU DE CES RESERVES EN 1971.

Il a été traité au § 22 de la matière organique des sédiments considérée comme un héritage sédimentologique de la phase subaquatique. On s'attachera maintenant à définir l'état de ces réserves organiques en 1971, au niveau de l'horizon superficiel 0-10 cm, celui qui est le plus concerné par l'enracinement superficiel du blé et le plus touché par les phénomènes d'appauvrissement.

61. Répartition dans l'espace des teneurs en matière organique de l'horizon superficiel.

Les valeurs sont figurées sur la carte au 1/5000 des caractères pédologiques des sols. Les variations de ces valeurs dans l'espace, valeurs d'ailleurs assez groupées entre 6 et 11 %, ne semblent pas obéir à des lois nettes, à des gradients le long de tel ou tel axe. Une cartographie des teneurs en matière organique est donc très difficile. Néanmoins, trois secteurs jouent un rôle particulier :

- dans le Sud de Bérim, on peut délimiter une plage dont l'extension recouvre à peu près celle de la plage SB 9 définie pour la salure. Cette plage est caractérisée par des teneurs élevées en matière organique, supérieures à 10%; le caractère marécageux, le "vieillissement" peu marqué des sédiments, le fait qu'il n'y ait pratiquement jamais eu de cultures, expliquent le maintien des réserves organiques de l'horizon superficiel de ce secteur à un niveau élevé.

- à l'opposé de la gamme, on peut délimiter dans le secteur de Matafo, en Guini Ouest, une plage où la teneur en matière organique est plus basse que dans le reste du polder : 6 % environ; cette plage apparaît liée à un appauvrissement local, par suite du caractère très cultivé de ce secteur depuis vingt ans.

- enfin, sur les bordures des polders, en contre-bas des dunes, une bande d'une cinquantaine de mètres de largeur est caractérisée par des teneurs en matière organique également plus faibles que la moyenne. Il s'agit là non d'un appauvrissement lié à l'utilisation du sol, mais d'un caractère lié à la position : l'horizon superficiel est plus ou moins fortement enrichi, par suite de colluvionnement, en sables dunaires.

Localement, sans qu'il soit possible de délimiter des plages, on note un appauvrissement marqué en matière organique lié à l'accumulation de carbonate de sodium. Ce sel solubilise la matière organique du sédiment qui

migre et se redistribue dans le paysage à l'état de sels. Ces secteurs localisés appartiennent, paradoxalement, aux plages SB 9 ou SB 8. Le paradoxe n'est qu'apparent : c'est dans les paysages marécageux que peuvent se développer rapidement des phénomènes d'accumulation de carbonate de sodium.

62. Le niveau des réserves en matière organique de l'horizon 0-10 cm en 1971.

Si l'on raisonne statistiquement à l'échelle de chacun des deux polders, on constate que :

- pour le polder Guini, si l'on ne retient pas les 5 valeurs basses qui correspondent à des positions particulières en bas de dune, on obtient pour 46 valeurs :

une valeur médiane de 7,8 %
une valeur moyenne de 7,77 %

- pour le polder Bérim, si l'on exclut d'une part les positions en bas de dune, d'autre part, trois valeurs correspondant à des secteurs "semi-poldérisés" de la plage SB 9 (valeurs supérieures à 15 %), on obtient pour les 92 valeurs disponibles restantes :

valeur médiane : 8,1 %
valeur moyenne : 8,28 %.

Ces valeurs statistiques autorisent quelques remarques :

- la valeur moyenne pour l'ensemble des deux polders est de 8,1 % pour l'horizon 0-10 cm. Le polder Bérim apparaît légèrement mieux pourvu que Guini. Cette différence tient probablement à l'âge et au degré d'utilisation par les cultures moindres du polder Bérim.

- on peut tenter de comparer ces valeurs à celles de 1966 (CHEVERRY, 1967). On note en cinq ans une légère diminution, de l'ordre de 0,5 % à 1 % dans le secteur de Matafo. Durant cette période, les deux polders ont été très peu cultivés; en conditions naturelles, avec une végétation de type jachère herbacée, localement arbustive, le stock de matière organique héritée de la phase subaquatique diminue lentement. Le jugement porté en 1966 : "dans les cinq années à venir, les cultures ont peu de chance de souffrir d'une manque de richesse organique des sols", peut être reconduit en 1971. Mais il reste tout aussi vrai qu'"il serait souhaitable de préserver le potentiel actuel", en cas de reprise de cultures intensives dans le cadre de l'aménagement, "soit en réduisant les exportations hors du polder, soit en essayant, localement, de réenrichir le sol en matière organique".

Le problème de l'azote.

Les mesures effectuées au Kjeldahl confirment que cette matière organique est bien évoluée, que le taux d'azote est élevé, supérieur à 3 ‰ sauf exception. Ce niveau élevé des réserves en azote du sol, et pas seulement entre 0 et 10 cm (voir la répartition verticale des teneurs en matière organique sur l'épaisseur des profils au § 22), peut paraître contradictoire avec les observations effectuées sur la station de Matafo durant la campagne 1970-71 (SCET, 1971). Un essai de fumure azotée sur le blé, sous forme d'urée, a été positif : "la réponse à l'azote semble marquée dès qu'on apporte une faible dose de 50 kg/ha".

Si les résultats de cet essai étaient confirmés, il faudrait envisager que l'azote, abondant dans le milieu, n'est pas sous une forme aisément utilisable par la plante. Une des hypothèses de travail à approfondir serait alors la suivante : les propriétés structurales très particulières acquises par les sédiments lacustres lors de leur vieillissement "piégent", au moins partiellement, les éléments chimiques contenus intrinséquement dans ces sédiments. Un exemple illustre ce point : à faible profondeur, vers 50 cm, l'argile fissurée peut se présenter sous forme d'éléments structuraux enrobés, "emballés" dans une pellicule jaune pâle ou jaune-rouge d'hydroxydes ferriques. Le système racinaire de plantes à enracinement assez profond est alors localisé presqu'exclusivement dans les fentes de retrait, "glissant" sur la pellicule d'oxydes qui joue peut-être en la matière un rôle d'écran.

Les teneurs en P_2O_5 ‰ total (TABLEAU nº XVII) restent satisfaisantes, supérieures à 1,5 ‰ en surface mais il ne s'agit que de valeurs totales ne traduisant donc pas obligatoirement les conditions de mise à disposition des végétaux. De même sont très satisfaisants les taux de potassium échangeable (TABLEAU nº XVIII), supérieurs, et parfois même très largement, à 2 meq/100 g en surface.

VII. CONCLUSIONS SUR L'EVOLUTION PEDOLOGIQUE ACTUELLE DES SOLS DES POLDERS GUINI ET BERIM, DANS UNE OPTIQUE DE MISE EN VALEUR REGIONALE.

71. Conséquences favorables du drainage naturel des deux polders depuis 1964.

Les connaissances pédologiques acquises permettent de saisir certaines lois de l'évolution des sols de polders et ainsi de proposer des éléments de solution pour leur mise en valeur rationnelle.

La baisse interannuelle régulière du niveau de la nappe phréatique dans les deux polders étudiés est de l'ordre du mètre et a suivi la baisse de niveau du Lac Tchad durant la même période. Cet assèchement a entrainé une série de conséquences favorables quant à la salure du milieu :

- à concentration saline globale équivalente, la nature chimique des eaux de la nappe a changé, dans le sens d'un enrichissement relatif en ions Ca^{++} et SO_4^{--}, d'un appauvrissement relatif en ions HCO_3^- et Na^+, donc dans le sens d'une diminution du caractère alcalin de ces eaux.

- le mode de répartition des sels dans les profils a changé également : les accumulations de sels les plus fortes ne sont plus observées en surface du sol, mais à une certaine profondeur, pouvant varier de 10 à 60 cm. En d'autres termes, les horizons supérieurs d'un certain nombre de sols de polders se sont déssalés naturellement, sans intervention de l'homme, et ceci malgré le caractère subaride du climat et la profondeur encore faible de la nappe par rapport à la surface du sol (moins de 3 mètres, de 2 mètres le plus fréquemment).

- la nature des sels accumulés a également évolué : le carbonate de sodium n'est plus que rarement observé dans les sols. Par contre, depuis 7 ans, le sulfate de calcium (gypse) a fait son apparition dans de nombreux secteurs des polders.

Ce diagnostic positif quant à la fertilité du milieu vaut pour la majeure partie du polder Guini et pour la moitié Nord de Bérim. Il ne vaut pas, ou de façon bien moindre pour la moitié Sud de Bérim. Dans ce secteur, la baisse du plan d'eau a été moins marquée et le plan d'eau est resté très proche de la surface du sol.

L'analyse des raisons du rôle favorable joué sur la salure par un drainage simple, (abaissement du plan d'eau, diminution du degré d'engorgement des sols) est décisive pour juger de la façon dont l'homme pourrait éventuellement jouer de cet atout.

. Ce drainage a accéléré le "vieillissement", la maturation des matériaux argilo-humifères hérités de la sédimentation lacustre, la liaison intime argile-matière organique bien évoluée a été renforcée par le déssèchement. Les matériaux originels ont acquis un certain caractère hydrophobe, ont perdu de façon irréversible une partie de leur capicité initiale de rétention pour l'eau, de leur capacité de gonflement, et enfin se sont organisés en structures pédologiques fortement développées, stables.

. Ce drainage s'est ainsi tfaduit par une aération profonde des sols, une pénétration de l'oxygène atmosphérique, une réoxydation des composés jusqu'alors à l'état réduit dans les sédiments : fer ferreux, sulfures. Ces composés réoxydés soit se sont redistribués en fonction de la géométrie naissante du profil, venant renforcer la stabilité des structures (gaines d'hydroxydes métalliques sur les faces des éléments structuraux grossiers) soit ont libéré du calcium (attaque du calcaire hérité de la sédimentation, lors de la réoxydation des sulfures).

. Cette organisation nouvelle du sol diminue l'intensité des phénomènes de remontée capillaire à partir de la nappe, par suite notamment de la rupture de liens capillaires au niveau de certaines discontinuités structurales. Elle modifie le milieu physico-chimique dans lequel baigne la tranche supérieure de la nappe et par suite le caractère de ces eaux.

. Cette organisation permet enfin une bonne perméabilité latérale du sol au niveau de la zône de battement de la nappe. Le milieu sol permet ainsi une"redistribution des cartes" de la salure, par l'intermédiaire du vecteur nappe pour peu que celle-ci présente un gradient, donc un débit. Or ceci semble bien être le cas :

- dans toute la partie Centre et Nord du polder Bérim, la nappe présente une pente nette, un niveau piézométrique décroissant du Sud vers le Nord. L'étude de l'Ouaddi de Dané Koné, situé au Nord du polder, a confirmé ce point: une partie des sels accumulés dans le polder Bérim en phase évaporatoire n'est pas piégée définitivement dans les sols mais peut être reprise, après lessivage vertical en saison des pluies, dans un mouvement Sud vers Nord de la nappe et rejetée ainsi au delà de la zône intéressante au point de vue mise en valeur.

- il n'a pas été mis en évidence, dans le polder Guini, un tel gradient Sud-Nord de la nappe, mais plutôt un gradient moins marqué Ouest vers Est.

L'analyse inverse peut être proposée pour rendre compte des phénomènes de salure en Bérim Sud.

Le plan d'eau reste à faible profondeur, le sol ne se structure, ne s'aére pas ou très peu. Dans ces conditions d'engorgement et de confinement, la matière organique du sédiment joue à plein son rôle d'agent réducteur,

consommateur d'oxygène, et favorise localement le développement d'une flore bactérienne anaérobie. Le fer et le soufre du milieu restent à l'état réduit. Dans ce milieu argileux, massif, continu, dont la perméabilité est réduite les phénomènes de capillarité prédominent. Le sol fonctionne en mèche évaporatoire efficace, accumulant à sa surface du carbonate de sodium et s'oriente ainsi sur la voie des ouaddis type tronatière (MAGLIONE, 1969), devenant un véritable piège géochimique.

L'analyse du rôle favorable du drainage doit être affinée et pondérée par deux observations :

- en Guini et en Bérim Nord, le drainage a donc renforcé les conséquences d'ordre physique de la liaison argile-matière organique héritée de la sédimentation, masquant le caractère argileux du matériau, lui conférant en surface certains traits de "pseudo-sables", traits renforcés par l'abondance des diatomées dans le sédiment. Mais ces conséquences, dont une certaine hydrophobie, n'ont que très partiellement fait perdre au matériau ses potentialités agricoles :

  - la capacité de rétention pour l'eau reste élevée (60 % et plus, sauf pour les faciès sableux)
  - la capacité d'échange également, supérieure à 30 meq/100 g de sol, sauf exception.
  - l'azote, le phosphore total, le potassium échangeable sont bien représentés encore qu'il ait été signalé au chapitre IV que l'organisation acquise par le sol limitait peut-être la disponibilité de l'azote, mais ce point reste à prouver.

- L'analyse n'a pas fait intervenir le rôle des eaux d'origine lacustre. Or il est certain que ce rôle est néfaste : qu'il s'agisse d'eaux résiduelles emprisonnées au moment de la fermeture des barrages ou d'infiltrations passant sous ces barrages, ces eaux sont très dangereuses car exclusivement bicarbonatées. Leur arrivée au contact d'un piège géochimique, leur entrée dans le circuit d'une mèche évaporatoire se traduira toujours par la précipitation du calcium à l'état de carbonate, par l'individualisation de carbonate de sodium, sel très toxique.

Or, dans l'évolution des sols de polders depuis 1964, le rôle au niveau de la nappe des eaux directement d'origine lacustre, c'est à dire presqu'exclusivement bicarbonatées s'est très atténué dans le polder Guini et dans Bérim Nord. Il est par contre resté déterminant en Bérim Sud par suite des infiltrations sous les 1er, 2e, 3e barrages. Ces différences sectorielles dans le mode d'alimentation des eaux de la nappe ont donc joué dans le même sens que les différences du degré de drainage.

72. Indications d'ordre pédologique pour la mise en valeur rationnelle des sols de polders.

L'analyse précédente permet de proposer quelques lignes directrices pour la mise en valeur de ces polders, du double point de vue salure et stock organique.

a) - la présence parmi les sédiments livrés à l'homme lors de la poldérisation, d'un niveau de carbonatation ancienne, donc d'une réserve de calcaire, est un atout favorable pour l'évolution ultérieure du sol. Son absence en Bérim Sud est un inconvénient.

b) - la présence, parmi ces mêmes sédiments, d'un niveau semi-tourbeux enfoui à faible profondeur n'est pas un élément favorable : cette matière organique, nettement moins évoluée que celle des autres matériaux, ne jouera pas de rôle physique intéressant lors du déssèchement et son caractère hydrophobe pourra même se révéler alors excessif. Par ailleurs, si le drainage du milieu est insuffisant (nappe peu profonde), cette semi-tourbe accentuera le caractère réducteur du milieu, élément défavorable de l'évolution. L'expérience montre toutefois que si ce niveau semi-tourbeux n'est pas trop épais (25 cm ou moins) au moment de la poldérisation, il se tassera au déssèchement, se réduisant à une fine couche de 1 à 5 cm seulement d'épaisseur dont le rôle sur l'évolution du profil ne sera plus déterminant (cas observé en Guini Centre-Est, en Bérim Centre).

Les points a) et b) concernent donc des caractères sédimentologiques. Leur étude avant la poldérisation ou à défaut rapidement après l'exondation est utile.

c) -tout ce qui empêchera les sels liés aux eaux d'origine directement lacustre, le carbonate de sodium en particulier, de s'accumuler et d'"attaquer" le sol par le haut, est à rechercher : pompage des eaux emprisonnées (dans les conditions définies lors de l'étude du polder de Djiboulboul, CHEVERRY, 1971), à défaut "écrémage" des sels déposés en surface, étanchéification des barrages pour réduire les infiltrations ultérieures.

d) - la première phase que l'on doit recommander dans l'aménagement du sol proprement dit est un abaissement du plan d'eau, avant toute opération d'élimination des sels par irrigation. On peut concevoir cet abaissement par paliers : 50, 100, 150 cm pour laisser aux sédiments lacustres le temps de "s'organiser", de "vieillir". Le niveau final devrait être établi entre 150 et 200 cm de profondeur, plutôt proche de cette deuxième valeur.

e) - le système irrigation-drainage (au sens second d'évacuation des eaux salées) pourra alors être envisagé. Mais une préoccupation doit rester à l'esprit lors de la conception d'un tel système : l'évolution naturelle suivie par les sols de Guini et de Bérim Nord depuis 1964 est un mécanisme de régulation saline des bordures immédiates du Lac, donc dans une certaine mesure,

si modeste soit elle, de régulation saline du Lac lui-même. En effet, ces sols ne piègent pas définitivement les sels ($Na_2 CO_3$ n'étant pas représenté) et le transit vers l'aval, en l'occurence vers le Nord, l'intérieur du Kanem, peut se poursuivre de proche en proche, pour peu que les conditions de lessivage vertical des sels dans les sols et de gradient de la nappe le permettent. Mais ce transit est évidemment bloqué si, sur un point du trajet l'évolution s'oriente sur la voie hyperalcaline, à carbonate de sodium en surface et réduction des sulfates en profondeur. Ce point joue alors le double rôle de germe d'une alcalinisation du milieu et surtout d'un obstacle sur lequel viendront buter les eaux de la nappe drainant latéralement, eaux qui nourriront alors ce germe et risqueront de provoquer une invasion remontante de la salure globale et, ce qui est plus grave, de l'alcalinisation vers l'amont du système, donc vers le Lac, rompant localement l'équilibre du système de régulation des bordures de ce Lac.

Ce schéma théorique est à garder à l'esprit lorsque le système d'évacuation des sels consiste à rejeter ceux-ci juste en aval du polder ou de la partie du polder que l'on veut sauvegarder. On crée en effet ainsi un piège géochimique dont il faudra évaluer le rôle ultérieur vis à vis de l'amont du système. Dans le cas du système Guini-Ganatir c'est une inconnue et il a été signalé que le gradient Sud-Nord de la nappe dans ce secteur n'apparaît pas nettement.

f) - l'irrigation avec les eaux du Lac Tchad est une bonne solution, avec les réserves évoquées au chapitre V : - il est déconseillé d'irriguer avec des eaux douces, des sols contenant en surface du carbonate de sodium (sinon à l'état de traces résiduelles); -cette irrigation doit être associée à un drainage : les faibles valeurs d'alcalinisation probable du sol irrigué obtenues par le calcul de la formule de BOWER simplifiée supposent que 25 % des eaux apportées sont drainées

$$\left(\sqrt{1/LF} = 2 \right)$$

g) - plus généralement, une ambiguité est à lever. La description de l'évolution naturelle des sols des deux polders depuis 1964 peut apparaître comme favorable du point de vue salure donc maintien de la fertilité. Cette analyse remettrait ainsi en cause l'intérêt d'aménagements complexes type irrigation-drainage. Ce serait là une interprétation erronnée. L'évolution naturelle a certes favorisé le transfert vers l'intérieur du pays d'une partie des sels; mais l'autre partie s'est "capitalisée" dans les sols des polders, sur une tranche plus épaisse et surtout moins superficielle. Cette réserve de sels constitue un danger latent en ce sens qu'une remontée du niveau du Lac Tchad, donc probablement ensuite du niveau de la nappe, les remettrait dans un système évaporatoire, donc à composante dominante verticale ascendante, réduisant alors très rapidement la fertilité des horizons agronomiquement importants.

h) - sur le plan des réserves organiques, donc chimiques, du milieu, l'étude permet également de dégager une ligne d'action. Il apparaît que le stock de matière organique qui ne se consomme que très progressivement, assez lentement (chapitre VI) correspond à la matière organique du sédiment, celle héritée de la phase subaquatique. En ce sens, les masses végétales très importantes de roseaux (Cyperus papyrus, Typha cf. australis, Phragmites communis) qui ont tendance à se développer après l'isolement du polder, lorsque le plan d'eau s'abaisse et reste peu profond (Bérim Sud), ne présentent pas d'intérêt du point de vue mise en valeur agronomique. En effet :

- la réserve supplémentaire de matière organique en voie de décomposition qu'elles fournissent au sol sera rapidement (2 à 3 ans) dissipée après la mise en culture. Le brulis de ces débris végétaux, les cendres qui en résultent, pourront certes donner un coup de fouet aux cultures, mais il n'est pas indispensable. Pas ailleurs, l'enfouissement de ces débris dans un milieu encore insuffisamment drainé risquerait de reconstituer dans le sol des noyaux de milieu réducteur.

- du point de vue salure, ces masses végétales masquent l'alcalinité du milieu, car elles entrainent la formation de composés organiques intermédiaires aboutissant à la production de CO_2, donc à un abaissement du pH du milieu. Le maintien de ces masses végétales est donc une bonne chose dans des "polders" isolés du Lac mais insuffisamment, et restant couverts d'une lame d'eau. Ces terres "poldérisées" mais non utilisées sont ainsi l'objet d'une moindre attaque alcaline. Mais cette formule est à rejeter : les masses végétales n'éliminent pas l'alcalinité, qui reste latente et c'est justement en bordure de ces zônes à roseaux que l'apparition des sols à carbonate de sodium se révèle la plus spectaculaire.

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

BAZILEVICH (N.I.), PANKOVA (YE.I.) - 1968 - Tentative classification of soils by salinity soviet Soil Science, 11, 1477-1488.

BOWER (C.A.), OGATA (G.), TUCKER (J.M.) - 1968 - Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by précipitation or solution of calcium carbonate. Soil Science, 106, nº 1, pp. 29-34.

CARMOUZE (J.P.) - 1969 - Salures globales et spécifiques des eaux du Lac Tchad en 1968, O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 14 p.

CHEVERRY (C.) - 1966 - Etude préliminaire des processus d'hydromorphie et d'halomorphie dans les sols des polders de la région de Bol (Rives du Lac Tchad); Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédologie vol. IV, 3, 1966.

CHEVERRY (C.) - 1967 - Note sur la fertilité des sols des polders de Bol après dix ans de mise en culture; Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédologie vol. V, 2, 1967.

CHEVERRY (C.) - 1968 - Rôle original de la pédogénèse sur la nature et le mode de l'accumulation saline dans les polders de Bol. Science du sol, nº 2, 1968.

CHEVERRY (C.) - 1969 - La génèse de sols salés à alcalis dans les polders des rives Nord-Est du Lac Tchad. Agrokemia ès Talajtan, 18, supplementum 238-242 (Symposium on the reclamation of sodic and soda saline soils - EREVAN).

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. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 110 p.

CHEVERRY (C.) - 1971 - Les premières étapes de la poldérisation sur les bordures Nord-Est du Lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 38 p.

DIELEMAN (P.J.), DE RIDDER (N.A.) - 1963 - Expertise sur les mouvements des eaux et des sels dans le polder de BOL-GUINI - Institut de Wageningen - Pays Bas.

ENTE (P.J.) - 1964 - Initial décalcification due to oxidation of sulphides in young marine soils in the Netherlands. 8e Congr. Intern. Sci. Sol, Bucarest, 1964, VI, 14, pp. 779-783.

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. O.R.S.T.O.M., série Hydrologie, VI, I, 1969, 17-34.

GUICHARD (E.), BOUTEYRE (G.), LEPOUTRE (B.) - 1959 - Etude pédologique des polders de Bol et Bol Guini. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 72 pp.

MAGLIONE (G.) - 1969 - Nouvelles données sur le régime hydrogéochimique des lacs permanents du Kanem. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol. Vol. III, nº 1, 1969, 121-141.

MAGLIONE (G.) - 1970 - Le gisement chloro- sulfaté sodique de l'île de Napal, O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 22 p.

PIAS (J.), BARBERY (J.) - 1960 - Evolution de la salinité dans le polder de Bol Guini. 1959-60. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 106 pp.

PIAS (J.), BARBERY (J.) - 1960 - Evolution de la salinité dans le polder de Bol Guini. 1961. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 58 pp.

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. Campagne 1962. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 144 pp.

RHOADES (J.D.) - 1968 - Leaching requirement for exchangeable - sodium control - Soil Science Soc. Amer. Proc., vol. 32, nº 5, 652-656.

RICHARDS - 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Agriculture handbook nº 60, WASHINGTON, VIII, 1960 pp.

RIOU (Ch.) - 1965 - Données climatologiques concernant la région de Bol durant les années 1963 et 1964. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 16 pp.

ROCHE (M.A.) - 1967 - Première estimation des apports en sels au Lac Tchad par le Chari. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy.

ROCHE (M.A.) - 1969 - Evolution dans l'espace et le temps de la conductivité électrique des eaux du Lac Tchad d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968. Cah. O.R.S.T.O.M., série Hydrologie. Vol. VI, 1, 1969.

ROCHE (M.A.) - 1970 - Hydrogéologie des côtes du Lac Tchad à NO, TCHINGAM et SORO (Kanem). O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 32 p.

SODELAC, SCET - 1971 - Station expérimentale de Matafo - Compte-rendu de la réunion du 9 novembre 1971.

TABLE DES FIGURES.

Figure nº		Page
1	Stratigraphie des matériaux sédimentaires (Centre Guini)	10
2	Idem. (Nord et Sud du polder Guini)	12
3	Idem. (Centre-Nord et Sud du polder Bérim)	14
4	Régime hydrique d'un sol à bon drainage interne.	23
5	Le niveau de carbonatation ancienne.	30
6	Carte au 1/50.000 de localisation des analyses d'eau de la nappe phréatique.	36
7	Caractères chimiques des eaux de la nappe phréatique (Guini)	38
8	Idem. (Bérim).	40
9	Variations caractéristiques de certaines données ioniques des eaux de la nappe.	42
10	Caractérisation de la salure d'un sol salé, toxique.	50
11	Idem.	52
12	Caractérisation de la salure d'un sol très faiblement salé.	58
13	Caractérisation de la salure d'un sol salé à carbonate de sodium.	61

TABLEAUX.

Tableau nº		Page
I et II	Analyses granulométriques	18 et 20
III	Analyses minéralogiques d'argiles et de sels.	26
IV	Analyses triacides	28
V à XI	Analyses physico-chimiques d'eaux de la nappe phréatique :	Annexe
XII à XVI	Analyses des sels des sols à partir d'extraits aqueux.	"
XVII	Données sur le phosphore total.	"
XVIII	Données sur le potassium échangeable.	"

CARTES HORS-TEXTE

1. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Profondeur de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
2. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Profondeur de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
3. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Profondeur de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
4. POLDERS DE BOL-GUINI et BOL-BERIM (1/20.000) = Esquisse du niveau piézométrique de la nappe phréatique au 1er mai 1970.
5. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Conductivité en mmho cm^{-1} à 25°C des eaux de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
6. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Conductivité en mmho cm^{-1} à 25°C, des eaux de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
7. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Conductivité en mmho cm^{-1} à 25°C, des eaux de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
8. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Caractères pédologiques des sols - Répartition du niveau de carbonatation ancienne.
9. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Caractères pédologiques des sols - Répartition du niveau de carbonatation ancienne.
10. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Caractères pédologiques des sols - Répartition du niveau de carbonatation ancienne.
11. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Degré de salure des sols des polders en 1970 - Problèmes de mise en valeur.
12. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Degré de salure des sols des polders en 1970 - Problèmes de mise en valeur.
13. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Degré de salure des sols des polders en 1970 - Problèmes de mise en valeur.
14. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Intensité de l'alcalinisation dans les sols des polders en 1970 - Conséquences sur la mise en valeur.
15. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Intensité de l'alcalinisation dans les sols des polders en 1970 - Conséquences sur la mise en valeur.
16. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Intensité de l'alcalinisation dans les sols des polders en 1970 - Conséquences sur la mise en valeur.

A N N E X E S

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE — TABLEAU n° V

Polder GUINI : Nord et Centre - Nord.

Numéro pour le commentaire ci-dessous	Emplacement du prélèvement	Conducti. (mmhos cm^{-1})	pH	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations (me/l	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_2 (mg/l)	SAR
1	G α 1	1,40	7,5	6,0	2,2	4,5	2,2	14,9	0,4	1,1	13,7	15,2	69,5	2,3
2	G α 2	0,80	7,6	4,9	1,7	1,8	0,5	8,9	0,15	2,2	6,8	9,15		1,0
3	G α 3	1,25	7,5	9,5	3,0	2,4	0,7	15,6	0,1	8,6	8,3	17,0		1,0
4	G D 3	0,70	7,5	4,8	1,3	1,2	0,3	7,6	0,05	4,2	4,8	9,05		0,7
5	G D 8	4,15	6,8	23,5	9,5	20,6	1,4	55,0	0,3	51,0	4,5	55,8		5,3
6	G D 10	0,60	7,2	3,0	1,1	2,4	0,2	6,7	0,1	3,8	2,4	6,3		1,6
7	G G 1	0,45	7,4	2,9	1,2	1,1	0,4	5,6	0,15	2,8	3,4	6,35		0,8
8	G G 5	0,90	7,2	5,0	1,9	2,9	0,6	10,4	0,15	5,3	5,7	11,15		1,6
9	G G 7	1,30	7,1	7,1	2,3	4,7	0,5	14,6	0,1	10,7	3,8	14,6		2,2
10	G G 8	3,50	7,1	22,0	9,0	12,0	2,2	45,2	0,2	45,0	3,3	48,5		3,1
11	G G 10	7,0	6,8	12,7	6,6	50,0	1,8	71,1	0,5	80,0	2,3	82,8		16,0
12	G G 11	15,7	7,6	33,2	18,2	138,0	1,8	191,0	1,1	158,0	13,0	172,1	48,5	27,0

Les eaux de la nappe phréatique sont, du point de vue de leur utilisation éventuelle pour irriguer :

- bonnes pour les n°s 2,3, 4, 6, 7, 8, 9 : faible degré de minéralisation, faible valeur du SAR (inférieur à 2,5), sulfates bien representés.
- médiocres pour le n° 1 (trop fort pourcentage de bicarbonates).
- mauvaises car trop chargées en sels pour les n°s 5, 10 (qui provoqueraient dans le sol une salure à gypse) et surtout pour les n°s 11 et 12 (salure à sulfate de sodium).

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE — TABLEAU n° VI

Polder GUINI : Centre.

Numéro pour le commentaire ci-dessous	Emplacement du prélèvement	Conductivité (mmhos)	pH	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_2 (mg/l)	SAR.
1	GI 1	0,50	7,1	3,6	0,9	0,7	0,35	5,55	0,15	4,6	1,8	6,55		0,5
2	GI 3	0,55	7,3	3,0	1,0	1,9	0,2	6,1	0,1	2,8	3,0	5,9		1,3
3	GI 4	0,65	7,2	3,5	1,2	2,4	0,35	7,45	0,15	2,7	4,5	7,35		1,6
4	GI 6	1,1	7,1	4,4	2,5	5,8	0,4	13,1	0,3	8,2	6,2	14,7		3,1
5	GI 8	1,75	7,4	5,6	2,4	9,8	0,4	18,2	0,4	13,2	5,7	19,3	36,5	4,3
6	GI 9	3,50	7,0	15,7	8,4	19,5	0,9	44,5	0,65	34,1	4,8	39,55		5,7
7	GI 10	8,75	7,1	30,5	17,8	71,0	1,8	121,1	0,7	87,3	11,5	99,5	65,5	14,5
8	GI 11	7,50	7,3	11,2	12,5	69,0	0,9	93,6	1,2	67,2	21,0	89,4		20,0
9	GI 12	22,9	7,5	24,5	30,5	252,0	2,3	309,3	16,2	233,0	39,4	288,6	65,0	48,0
10	GI 13	20,4	7,5	25,0	27,0	216,0	2,2	270,2	13,0	219,0	49,8	281,8		42,0
11	GK 9	7,1	6,6	6,4	5,0	68,0	0,8	80,2	2,2	34,2	43,0	79,4		28,0
12	GK 10	17,0	6,6	10,7	14,5	180,0	2,1	207,3	11,2	152,0	43,0	206,2	97;	50,0

Commentaire : La séquence GI, qui traverse le polder GUINI d'Ouest en Est just'au dessus des barrages séparant GUINI de Bérim, est un exemple du gradient de salure croissante des eaux suivant cet axe :

- Les eaux de la bordure Ouest sont bonnes comme eaux d'irrigation éventuelles (n°s 1 et 2); les eaux du polder (n°s 3 et 4) sont médiocres. Les eaux de la partie Est sont mauvaises et même très salées pour les n°s 9 et 10. Le sel potentiellement dominant est le sulfate de sodium. Ces eaux doivent être éliminées par drainage avant toute mise en valeur de ce secteur.

TABLEAU n° VII

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Polder GUINI : Centre, Centre - Sud et Sud.

Numéro du commentaire ci-dessous	Emplacement du prélèvement	Conductivité (mmhos)	pH	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_2 (mg/l)	SAR
1	GL 1	0,95	7,3	1,7	0,8	8,4	0,4	11,3	0,2	8,4	4,4	13,0		7,5
2	GL 3	1,45	7,3	3,3	1,6	11,2	0,5	16,6	0,6	9,1	8,5	18,2		7,1
3	GL 5	2,9	6,9	6,0	2,9	22,4	0,8	32,1	0,9	21,2	6,1	28,2		10,5
4	GL 10	12,5	7,9	1,7	6,3	156,0	1,7	165,7	6,4	123,0	61,0	190,4	95,0	78,0
5	GM 6	19,4	7,8	2,8	12,2	228,0	2,0	245,0	15,0	136,0	100,0	251,0	140,0	83,0
6	GM 1.3	4,25	7,7	3,5	1,8	41,0	0,75	47,05	1,3	25,8	27,6	54,7		25,0
7	GM 1.6	3,55	7,9	1,9	1,6	38,0	1,0	42,5	1,5	5,6	36,7	43,8		29
8	GM 9	3,65	7,7	3,6	4,1	32,5	1,1	41,3	2,0	11,4	34,5	47,9		16,5
9	GH 7	2,10		8,4	3,4	9,2	0,6	21,6	0,1	18,6	4,8	23,5		3,8
10	GH 9	1,85	6,8	5,4	2,4	10,2	0,4	18,4	0,2	16,3	4,3	20,8		5,2
11	GH 10	12,1	7,0	28,5	20,5	115,0	2,0	166,0	6,2	133,0	7,6	146,8		23,0
12	GH 11	2,15	7,2	2,8	2,1	20,0	0,4	25,3	0,8	15,5	8,8	25,1		13,0
13	GH 12	0,95	7,65	4,7	1,5	4,6	0,5	11,3	0,2	4,4	6,1	10,7		2,6
14	GP 2	2,4	7,7	5,0	2,9	17,0	1,1	26,0	1,7	11,3	17,2	30,2	27,0	8,5

Commentaires. Les variations de salure, le long de l'axe GH, au Centre du polder, obeissent aux mêmes lois que celles régissant l'axe GI (voir TABLEAU précédent). Au Centre-Sud du polder par contre (axes GI et GM), les eaux sont plus alcalines, ont des SAR élevés, de très fortes teneurs en bicarbonates (n° 5 notamment). Aucune de ces eaux du Centre-Sud du polder n'est utilisable pour l'irrigation, sous peine d'une salinisation et d'une alcalinisation secondaires.

TABLEAU n°VIII

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Polder Bérim : Nord et Centre-Nord.

Numéro pour le commentaire ci-dessous	Emplacement du prélèvement	Conductivité (mmhos) cm^{-1})	pH	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_2 mg/l	SAR
1	BA 2	0,80	7,3	5,1	1,6	1,9	0,6	9,2	0,2	2,8	6,8	9,8		1,0
2	BA 4	6,85	7,7	26,7	12,0	45,2	1,4	85,3	8,9	38,7	33,5	81,1	54,0	12,0
3	BA 6	5,35	7,2	14,8	4,9	38,0	1,0	58,7	6,2	36,3	15,0	57,5		11,0
4	BA 7	5,25	7,9	24,7	8,0	35,0	1,2	68,9	4,6	41,3	20,4	66,3		8,5
5	BA 9	4,05	8,1	16,7	4,3	26,8	0,9	48,7	3,5	24,9	14,2	42,6		8,5
6	BB 11	1,05	7,5	6,9	2,9	2,1	0,9	12,8	0,3	1,1	10,2	11,6		1,0
7	BC 1	1,0	7,1	4,1	1,2	6,5	0,3	12,1	0,2	7,1?	2,6	9,9	38,0	4,0
8	BC 4	5,6	7,5	31,0	11,3	31,0	1,6	74,9	4,4	21,2	22,0	-		6,5
9	BC 10	2,65	7,2	8,6	3,3	18,0	0,7	30,6	1,1	20,8	8,6	30,5		7,5
10	BI 1	0,60	7,5	2,8	0,9	2,6	0,4	6,7	0,2	3,4	1,5	5,1		2,0
11	BI 3	1,25	7,8	2,9	1,3	10,8	0,4	15,4	0,6	7,2	7,0	14,8	52,0	7,5
12	BI 6	1,35	7,2	4,1	2,6	9,0	0,5	16,2	0,5	12,4	2,4	15,3		4,9
13	BI 10	0,6	7,0	4,0	1,2	1,2	0,2	6,6	0,05	non dosé	4,0	-		0,75
14	BI 12	0,6	7,3	2,4	2,0	2,0	0,2	6,6	0,05	non dosé	4,5	-		1,35

Commentaires. Les eaux de bordure du polder (nos 1, 6, 7, 10) sont bonnes pour une éventuelle irrigation. Les eaux du Centre polder (nos 2, 3, 4, 5, 8) au nord de celui-ci sont par contre salées à très salées, mais relativement riches en alcalino-terreux. Elles induisent dans le sol une salure "saline" à Na_2 SO_4 et Ca SO_4. Elles doivent être drainées après lessivage du sol avec des eaux plus douces.

TABLEAU n° IX

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Polder Bérim : Centre et Centre-Sud.

Numéro pour le commentaire ci-dessous	Emplacement du prélèvement	Conductivité (mmhos cm^{-1})	pH	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_2 mg/l	SAR
1	BQ 1	1,5	7,3	6,6	3,4	6,7	1,1	17,8	0,5	10,0	8,5	19,0		3,0
2	BQ 3	3,25	7,6	5,5	2,3	28,4	0,7	36,9	0,6	25,0	12,1	37,7		14,5
3	BQ 5	4,55	7,7	7,1	4,3	47,2	0,7	59,3	1,5	28,2	24,6	54,3		20,0
4	BQ 7	5,0	7,8	5,6	3,1	50,0	0,7	59,4	2,3	31,0	27,6	60,9		24,0
5	BQ 10	1,1	7,5	1,0	0,6	12,4	0,3	14,3	0,3	4,4	9,6	14,3		14,0
6	BQ 13	0,65	7,5	1,2	0,6	4,9	0,3	7,0	0,1	1,2	6,2	7,5		5,2
7	BQ 19	1,95	7,6	2,5	1,2	16,6	0,5	20,8	1,5	9,5	10,6	21,6		12,0
8	BV 1	2,6	7,5	3,8	1,9	24,4	0,4	30,5	0,9	15,5	15,4	31,8		14,5
9	BV 3	2,65	7,5	2,0	1,6	24,0	0,3	27,9	0,6	9,2	20,8	30,6		18,0
10	BV 5	3,65	7,6	3,3	1,7	38,0	0,5	43,5	1,0	16,5	25,4	42,9		24,0
11	BV 6	26,8	7,9	22,5	30,2	328	1,8	382,5	20,7	312,0	61,0	394,0		64,0
12	BV 9	1,30	7,4	3,5	1,1	11,3	0,3	16,2	0,9	9,5	4,7	15,1		7,5
13	BV 10	1,05	7,1	3,2	1,3	7,6	0,2	12,3	0,8	12,2	3,8	16,8		5,0

Commentaires : Dans ce secteur du polder Bérim, les axes orientés Ouest-Est présentent un maximum de salure en leur Centre et cette salure est de caractère potentiellement alcaline : fortes valeurs du SAR, des bicarbonates. On remarque en particulier que les teneurs en HCO_3^- (en me/l) sont nettement supérieures, dans la plupart des cas, à celles des alcalino-terreux, Ca + Mg.

Aucune des eaux de ce tableau n'est très bonne pour l'irrigation. La moins médiocre est le numéro 6.

TABLEAU n° X

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Polder Bérim : Sud.

Numéro pour le commentaire ci-dessous	Emplacement du prélèvement	Conductivité (mmhos cm^{-1})	pH	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_3 (mg/l)	SAR
1	JB 1-2	0,5	7,3	1,5	0,6	3,8	0,3	6,2	0,05	résultats	2,0			3,7
2	JB 1-4	0,4	7,0	1,4	0,6	2,2	0,2	4,4	0,05	mauvais	3,2			2,2
3	JB 1-5	1,2	7,9	1,5	0,8	12,4	0,3	15,0	0,4	3,2	12,4	16,0		11,5
4	JB 1-6	1,15	7,4	1,1	0,8	12,0	0,3	14,2	0,4	2,0	12,0	14,4		12,0
5	JB 1-8	2,55	7,5	2,2	1,8	25,4	0,3	29,7	0,6	4,4	23,2	28,2		16,5
6	JB 1-9	3,2	7,7	2,9	2,1	30,8	0,6	36,4	1,4	15,1	20,8	37,3		19,5
7	JB 1-10	3,35	7,7	4,4	2,6	28,0	0,8	35,8	2,5	16,2	18,2	36,9		15,0
8	JB 1-11	1,30	7,5	1,1	0,7	13,2	0,3	15,3	0,25	10,0	non mesuré			
9	JB 2-1	0,45	7,3	1,8	0,9	1,9	0,2	4,8	0,05	0,6	4,2	4,85		1,6
10	JB 2-3	1,35	7,6	1,2	0,9	13,6	0,3	16,0	0,9	1,0	15,7	17,6		13,0
11	JB 2-4	3,35	7,8	4,4	3,9	29,6	0,8	38,7	1,5	2,1	36,8	40,4		14,5
12	JB 2-5	4,45	7,9	3,3	3,3	47,0	0,6	54,2	1,1	0,9	54,5	56,5		26,0
13	JB 2-6	0,70	7,3						0,05	1,6	7,4	9,05		
14	JB 2-9	2,55	7,5	4,0	2,4	23,6	0,85	30,85	1,15	6,9	24,5	32,55		13,0
15	JB 2-11	3,25	7,5	4,1	2,4	30,4	0,9	37,8	0,25	17,7	21,6	39,55		17,0

TABLEAU n° XI

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES D'EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Analyses effectuées en Janvier 1971.

	Emplacement du prélèvement (n° du profil de sol)	Conductivité (mmhos)	pH mesures	pH après agitation	Ca	Mg	Na	K	Somme des cations	Cl	SO_4	HCO_3	Somme des anions	SiO_2 mg/l	SAR
1	Bérim; nappe 2è Barrage	0,57	7,0	8,0	3,2	1,6	0,8	0,3	5,9	0,1	0,1	6,0	6,2		0,5
2	145	0,83	7,1	7,9	2,2	0,7	6,1	0,25	9,25	0,45	2,9	5,7	9,05		5,1
3	146	3,9	7,1	8,2	4,5	2,6	34,0	0,50	41,6	2,4	18,0	24,0	44,4		18,0
4	amont 145	6,3	6,6	7,6	18,0	10,0	49,0	1,7	78,7	1,9	66,0	12,0	79,9		13,0
5	amont précédent	5,8	6,5	7,3	17,5	9,5	43,0	1,0	71,0	1,95	58,0	11,0	70,95		11,7
6	32	0,6	6,9	8,2	3,0	0,75	2,5	0,3	6,55	0,1	1,4	5,0	6,5		1,85
7	31	4,0	6,8	7,7	7,3	4,2	35,0	0,7	47,2	2,0	34,0	9,5	45,5		14,6
8	22	0,45	6,8	7,4	2,0	0,65	1,95	0,2	4,8	0,05	1,0	3,7	4,75		1,7
9	54	7,3	7,3	8,0	9,7	3,6	76,0	1,0	90,3	3,7	55,0	32,0	90,7		29,4
10	52	3,2	7,4	8,3	2,2	1,2	30,0	1,1	34,5	0,5	11,2	24,0	35,7		23,0

TABLEAU n° XII

ANALYSES DES SELS DES SOL

A PARTIR D'EXTRAITS AQUEUX

(EXTRAITS SATURES)

Localisation des prélèvements. Numéro du profil.	Profondeur (cm)	MO %	Calcaire total	Conductivité E.S.	Ca	Mg	Na	K	S^+	Cl	SO_4	HCO_3	CO_3	S^-
Guini. Extrême-Nord (bordure du polder) n° 3	0-7	9,6	3,3	2,6	0,5	0,3	0,3	1,0	2,1	0,4	0,3	1,2	0	1,9
	10-20	4,9	20,7	0,7	0,3	tr.*	0,2	0,3	0,8	tr.	0,4	0,3	0	0,7
	40-50	5,3	0,1	3,8	1,8	0,5	0,7	0,2	3,2	0,1	2,0	0,1	0	2,2
	70-80	0,4	0	1,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	tr.	0,3	tr.	0	0,8
	190-200	2,0	0,1	1,2	0,8	tr.	0,4	0,2	1,4	0,1	1,2	tr.	0	1,3
Guini. Extrême-Nord n° 4	0-6	11,7	0,6	4,6	2,6	0,7	0,9	1,2	5,4	0,4	3,5	1,9	0	5,8
	6-16	8,5	0,8	3,5	2,3	0,3	0,4	0,6	3,6	0,1	3,2	0,2	0	3,5
	85-95	7,6	0,4	-	1,6	0,7	2,0	0,2	4,5	tr.	3,6	0,4	0	4,0
Guini. Extrême-Nord n° 5	0-8	9,4	4,7	6,0	2,4	1,1	1,3	1,0	5,8	0,5	4,9	0,4	0	5,8
	12-22	8,7	2,9	8,3	1,9	2,0	4,9	0,8	9,6	0,1	9,1	0,3	0	9,5
	22-26	8,6	0,7	7,9	3,3	1,1	4,4	0,3	9,1	0,1	-	0,9	0	-
	26-36	10,1	13,9	6,0	2,8	1,3	3,8	0,2	8,1	0,1	7,3	0,8	0	8,2
	40-50	9,8	16,1	5,0	3,4	0,6	2,7	0,1	6,8	0,1	7,0	0,6	0	7,7
	70-80	6,6	0	3,0	1,2	0,6	1,2	0,1	3,1	tr.	2,6	0,3	0	2,9
	125-135	3,5	0,1	2,0	0,8	0,3	0,7	0,1	1,9	tr.	1,9	0	0	1,9
Guini. Centre Ouest n° 22	0-7	7,7	3,1	1,4	0,6	0,1	0,4	0,2	1,3	0,1	0,3	1,0	tr.	1,4
	7-11	7,8	2,2	1,3	0,4	0,1	0,5	0,1	1,1	0,1	0,2	0,6	tr.	0,9
	20-30	6,5	0,2	1,1	0,3	tr.	0,6	0,1	1,0	tr.	0,5	0,2	0	0,7
	50-60	3,6	0,1	1,0	0,3	tr.	0,6	tr.	0,9	tr.	0,5	0,1	0	0,6
	100-110	2,0	0,2	1,3	0,5	tr.	0,6	0,1	1,2	tr.	0,8	0,2	0	1,0
	140-150	20,0	0,2	2,1	1,0	0,2	0,8	0,1	2,1	tr.	1,9	tr.	0	1,9
Guini. Centre n° 19	0-12	7,8	6,8	4,0	1,3	0,6	1,4	0,6	3,9	0,2	2,3	0,2	0	2,7
	12-16	5,5	4,3	4,1	1,5	0,6	2,1	0,2	4,4	tr.	4,0	0,2	0	4,2
	25-35	11,1	0,2	2,4	1,0	0,3	0,9	0,1	2,3	tr.	2,0	0,2	0	2,2
	60-70	9,8	0,3	2,5	1,3	0,5	1,0	0,1	2,9	tr.	2,4	0,2	0	2,6

* tr. : traces.

TABLEAU n° XIII

ANALYSES DES SELS DES SOLS

A PARTIR D'EXTRAITS AQUEUX

(EXTRAITS SATURES)

Localisation du profil	Profondeur (cm)	MO %	Calcaire total	Conductivité E.S.	Ca	Mg	Na	K	S^+	Cl	SO_4	HCO_3	CO_3	S^-
Guini. Centre Est n° 20	0-18	7,6	5,1	7,1	2,2	0,7	3,8	0,5	7,2	0,3	6,0	0,3	0	6,6
	18-36	11,8	26,0	13,1	3,2	0,3	15,7	0,4	19,6	tr.	17,1	0,8	0	17,9
	36-46	9,7	2,6	11,5	2,0	1,5	12,3	0,3	16,1	tr.	11,8	0,5	0	12,3
	60-70	11,9	0,6	13,4	3,3	1,1	18,1	0,3	22,8	tr.	19,4	1,1	0	20,5
	95-105	7,9	0,1	11,2	1,9	1,2	9,6	0,2	12,9	tr.	10,7	0,4	0	11,1
Guini. Centre-Est n° 31	0-7	7,6	6,2	8,4	0,5	0,1	11,1	0,9	12,6	0,7	9,7	2,4	0,3	13,1
	11-20	7,6	2,3	26,4	2,2	1,6	38,6	2,0	44,4	2,1	37,5	2,1	0	41,7
	20-30	9,7	2,1	40,0	1,3	1,8	65,6	2,1	70,8	1,6	72,	3,1	0	76,7
	30-32	25,5	4,9	48,0	3,6	9,3	99,0	3,9	114,8	5,3	97	3,5	0	105,8
	32-42	17,9	25,2	45,0	4,5	8,9	82,0	3,0	98,4	5,3	98	3,5	0	106,8
	50-60	13,4	27,9	40,0	5,0	10,6	58,0	1,9	75,5	4,7	74	3,8	0	82,5
	72-80	12,4	1,9	16,5	2,3	1,5	18,4	0,6	22,8	1,5	20,2	0,7	0	22,4
	85-95	15,2	0,2	13,0	2,0	1,3	12,2	0,2	15,7	0,8	15,1	0,4	0	16,3
Guini. Bordure Est n° 26	0_6	5,1	1,3	4,1	1,6	0,4	0,6	0,2	2,8	0,1	2,3	0,4	0	2,8
	6-12	4,4	1,6	6,9	1,8	0,1	3,2	0,5	5,6	0,2	6,1	0,3	0	6,6
	12-20	4,0	0,6	11,9	2,1	0,1	7,1	0,4	9,6	0,4	7,9	1,0	0	9,3
	20-26	10,8	11,4	11,9	4,5	2,6	18,4	0,9	26,4	0,5	21,4	1,3	0	23,2
	26-36	7,1	0,8	20,6	2,1	1,8	20,9	0,5	25,3	1,0	17,3	3,4	0	21,7
	60-70	5,3	0,3	11,1	2,2	1,2	10,3	0,1	13,8	0,3	12,2	0,5	0	12,7
	120-130	4,6	0	7,2	0,5	0,3	5,3	0,1	6,2	0,4	5,6	0,4	0	6,4
Guini. Centre Sud n° 38	0-9	9,3	12,7	8,4	2,2	1,0	5,9	0,2	9,3	0,9	6,2	0,9	0	8,0
	9-17	6,0	23,9	3,7	0,5	0,3	2,6	0,1	3,5	0,2	1,4	1,0	0	2,6
	20-30	8,8	0,5	4,1	1,1	0,3	2,5	tr.	3,9	0,2	2,9	0,3	0	3,4
	55-65	8,2	0,3	3,8	1,1	0,2	2,5	0,1	3,9	0,1	3,2	0,4	0	3,7
	100-110	5,2	0,2	3,1	0,8	0,8	1,9	0,1	4,2	0,1	2,1	0,8	0	2,9

TABLEAU n° XIV

ANALYSES DES SELS DES SOLS

A PARTIR D'EXTRAITS AQUEUX

(EXTRAITS SATURES)

Localisation des prélèvement. Numéro du profil.	Profondeur (cm)	MO %	Calcaire total	Conductivité E.S.	Ca	Mg	Na	K	S^+	Cl	SO_4	HCO_3	CO_3	S^-
Guini. Sud	0-9	7,8	6,1	7,8	1,7	0,4	6,4	0,2	8,7	0,6	6,6	1,1	0	8,3
	10-20	7,7	26,4	4,4	1,0	0,5	3,5	0,1	5,1	0,3	3,5	0,6	0	4,4
n° 55	35-45	9,7	0,4	3,2	1,1	0,5	2,4	0,1	4,8	0,2	3,1	0,6	0	3,9
	60-70	10,9	0,4	4,1	1,3	1,1	2,3	0,1	4,8	0,2	2,7	0,3	0	3,2
	135-140	7,5	0,5	4,5	1,5	1,9	2,4	0,1	5,9	0,5	3,3	0,5	0	4,3
Bérim - Nord	0-5	11,3	3,2	7,8	2,8	1,1	3,9	0,8	8,6	0,7	4,9	0,5	0	6,1
	7-13	9,9	3,0	7,6	2,0	0,9	3,1	0,4	6,4	0,4	5,5	0,2	0	6,1
	13-20	9,7	2,2	4,8	1,4	0,5	2,6	0,3	4,8	0,2	3,6	0,3	0	4,1
n° 85	35-45	12,6	0,4	3,8	1,7	0,5	1,5	0,1	3,8	0,1	3,3	0,2	0	3,6
	60-70	8,0	0,3	1,7	0,5	0,2	0,8	0,1	1,6	0,1	1,2	0,2	0	1,5
	85-95	6,1	0,2	4,1	2,3	0,9	1,3	0,2	4,7	0,1	4,3	0,1	0	4,5
	115-130	3,4	0,	2,7	1	0,3	1,0	0,1	2,4	tr.	1,0	0,2	0	1,2
Bérim. Centre-Nord	0-5	8,5	3,5	10,1	3,0	1,1	7,6	0,6	12,3	1	9,2	1,5	0	11,7
	5-14(A)	7,7	1,4	4,4	1,4	0,9	1,8	0,2	4,3	0,2	3,4	0,8	0	4,4
	5-14(B)	8,3	4,0	3,9	1,1	0,5	1,8	0,2	3,6	0,1	2,8	0,8	0	3,7
n° 96	35-45	10,3	1,2	5,6	2,3	0,6	2,4	0,1	5,4	0,2	5,4	tr.	0	5,6
	60-70	12,4	0,2	2,8	1,2	0,1	0,9	0,1	2,3	0,1	2,3	tr.	0	2,4
	80-90	2,4	0	3,8	2	0,6	0,6	0,2	3,4	0,1	2,9	0,8	0	3,8
Bérim Centre	0-8	10	0,7	8,7	1,5	0,7	7,1	0,8	10,1	1,6	4,9	1,8	0	8,3
	10-20	8,3	0,5	4,8	0,6	0,4	2,9	0,2	4,1	0,3	3,1	0,5	0	3,9
	30-40	5,4	0,2	5,7	1,2	0,6	5,1	0,6	7,5	0,3	6,8	tr.	0	7,1
n° 122	50-60	4	0,2	-	0,7	0,5	4,6	0,2	6,0	0,3	5,3	tr.	0	5,6
	75-85	4,8	0,3	3,3	1,6	0,6	4,7	0,6	7,5	0,1	5,0	tr.	0	5,1
	170-180	18,9	0,2	7,0	2,7	1,3	4,8	0,3	9,1	0,5	6,5	tr.	0	7,0

TABLEAU n° XV

ANALYSE DES SELS DES SOLS

A PARTIR D'EXTRAITS AQUEUX

(EXTRAITS "SATURES")

Localisation des prélèvements. Numéro du profil.	Profondeur (cm)	MO %	Calcaire total	Conductivité E.S.	Ca	Mg	Na	K	S^+	Cl	SO_4	HCO_3	CO_3	S^-
Bérim Centre	0-2	11,2	0,6	7,2	1,2	0,3	5,6	0,3	7,4	1,4	2,2	4,0	0	7,6
	2-10	8,6	0,6	3,5	0,3	0,2	1,9	0,1	2,5	0,6	1,2	0,8	0	2,6
n° 123	30-40	7,9	0,2	3,2	0,3	0,2	0,9	0,1	1,5	0,2	1,3	0,3	0	1,8
	80-90	5,9	0,2	2,4	0,3	0,4	0,7	tr.	1,4	tr.	0,8	0,3	0	1,1
Bérim Sud - Bordure Ouest	0-14	9,3	0,3	1,1	0,4	0,1	0,3	0,2	1,	0,1	0,5	0,3	0	0,9
	35-45	6,7	0,1	1,2	0,3	0,1	0,3	tr.	0,7	tr.	0,6	0,1	0	0,7
	55-65	3,4	0,2	1,5	0,4	0,1	0,6	tr.	1,1	tr.	1,0	0,3	0	1,3
n° 145	85-95	3,8	0,2	0,8	0,2	0,1	0,3	tr.	0,6	tr.	tr.	0,8	0	0,8
Bérim Sud	0-1	17,4	2,1	13,6	3	1,3	22,4	10	36,7	0,8	28	1,6	0	30,4
	1-10	9,7	2,2	4,5	0,8	0,2	3,2	0,3	4,5	0,4	3,4	0,5	0	4,3
	13-23	10	0,5	6,0	1	0,6	4,8	0,1	6,5	0,4	5,6	0,4	0	6,4
n° 146	37-46	7,5	0,3	5,0	0,8	0,2	4,0	0,1	5,1	0,2	4,6	0,2	0	5,0
	55-62	10	0,3	4,0	0,8	0,3	3,0	tr.	4,1	0,2	3,4	0,1	0	3,7
Bérim Sud	0-6	10,6	6,6	5,0	0,6	0,5	4,3	0,1	5,5	0,6	3,4	1,7	0	5,7
	6-15	7,0	0,6	4,3	0,3	0,3	3,5	tr.	4,1	0,3	2,5	1,4	0	4,2
n° 147	15-20	19,5	0,4	2,8	0,5	0,4	3,0	tr.	3,9	0,1	1,9	1,4	0	3,4
	20-28	8,5	0,3	1,5	0,3	0,3	1,3	tr.	1,9	tr.	0,7	0,8	0	1,5
Bérim Sud - Bordure Est	0-7	8,4	0,3	1,2	0,6	0,2	0,2	0,2	1,2	tr.	n.d.	0,1	0	-
	10-20	4,0	0,2	4,7	1,7	1,4	1,3	0,1	4,5	tr.	3,7	0,1	0	3,8
	30-40	5,7	0,2	2,4	0,8	0,5	1,	0,1	2,4	tr.	1,7	tr.	0	1,7
n° 151	65-75	3,4	0,2	0,7	0,2	0,1	0,4	0,2	0,9	0,1	0,7	tr.	0	0,8
	100-110	3,5	0,2	0,8	0,3	0,3	0,5	0,3	1,4	tr.	1,3	tr.	0	1,3
Bérim.Extrême-Nord	0-6	21,5	0,8	2,1	0,9	0,3	2,7	1,2	5,1	1,4	1,6	1,9	0	4,9
	7-11	6,3	0,3	0,9	0,3	0,2	0,8	0,1	1,4	0,3	0,4	0,6	0	1,3
	10-17	12,2	0,2	0,7	0,3	0,1	0,4	0,1	0,9	0,2	0,3	0,2	0	0,7
n° 167	21-30	10,6	0,1	1,0	0,4	0,2	0,4	0,1	1,1	0,1	0,7	0,2	0	1,0
	35-45	7,4	0,1	0,9	1,0	0,5	0,3	0,1	1,9	tr.	1,7	0,7	0	2,4

TABLEAU n° XVI

ANALYSE DES SELS DES SOLS
A PARTIR D'EXTRAITS AQUEUX
(EXTRAITS AU 1/2)

Localisation des prélèvements. Numéro du profil	Profondeur (cm)	MO %	Calcaire % total	Ca	Mg	Na	K	S^+	Cl	SO_4	HCO_3	CO_3	S^-	Conductivité E. 1/2
Bérim Sud	salant	23,0	21,8	tr.	tr.	580	3,2	583,2	12,0	220	109	165	506	92
	0-5	5,4	11,3	0,1	0,1	97	0,6	97,8	9,1	38	18	23	88,1	40
n° 162	5-10	8,0	3,8	0,1	0,1	44	0,3	44,5	4,6	23	12	3,4	43,	22
	75-85	19,5	1,0	0,6	0,3	5,2	0,1	6,2	0,3	3,6	1,5	0	5,4	2,7
	130-160	5,2	0,2	0,1	0,1	1,4	0,1	1,7	0,1	1,0	0,5	0	1,6	0,8
Guini Sud	0-10			0,8	0,5	1,3	0,2	2,8	0,2	1,5	0,8	0	2,5	1,1
	10-20			5,3	1,2	8,2	0,2	14,9	0,4	13,4	0,6	0	14,4	6,9
n° 52	30-40			1,5	1,	2,3	0,4	5,2	0,1	2,3	1,9	0	4,3	2,3
	60-70			0,9	1,	3,3	0,3	5,5	0,1	3,2	1,6	0	4,9	2,4
	90-100			0,8	0,7	3,1	0,2	4,8	0,1	3,8	0,3	0	4,2	2,2
	110-130			0,6	0,9	1,4	0,6	3,5	0,1	2,	0,7	0	2,8	1,6
Guini Centre-Est	0-5			0,7	0,2	1,7	0,4	3,0	0,2	1,6	0,8	0	2,6	1,4
	5-10			1	0,3	5,8	0,5	7,6	0,5	6,4	0,5	0	7,4	4,1
n° 31	10-20			3,1	0,3	4,9	0,4	8,7	0,4	7,6	0,5	0	8,5	3,9
	30-40			5,5	2,4	16,2	0,5	24,6	1,6	21,4	0,4	0	23,4	11,3
	50-60			5,7	1,8	11,6	0,2	19,3	1	18,2	0,4	0	19,6	7,8
	70-80			6,5	1,7	10,4	0,2	18,8	0,7	17,3	0,4	0	18,4	7,0
	100-110			2	0,5	6,4	0,1	9,0	0,4	7,8	0,5	0	8,7	4,5
Bérim Sud	0-5			1,4	1	1,9	0,3	4,6	0,3	0,4	2,8	0,4	3,9	1,8
	5-10			1,5	1,2	2,2	0,4	5,3	0,2	0,4	3,3	0,6	4,5	2,4
n° 159	10-20			1,8	2,2	5,4	0,8	10,2	0,4	1,8	4,9	0,6	7,7	2,4
	25-35			1,5	2,7	5,2	0,9	10,3	0,4	2,8	3,1	0,2	6,5	3,4
	40-50			1,1	3,5	3,4	0,7	8,7	0,4	3,4	2,7	0,2	6,7	3,5

Ca, Mg, Na, K, S^+, Cl, SO_4, HCO_3, CO_3, S^- sont exprimés en milliéquivalents par 100 g de sol.

S^+ et S^- : Somme des cations et des anions.

La conductivité de l'extrait 1/2 est exprimée en mmhos cm^{-1} à 25°C.

TABLEAU n° XVII

DONNEES SUR LE PHOSPHORE TOTAL (‰) DANS LES SOLS DES POLDERS DE BOL.

Profil n°	Profondeur du prélèvement (cm)	P_2O_5 total (‰)	Profil n°	Profondeur du prélèvement	P_2O_5 total (‰)
4	0-6	3,9	85	0-5	2,05
	6-16	2,6		7-13	2,0
5	0-8	3,6		13-20	1,65
	12-22	3,0	96	0-5	2,9
				5-14	1,7
19	0-10	2,4			
20	0-10	1,9	122	0-8	1,7
	10-20	1,6		10-20	1,5
22	0-7	2,1	123	2-10	1,5
	7-11	1,4			
			145	0-14	3,0
26	0-6	1,8	146	1-10	2,8
	12-20	1,0			
			167	0-6	6,6
38	0-9	3,0		7-11	1,7
55	0-9	2,0		10-17	0,7
				21-30	0,6
				35-45	0,5

TABLEAU n° XVIII

DONNES SUR LE POTASSIUM ECHANGEABLE DANS LES SOLS DES POLDERS DE BOL.

(Rapprochées de données sur le sodium échangeable et la capacité d'échange, en meq/100 g).

Profil n°	Profondeur (cm)	K_{ech}	Na_{ech}	T	Profil n°	Profondeur (cm)	$K_{éch}$	$Na_{éch}$	T
5	0-8	5,5	0,9	40	96	0-5	3,8	10	45
	12-22	4,8	4,8	38,5		5-14	1,0	-	34,5
	26-36	0,9	3,9	33					
	40-50	0,5	1,5	25	122	0-8	6,8	8,3	31,5
						10-20	3,7	6,8	31,5
19	0-10	6,1	3,4	36		30-40	0,8	7,6	30
	10-20	3,6	3,2	34		50-60	1,1	9,1	31,5
22	0-7	4,3	0,3	36	123	0-2	5,6	14,5	47,5
	7-11	2,7	0,6	28		2-10	4,4	12	40,5
	20-30	0,7	1,9	29,5		15,25	1,9	10	35
26	0-6	2,5	0,6	22,5	145	0-14	4,6	1,0	46
	6-12	2,4	1,4	22		15-25	0,8	0,6	32,5
	12-20	2,5	2,8	22					
					151	0-7	5,3	0,4	33
38	0-9	4,3	6,9	38,5		10-20	0,7	0,8	21
	9-17	2,3	4,6	34		30-40	0,5	1,0	28,5
	20-30	1,1	3,8	35,5					
					167	0-6	6,6	3,5	55
85	0-5	5,6	5,3	40		7-11	1,8	0,7	28,5
	7-13	3,8	7,1	40,5		10-17	1,0	2,4	33
	35-45	1,2	3,1	28		21-30	0,5	2,3	24,5

K, Na, T sont exprimés en milliéquivalents pour 100 g.

CONVENTION ORSTOM - SODELAC

ETUDE DES SOLS DES DEUX POLDERS DE BOL-GUINI et BOL-BERIM
DANS LEURS RELATIONS AVEC LA NAPPE PHREATIQUE SOUS-JACENTE

1. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Profondeur de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
2. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Profondeur de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
3. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Profondeur de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
4. POLDERS DE BOL-GUINI et BOL-BERIM (1/20.000) = Esquisse du niveau piézométrique de la nappe phréatique au 1er mai 1970.
5. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Conductivité en mmho cm^{-1} à 25°C, des eaux de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
6. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Conductivité en mmho cm^{-1} à 25°C, des eaux de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
7. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Conductivité en mmho cm^{-1} à 25°C, des eaux de la nappe phréatique au 1er mars 1970.
8. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Caractères pédologiques des sols - Répartition du niveau de carbonatation ancienne.
9. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Caractères pédologiques des sols - Répartition du niveau de carbonatation ancienne.
10. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Caractères pédologiques des sols - Répartition du niveau de carbonatation ancienne.
11. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Degré de salure des sols des polders en 1970 - Problèmes de mise en valeur.
12. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Degré de salure des sols des polders en 1970 - Problèmes de mise en valeur.
13. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Degré de salure des sols des polders en 1970 - Problèmes de mise en valeur.
14. POLDER DE BOL-GUINI (1/5000) = Intensité de l'alcalinisation dans les sols des polders en 1970 - Conséquences sur la mise en valeur.
15. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE NORD (1/5000) = Intensité de l'alcalinisation dans les sols des polders en 1970 - Conséquences sur la mise en valeur.
16. POLDER DE BOL-BERIM - CARTE SUD (1/5000) = Intensité de l'alcalinisation dans les sols des polders en 1970 - Conséquences sur la mise en valeur.



1

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL GUINI

Echelle: 1/5000

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE

AU 1er MARS 1970

LEGENDE

- Eau libre
- 0 — 25 cm
- 25 — 50 cm
- 50 — 75 cm
- 75 — 100 cm
- 100 — 150 cm
- 150 — 200 cm
- 200 — 330 cm
- > 330 cm
- Points d'observation

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE NORD

Echelle: 1/5 000

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE

AU 1er MARS 1970

LEGENDE

- Eau libre
- 0 — 25 cm
- 25 — 50 cm
- 50 — 75 cm
- 75 — 100 cm
- 100 — 150 cm
- 150 — 200 cm
- 200 — 330 cm
- > 330 cm
- Points d'observation

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

2

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE SUD

Echelle: 1/5000

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE

AU 1er MARS 1970

LEGENDE

- Eau libre
- 0 — 25 cm
- 25 — 50 cm
- 50 — 75 cm
- 75 — 100 cm
- 100 — 150 cm
- 150 — 200 cm
- 200 — 330 cm
- > 330 cm
- Points d'observation

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

N

3

RAFIA KAFIA

MADI KIMEROM

MATAFO

non étudié

BOL

N

4

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

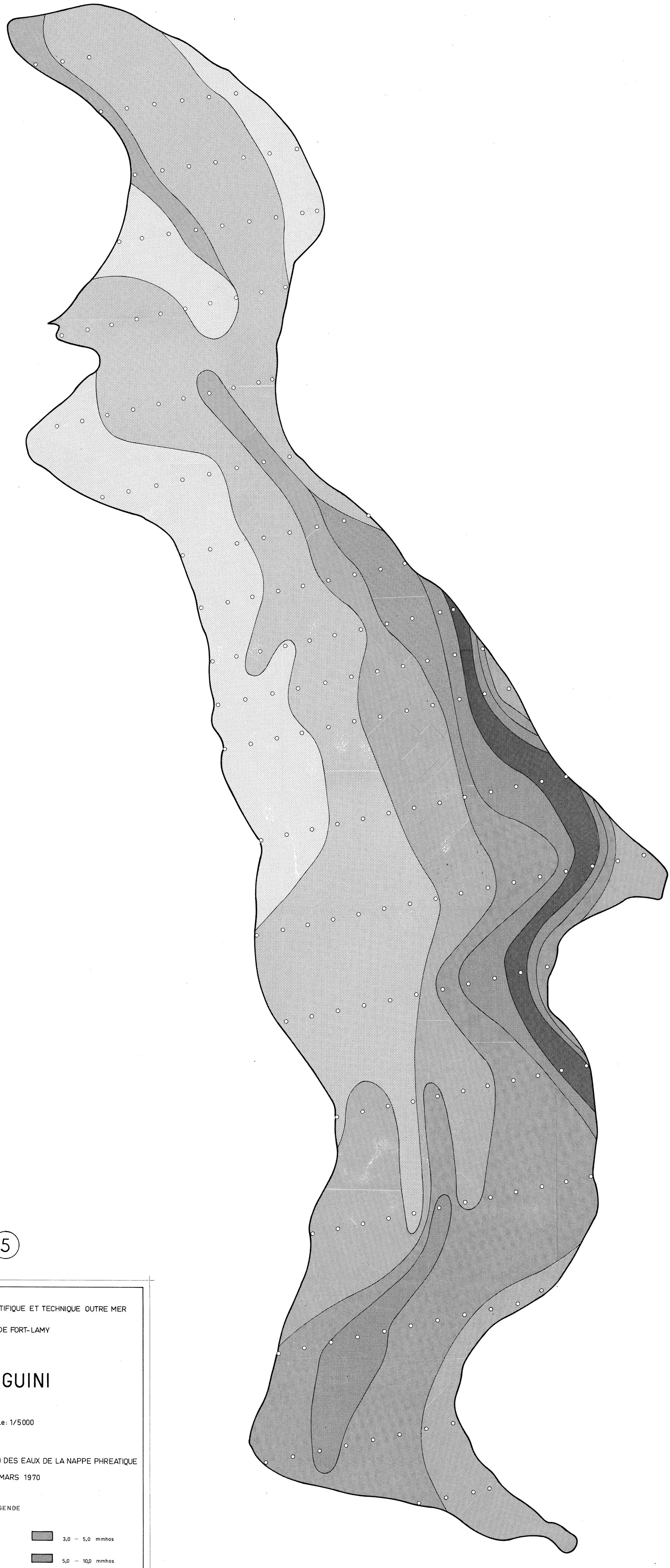
ESQUISSE DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE AU 1er MAI 1970

Echelle: 1/20000

LEGENDE

275,5 m et moins	277 — 277,5 m
275,5 — 276 m	277,5 — 278 m
276 — 276,5 m	278 — 278,5 m
276,5 — 276,75m	278 m et plus
276,75 — 277 m	

CONVENTION ORSTOM-SODELAC



5

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL GUINI

Echelle: 1/5000

CONDUCTIVITE (en mmhos cm^{-1} à 25°) DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE AU 1er MARS 1970

LEGENDE

- > 0,75 mmho
- 0,75 – 1,5 mmho
- 1,5 – 3,0 mmhos
- 3,0 – 5,0 mmhos
- 5,0 – 10,0 mmhos
- > 10,0 mmhos
- Points de mesure

Carte dressée par R. SAVIL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

N

6

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE NORD

Echelle: 1/5000

CONDUCTIVITE (en mmhos cm^{-1} à 25°) DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE AU 1er MARS 1970

LEGENDE

- 0 – 0,75 mmho cm^{-1} à 25°C
- 0,75 – 1,5
- 1,5 – 3,0
- 3,0 – 5,0 mmhos cm^{-1} à 25°C
- 5,0 – 10,0
- > 10,0
- Points de mesure

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM SODELAC

N

7

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT LAMY

BOL BERIM

CARTE SUD

Echelle: 1/5000

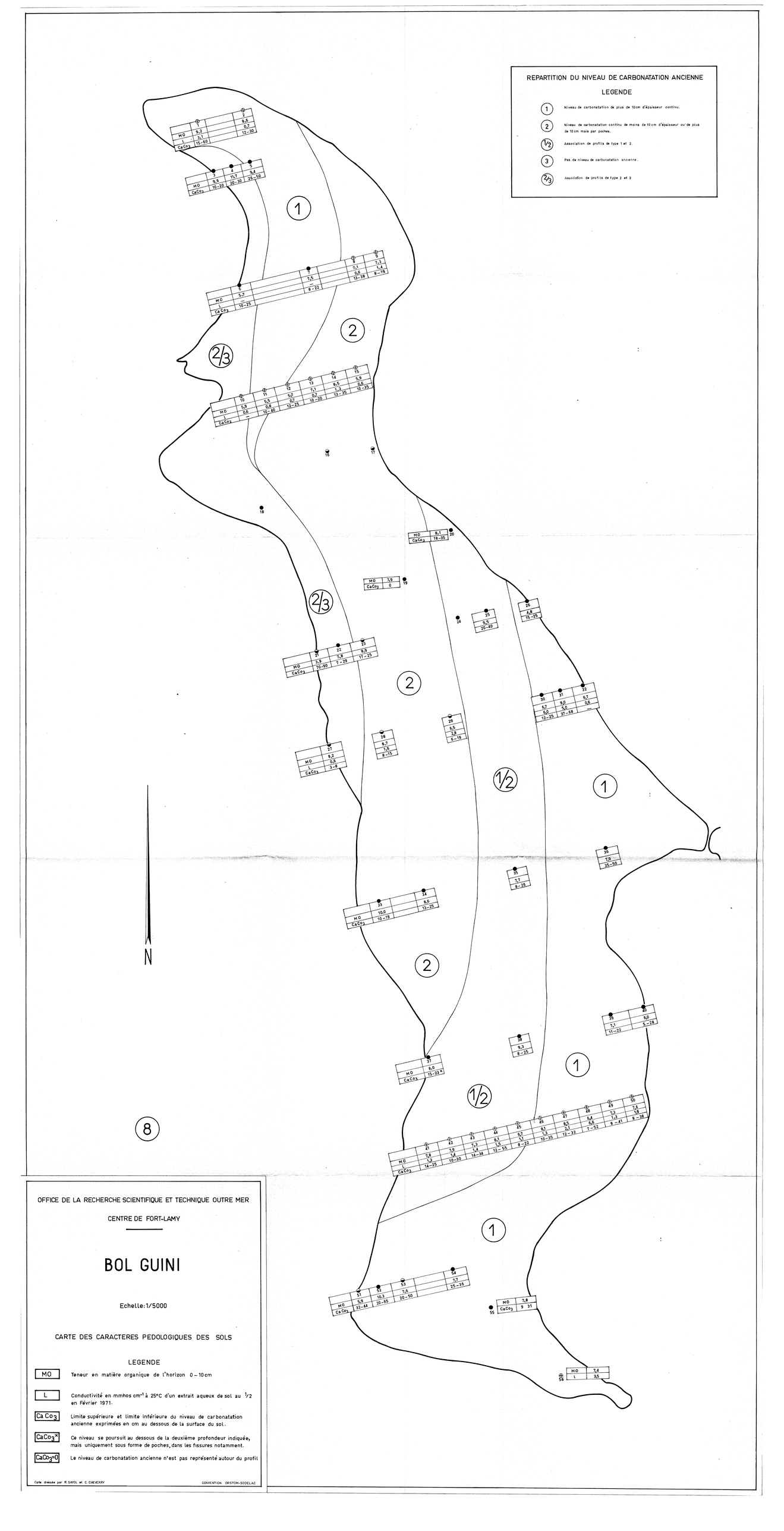
CONDUCTIVITE (en mmhos cm^{-1} à 25°) DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE AU 1er MARS 1970

LEGENDE

- 0 – 0,75 mmho cm^{-1} à 25°C
- 0,75 – 1,50
- 1,50 – 3,0
- 3,0 – 5,0 mmhos cm^{-1} à 25°C
- 5,0 – 10,0
- > 10 0
- Points de mesure

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM – SODELAC



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL GUINI

Echelle: 1/5000

CARTE DES CARACTERES PEDOLOGIQUES DES SOLS

LEGENDE

MO	Teneur en matière organique de l'horizon 0 – 10 cm
L	Conductivité en mmhos cm^{-1} à 25°C d'un extrait aqueux de sol au 1/2 en Février 1971.
$CaCo_3$	Limite supérieure et limite inférieure du niveau de carbonatation ancienne exprimées en cm au dessous de la surface du sol.
$CaCo_3^x$	Ce niveau se poursuit au dessous de la deuxième profondeur indiquée, mais uniquement sous forme de poches, dans les fissures notamment.
$CaCo_3=0$	Le niveau de carbonatation ancienne n'est pas représenté autour du profil

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

REPARTITION DU NIVEAU DE CARBONATATION ANCIENNE

LEGENDE

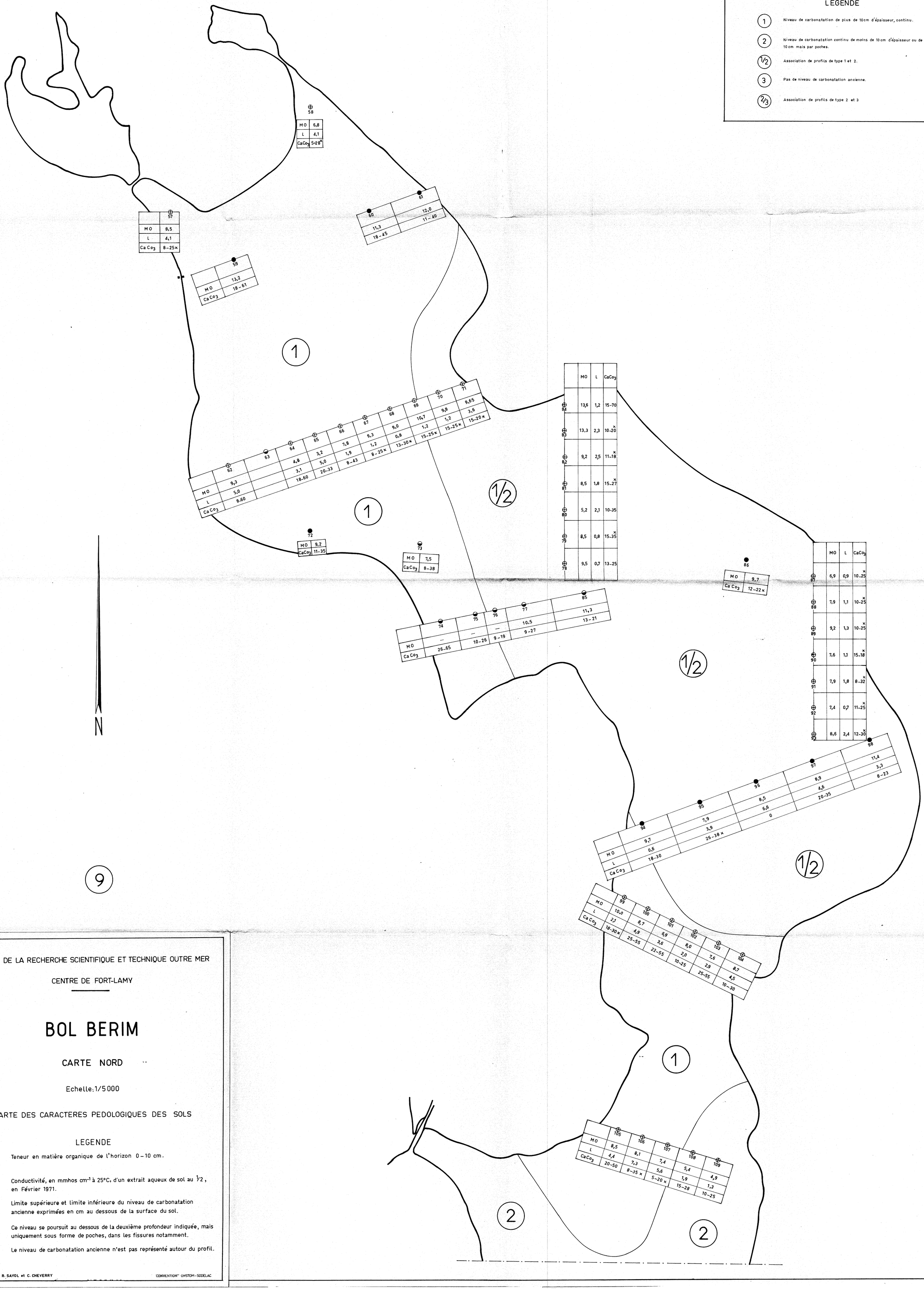
(1) Niveau de carbonatation de plus de 10cm d'épaisseur, continu.

(2) Niveau de carbonatation continu de moins de 10 cm d'épaisseur ou de plus de 10 cm mais par poches.

(1/2) Association de profils de type 1 et 2.

(3) Pas de niveau de carbonatation ancienne.

(2/3) Association de profils de type 2 et 3



(9)

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE NORD

Echelle: 1/5000

CARTE DES CARACTERES PEDOLOGIQUES DES SOLS

LEGENDE

MO — Teneur en matière organique de l'horizon 0 – 10 cm.

L — Conductivité, en mmhos cm^{-1} à 25°C, d'un extrait aqueux de sol au 1/2, en Février 1971.

$CaCo_3$ — Limite supérieure et limite inférieure du niveau de carbonatation ancienne exprimées en cm au dessous de la surface du sol.

$CaCo_3^x$ — Ce niveau se poursuit au dessous de la deuxième profondeur indiquée, mais uniquement sous forme de poches, dans les fissures notamment.

$CaCo_3=0$ — Le niveau de carbonatation ancienne n'est pas représenté autour du profil.

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

REPARTITION DU NIVEAU DE CARBONATATION ANCIENNE

LEGENDE

1. Niveau de carbonatation de plus de 10cm d'épaisseur, continu.
2. Niveau de carbonatation continu de moins de 10 cm d'épaisseur ou de plus de 10cm mais par poches.
1/2. Association de profils de type 1 et 2
3. Pas de niveau de carbonatation ancienne.
2/3. Association de profils de type 2 et 3

	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
MO	7,3	6,4	5,4	6,7	7,9	10,3	7,8	6,7	7,4	8,7
L	1,5	2,2	1,5	1,2	2,1	5,9	1,9	0,7	1,8	5,8
$CaCo_3$	10-15	0	0	10-15 ×	13-35	8-22	7-17 ×	10-20	5-20	20-32

	120	121	122	123	124
MO	4,5	8,9	10,0	9,1	8,0
L	—	—	—	—	—
$CaCo_3$	0	0	0	0	0

	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
MO	8,8	10,5	7,3	5,2	8,0	7,9	6,8	10,2	7,25	8,1	7,1	6,9
L	3,0	0,9	2,4	0,7	7,3	2,0	3,1	2,0	4,4	10,4	8,4	2,2
$CaCo_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	137	138	139	140	141	142	143	144
MO	7,3	8,1	6,2	6,7	8,1	7,3	7,3	8,1
L	1,9	2,1	3,4	5,2	5,3	4,4	2,6	5,8
$CaCo_3$	0	0	0	0	0	0	0	0

	145	146	147	148	149	150
MO	9,3	10,0	10,6	12,0	10,0	13,0
L	—	—	—	—	—	—
$CaCo_3$	0	0	0	0	0	0

	151
MO	8,4
L	—
$CaCo_3$	0

	152	153	154
MO	10,7	15,7	7,9
L	14,0	1,5	11,9
$CaCo_3$	0	0	0

	155
MO	8,7
$CaCo_3$	0

	156	157	158	159	160	161
MO	7,6	6,1	7,7	4,1	7,4	17,9
$CaCo_3$	0	0	0	0	0	0

	162
MO	10
$CaCo_3$	0

	163	164	165	166	167
MO	4,7	7,1	5,9	4,0	21,5
L	1,5	4,4	10,6	1,2	2,5
$CaCo_3$	0	0	0	0	0

N

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE SUD

Echelle: 1/5.000

CARTE DES CARACTERES PEDOLOGIQUES DES SOLS

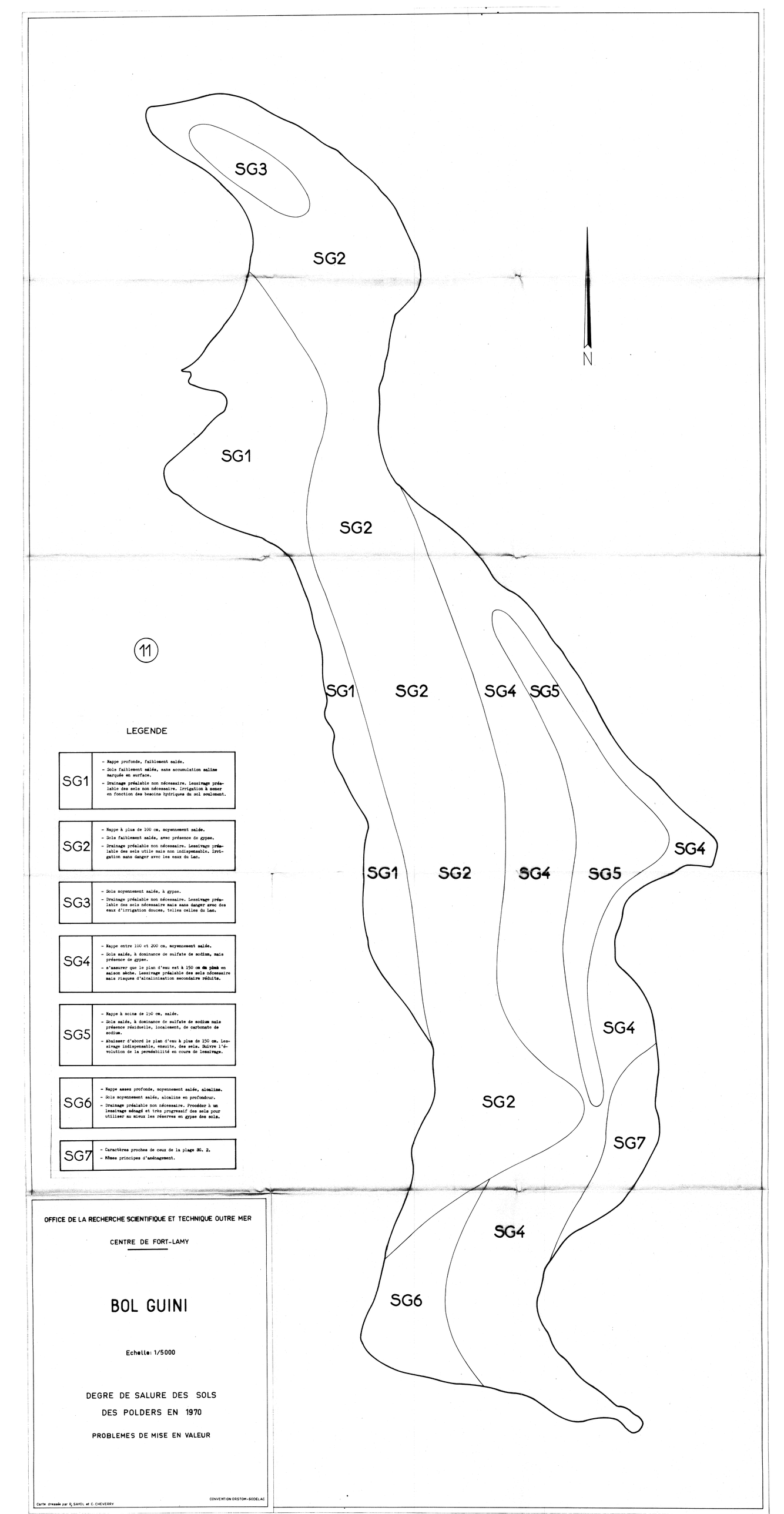
LEGENDE

MO	Teneur en matière organique de l'horizon 0 – 10 cm
L	Conductivité en mmhos cm^{-1} à 25°C d'un extrait aqueux de sol au 1/2, en Février 1971.
$CaCo_3$	Limite supérieure et limite inférieure du niveau de carbonatation ancienne exprimées en cm au dessous de la surface du sol.
$CaCo_3^{\times}$	Ce niveau se poursuit au dessous de la deuxième profondeur indiquée, mais uniquement sous forme de poches, dans les fissures notamment.
$CaCo_3=0$	Le niveau de carbonatation ancienne n'est pas représenté autour du profil.

BOL

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC



LEGENDE

SG1	- Nappe profonde, faiblement salée. - Sols faiblement salés, sans accumulation saline marquée en surface. - Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable des sols non nécessaire. Irrigation à mener en fonction des besoins hydriques du sol seulement.
SG2	- Nappe à plus de 100 cm, moyennement salée. - Sols faiblement salés, avec présence de gypse. - Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable des sols utile mais non indispensable. Irrigation sans danger avec les eaux du Lac.
SG3	- Sols moyennement salés, à gypse. - Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable des sols nécessaire mais sans danger avec des eaux d'irrigation douces, telles celles du Lac.
SG4	- Nappe entre 100 et 200 cm, moyennement salée. - Sols salés, à dominance de sulfate de sodium, mais présence de gypse. - s'assurer que le plan d'eau est à 150 cm en saison sèche. Lessivage préalable des sols nécessaire mais risques d'alcalinisation secondaire réduits.
SG5	- Nappe à moins de 150 cm, salée. - Sols salés, à dominance de sulfate de sodium mais présence résiduelle, localement, de carbonate de sodium. - Abaisser d'abord le plan d'eau à plus de 150 cm. Lessivage indispensable, ensuite, des sels. Suivre l'évolution de la perméabilité en cours de lessivage.
SG6	- Nappe assez profonde, moyennement salée, alcaline. - Sols moyennement salés, alcalins en profondeur. - Drainage préalable non nécessaire. Procéder à un lessivage ménagé et très progressif des sols pour utiliser au mieux les réserves en gypse des sols.
SG7	- Caractères proches de ceux de la plage BO. 2. - Mêmes principes d'aménagement.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL GUINI

Echelle: 1/5000

DEGRE DE SALURE DES SOLS
DES POLDERS EN 1970

PROBLEMES DE MISE EN VALEUR

Carte dressée par R. SAVOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

LEGENDE

SB1	- Nappe profonde, moyennement salée ou salée. - Sols salés, riches en gypse. - Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable nécessaire, sans danger avec des eaux douces.
SB2	- Nappe entre 100 et 200 cm, sauf exception, moyennement salée. - sols moyennement salés, contenant du gypse. - Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable des sels utile mais non indispensable, et sans danger avec des eaux douces.
SB3	- Nappe faiblement salée. - Sols faiblement salés. - Irrigation à mener avant tout en fonction des besoins hydriques du sol et des plantes.
SB4	- Nappe assez peu profonde, moyennement salée. - Sols moyennement salés, à accumulation saline superficielle. - Abaisser d'abord le plan d'eau à plus de 150 cm. Lessivage des sels ensuite nécessaire, par irrigation avec des eaux douces. Risque limité d'alcalinisation secondaire.
SB5	- Nappe peu profonde. - Maturation incomplète des sédiments. - Abaisser d'abord fortement le plan d'eau ; étanchéifier éventuellement le 3ème barrage.
SB6	- Nappe peu profonde, moins de 100 cm, degré de minéralisation très variable. - Sols moyennement salés mais alcalins. - Drainage préalable indispensable. Tenter le lessivage des sels avec des eaux douces, en suivant l'évolution de la perméabilité en cours de lessivage.
SB7	- Nappe faiblement salée. - Mêmes principes d'aménagement que pour les plages SG. 1 et SB. 3. - Extension réduite ; ces sols jouxtent des sols très salés à carbonate de sodium.
SB8	- Plage de caractères intermédiaires entre ceux des plages SB. 6 et SB. 9. - Aménagement à prévoir proche de celui de SB. 9.
SB9	- Nappe très peu profonde, moins de 75 cm, à degré de minéralisation très variable, mais fréquemment élevé ; eaux potentiellement alcalines. - Sols moyennement salés ou salés, avec localement accumulation de carbonate de sodium. - Abaisser fortement, par paliers, le plan d'eau à plus de 150 cm. Ecrémer le sel cristallisé en surface du sol. Ne pas irriguer avec des eaux douces dans l'immédiat.

SB1

SB2

SB2

SB3

SB2

SB4

SB4

SB6

SB5

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE NORD

Echelle: 1/5000

DEGRE DE SALURE DES SOLS
DES POLDERS EN 1970

PROBLEMES DE MISE EN VALEUR

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

13

LEGENDE

SB1

- Nappe profonde, moyennement salée ou salée.
- Sols salés, riches en gypse.
- Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable nécessaire, sans danger avec des eaux douces.

SB2

- Nappe entre 100 et 200 cm, sauf exception, moyennement salée.
- Sols moyennement salés, contenant du gypse.
- Drainage préalable non nécessaire. Lessivage préalable des sels utile mais non indispensable, et sans danger avec des eaux douces.

SB3

- Nappe faiblement salée.
- Sols faiblement salés.
- Irrigation à mener avant tout en fonction des besoins hydriques du sol et des plantes.

SB4

- Nappe assez peu profonde, moyennement salée.
- sols moyennement salés, à accumulation saline superficielle.
- Abaisser d'abord le plan d'eau à plus de 150 cm. Lessivage des sels ensuite nécessaire, par irrigation avec des eaux douces. Risque limité d'alcalinisation secondaire.

SB5

- Nappe peu profonde.
- Maturation incomplète des sédiments.
- Abaisser d'abord fortement le plan d'eau ; étanchéifier éventuellement le 3 ème barrage.

SB6

- Nappe peu profonde, moins de 100 cm, dégré de minéralisation très variable.
- Sols moyennement salés mais alcalins.
- Drainage préalable indispensable. Tenter le lessivage des sels avec des eaux douces, en suivant l'évolution de la perméabilité en cours de lessivage.

SB7

- Nappe faiblement salée.
- Mêmes principes d'aménagement que pour les plages SG. 1 et SB. 3.
- Extension réduite ; ces sols jouxtent des sols très salés à carbonate de sodium.

SB8

- Plage de caractères intermédiaires entre ceux des plages SB. 6 et SB. 9.
- Aménagement à prévoir proche de celui de SB. 9.

SB9

- Nappe très peu profonde, moins de 75 cm, à degré de minéralisation très variable, mis fréquemment élevé ; eaux potentiellement alcalins.
- Sols moyennement salés ou salés, avec localement accumulation de carbonate de sodium.
- Abaisser fortement, par paliers, le plan d'eau à plus de 150 cm. Ecrémer le sel cristallisé en surface du sol. Ne pas irriguer avec des eaux douces dans l'immédiat.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE SUD

Echelle: 1/5000

DEGRE DE SALURE DES SOLS
DES POLDERS EN 1970

PROBLEMES DE MISE EN VALEUR

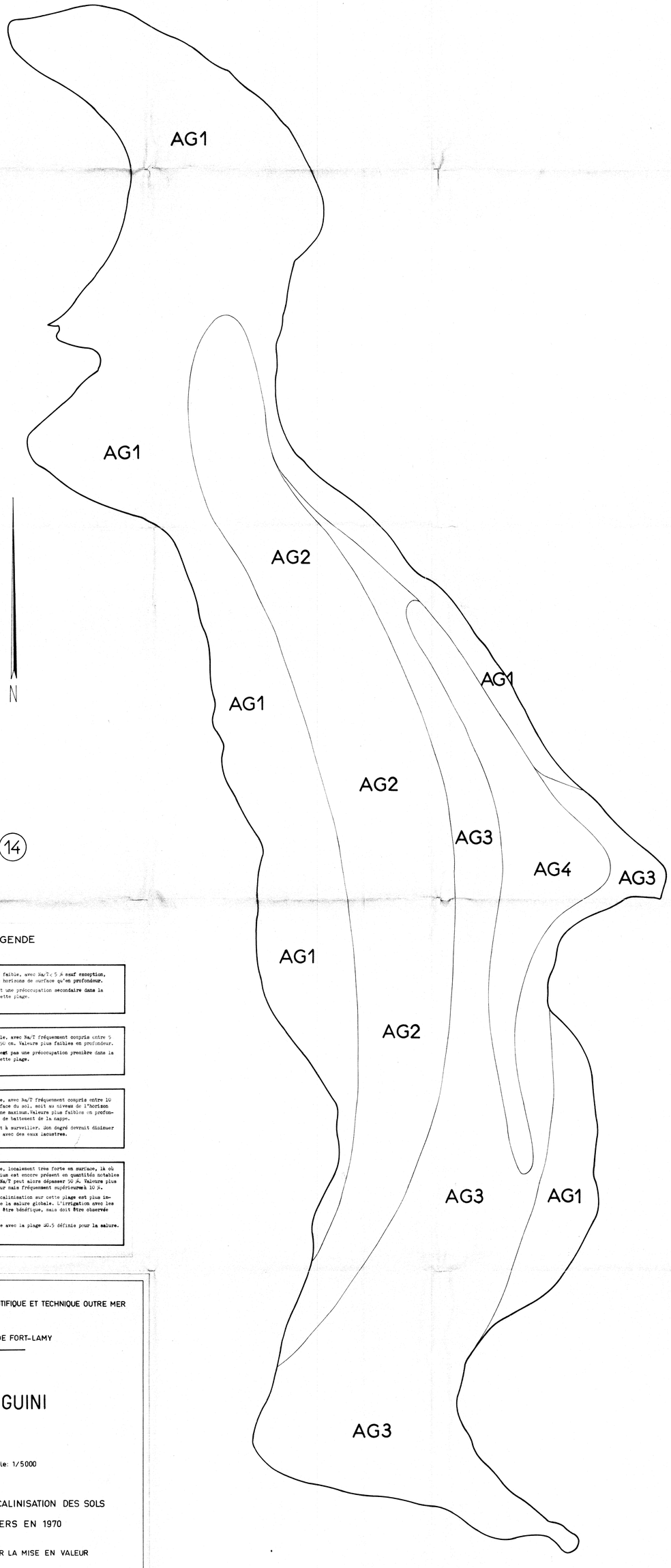
Carte dressée par R. SAVOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

SB6 SB4 SB5 SB7 SB4 SB6 SB9 SB8 SB8 SB7 SB7 SB9 SB8 SB8 SB9 SB6

N

BOL



LEGENDE

AG1	- Alcalinisation très faible, avec Na/T ≤ 5 % sauf exception, aussi bien dans les horizons de surface qu'en profondeur. - L'alcalinisation est une préoccupation secondaire dans la mise en valeur de cette plage.
AG2	- Alcalinisation faible, avec Na/T fréquemment compris entre 5 et 10 % entre 0 et 50 cm. Valeurs plus faibles en profondeur. - L'alcalinisation n'est pas une préoccupation première dans la mise en valeur de cette plage.
AG3	- Alcalinisation forte, avec Na/T fréquemment compris entre 10 et 25 % soit en surface du sol, soit au niveau de l'horizon d'accumulation saline maximum. Valeurs plus faibles en profondeur, dans la zone de battement de la nappe. - L'alcalinisation est à surveiller. Son degré devrait diminuer avec une irrigation avec des eaux lacustres.
AG4	- Alcalinisation forte, localement très forte en surface, là où le carbonate de sodium est encore présent en quantités notables (> 0,5 meg/100 g.) Na/T peut alors dépasser 50 %. Valeurs plus faibles en profondeur mais fréquemment supérieures à 10 %. - Le problème de l'alcalinisation sur cette plage est plus important que celui de la salure globale. L'irrigation avec les eaux du Lac devrait être bénéfique, mais doit être observée avec soin. - Cette plage coïncide avec la plage SS.5 définie pour la salure.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL GUINI

Echelle: 1/5000

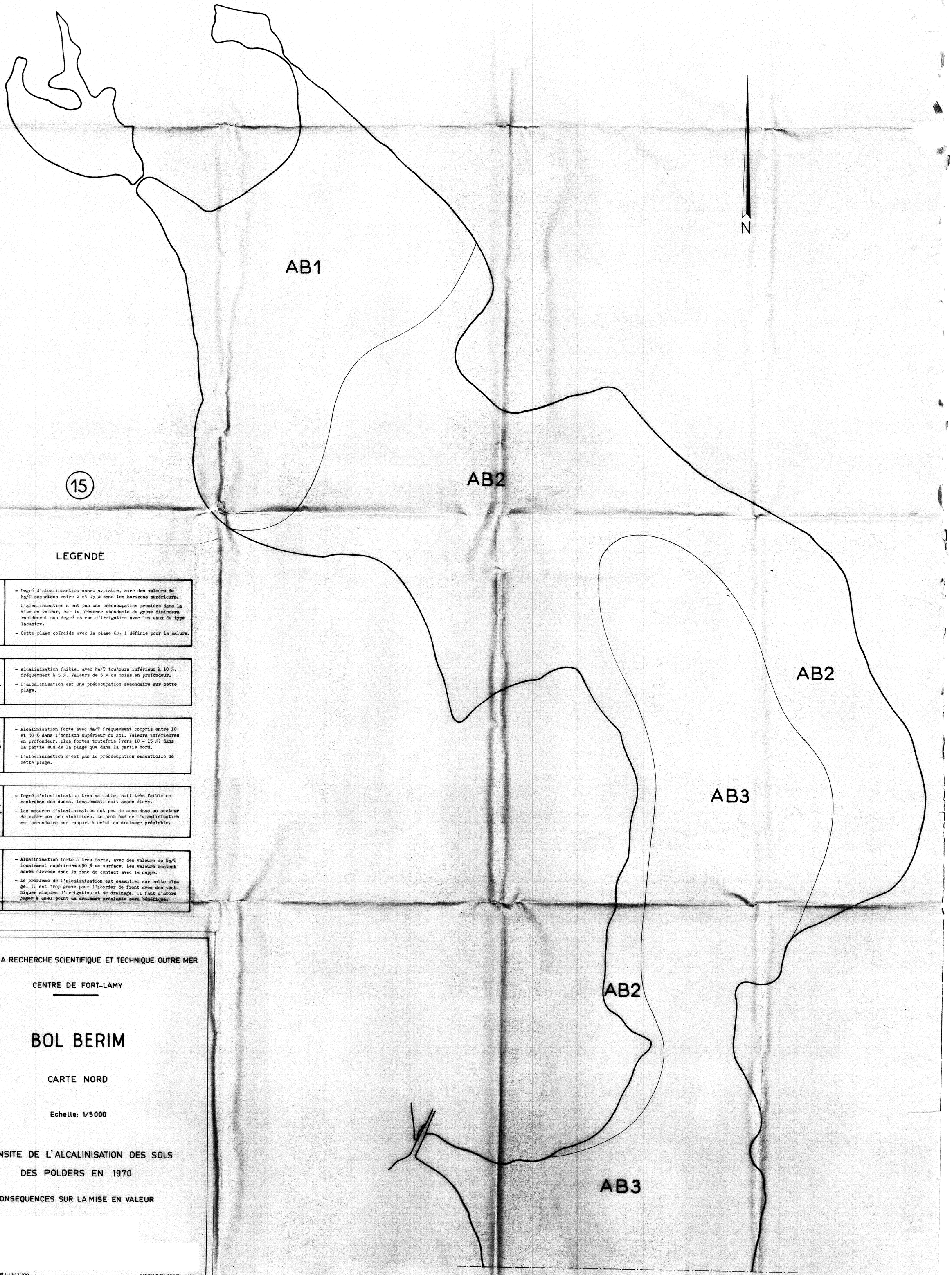
INTENSITE DE L'ALCALINISATION DES SOLS DES POLDERS EN 1970

CONSEQUENCES SUR LA MISE EN VALEUR

31 MAI 1972

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC



15

LEGENDE

AB1

- Degré d'alcalinisation assez avriable, avec des valeurs de Na/T comprises entre 2 et 15 % dans les horizons supérieurs.
- L'alcalinisation n'est pas une préoccupation première dans la mise en valeur, car la présence abondante de gypse diminuera rapidement son degré en cas d'irrigation avec les eaux de type lacustre.
- Cette plage coïncide avec la plage SB. 1 définie pour la salure.

AB2

- Alcalinisation faible, avec Na/T toujours inférieur à 10 %, fréquemment à 5 %. Valeurs de 5 % ou moins en profondeur.
- L'alcalinisation est une préoccupation secondaire sur cette plage.

AB3

- Alcalinisation forte avec Na/T fréquemment compris entre 10 et 30 % dans l'horizon supérieur du sol. Valeurs inférieures en profondeur, plus fortes toutefois (vers 10 - 15 %) dans la partie sud de la plage que dans la partie nord.
- L'alcalinisation n'est pas la préoccupation essentielle de cette plage.

AB4

- Degré d'alcalinisation très variable, soit très faible en contrebas des dunes, localement, soit assez élevé.
- Les mesures d'alcalinisation ont peu de sens dans ce secteur de matériaux peu stabilisés. Le problème de l'alcalinisation est secondaire par rapport à celui du drainage préalable.

AB5

- Alcalinisation forte à très forte, avec des valeurs de Na/T localement supérieures à 50 % en surface. Les valeurs restent assez élevées dans la zone de contact avec la nappe.
- Le problème de l'alcalinisation est essentiel sur cette plage. Il est trop grave pour l'aborder de front avec des techniques simples d'irrigation et de drainage. Il faut d'abord juger à quel point un drainage préalable sera bénéfique.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE NORD

Echelle: 1/5000

INTENSITE DE L'ALCALINISATION DES SOLS DES POLDERS EN 1970

CONSEQUENCES SUR LA MISE EN VALEUR

Carte dressée par R. SAYOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

AB3

AB4

AB5

AB3

AB3

AB4

AB5

N

AB3

AB4

AB5

AB3

AB5

BOL

16

LEGENDE

AB1	- Degré d'alcalinisation assez variable, avec des valeurs de Na/T comprises entre 2 et 15 % dans les horizons supérieurs. - L'alcalinisation n'est pas une préoccupation première dans la mise en valeur, car la présence abondante de gypse diminuera rapidement son degré en cas d'irrigation avec des eaux de type lacustre. - Cette plage coïncide avec la plage Sb. 1 définie pour la salure.
AB2	- Alcalinisation faible, avec Na/T toujours inférieur à 10 %, fréquemment à 5 %. Valeurs de 5 % ou moins en profondeur. - L'alcalinisation est une préoccupation secondaire sur cette plage.
AB3	- Alcalinisation forte avec Na/T fréquemment compris entre 10 et 30 % dans l'horizon supérieur du sol. Valeurs inférieures en profondeur, plus fortes toutefois (vers 10 - 15 %) dans la partie sud de la plage que dans la partie nord. - L'alcalinisation n'est pas la préoccupation essentielle de cette plage.
AB4	- Degré d'alcalinisation très variable, soit très faible en contrebas des dunes, localement, soit assez élevé. - Les mesures d'alcalinisation ont peu de sens dans ce secteur de matériaux peu stabilisés. Le problème de l'alcalinisation est secondaire par rapport à celui du drainage préalable.
AB5	- Alcalinisation forte à très forte, avec des valeurs de Na/T localement supérieures à 50 % en surface. Les valeurs restent assez élevées dans la zone de contact avec la nappe. - Le problème de l'alcalinisation est essentiel sur cette plage. Il est trop grave pour l'aborder de front avec des technique simples d'irrigation et de drainage. Il faut d'abord juger à quel point un drainage préalable sera bénéfique.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE FORT-LAMY

BOL BERIM

CARTE SUD

Echelle: 1/5.000

INTENSITE DE L'ALCALINISATION DES SOLS DES POLDERS EN 1970

CONSEQUENCES SUR LA MISE EN VALEUR

Carte dressée par R. SAVOL et C. CHEVERRY

CONVENTION ORSTOM-SODELAC

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

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS 8e

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay - 93 - BONDY

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

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

O. R. S. T. O. M. Éditeur