00/153

I5 - LES SOLS DU DELTA

PAR J. DUBOIS CHEF DE LA DIVISION SCIENTIFIQUE
DE LA M.A.S. - 1955

L'histoire géologique, la lithologie, la morphologie, le climat, l'hydrologie, ont déjà fait l'objet d'études (Rapport général M.A.S.1955)

Il reste à étudier comment ces facteurs ont agi et agissent sur la formation des sols.

La genèse des sols est liée à, la fois à l'histoire géologique et aux conditions locales actuelles dont les influences s'enchevêtrent, d'où une grande complexité et des variations nombreuses dans le sens latéral et vertical.

Aussi bien pour cartographier que pour exposer le sujet, il est nécessaire de simplifier en s'attachant aux facteurs dominants.

I52 - IDEES GENERALES SUR LES SOLS

I52I - FORMATION

L'alluvionnement a déterminé des cuvettes et des levées.

Dans les deux cas l'évolution des sols est dominée par les effets de l'humidité très forte qui règne sur la totalité ou sur une partie du profil pendant un temps plus ou moins long ; c'est ce qui caractèrise les sols hydromorphes.

* * *

Dans le cas des cuvettes la sédimentation, phénomène géologique, s'est développée postérieurement à la construction des levées et se poursuit encore actuellement en même temps que les phénomènes pédologiques assimilent à un sol déjà défini les éléments minéraux et organiques annuellement apportés.

Cette évolution pédologique s'opère une grande partie de l'année en milieu gorgé d'eau, privé d'air où les microorganismes doivent puiser l'oxygène aux dépens des oxydes. Le milieu est alors réducteur.

Le calme des eaux d'inondation conduit à une sédimentation fine, c'est-à-dire à des sols argileux. Les sols de cuvettes peu argileux sont l'exception. Ils s'expliquent par des phénomènes tout à fait locaux tels que ruissellement entrainant du sable vers les bas-fonds ou modification de la morphologie transformant en cuvette les parties basses d'anciennes levées.

Il est possible que les oxydes de fer étant partiellement réduits soient plus solubles à la suite d'un abaissement de leur valence. C'est vraisemblablement pour cette raison que les concrétions sont absentes, (lorsque la nappe est suffisamment profonde) : les oxydes sont diffus à travers la masse.

La matière organique par suite d'une végétation plus belle dûe à l'humidité est plus abondante mais se décompose mal.

Les apports annuels enrichissent le sol en fer, chaux, magnésie.

ANALYSE DES DEBITS SOLIDES DU FLEUVE (I)

I°/- Fleuve Sénégal - Bakel - Côté rive droite niveau de l'eau 9 - II - 53 Matériaux solides en suspension II, 7 mgr/litre -

2°/- Niveau de l'eau - milieu du fleuve - 48 secondes - 9.II.53 Matériaux solides en suspension = 29,I mgr/litre

3°/- Niveau de l'eau - côté rive gauche - 70 secondes - I.II.53 Matériaux solides en suspension = 32,3 mgr/litre

4°/- Profondeur 9 m - 63 secondes - 9.II.53 - rive gauche Matériaux solides en suspension = 22,7 mgr/litre

5°/- Profondeur 5 m - côté rive gauche - 65 secondes - 9.II.53 Matériaux solides en suspension = I8,7 mgr/litre

6°/- Profondeur 7 m - 58 secondes - rive droite - 9.II.53 Matériaux solides en suspension = 39,2 mgr/litre

7°/- Profondeur 5 m - côté rive droite - 64 secondes - 9.II.53 Matériaux solides en suspension = 7,7 mgr/litre.

(I) d'Après documentation M.A.S.

Avant de décrire les essais il est intéressant de situer l'état de la question à l'origine de façon à mieux comprendre ce qu'ils ont apporté. Nous citerons pour ce faire des extraits d'une lettre d'une personnalité du monde rizicole consulté par la M.A.S. (1er MARS 1956).

"L'allure de la crue qui serait réalisée artificiellement grâce aux aménagements, telle que vous la décrivez, permettrait l'évolution de certaines variétés de riz (qui méritent plus ou moins le nom de riz flottant) mais à une condition : que l'arrivée de la crue aussi progressive soit-elle au début soit précédée d'une période et de conditions telles que le riz ait déjà 4 ou 6 semaines et une taille d'une trentaine de centimètres.

C'est-à-dire qu'avant la crue il faut absolument que le sol soit déssalé, qu'il ait été préparé, ensemencé et que les pluies aient fait germer et pousser le riz, les pluies seulement puisque des aménagements onéreux sont exclus et que pour résister à l'inondation le riz doit impérieusement végéter "en sec" c'est-à-dire à la façon d'une céréale d'Europe durant les 4 ou 6 premières semaines de sa végétation.

Ce qui m'inquiète dans ces conditions, c'est :

1°/ La concordance ou la probabilité de concordance entre le début de la crue et une période pluvieuse qui la précèderait suffisante pour assurer la levée et la végétation du premier âge, environ 100m/m à 150m/m.

.../...

2°/ la possibilité que le sol soit dessalé assez et ne se sale pas durant la saison sèche de façon qu'au semis la toxicité soit nulle ou inférieure au seuil très bas que peut supporter le riz au moment de sa germination et avec une quantité d'eau relativement minime.

A toute première vue, des conditions aussi parfaites semblent difficiles à obtenir dans toutes les parties des cuvettes et surtout dans les fonds, reste à savoir si elles se réaliseraient plus facilement sur les pentes et quelles surfaces celles-ci pourraient offrir à la culture.

Vous savez toutes les surprises que peut ménager l'entreprise de lessivage et de dessalement du terrain et comment on assiste à des retours offensifs de la salinité par le jeu du mouvement des solutions dans les terrains et de la consentration par évaporation (CAMARGUE : mise en communication de l'eau douce superficielle avec la nappe phréatique salée; FATICK : concentration supérieure à celle de l'eau de mer dans des zones protégées contre cette dernière mais qui reçoivent les eaux de lavage des terres dominantes; FLORIDE : remontée de la mer dans le sous-sol en saison sèche à la suite de l'écacuation des eaux de surface excédentaires ROKUPR (en SIERRA LEONE) apparition de phénomènes secondaires de toxicité dans des casiers préservés du marnage, qui disparaissent quand on donne libre accès au marnage saumâtre "

Voici encore un extrait du rapport de l'Inspecteur Général GUILLAUME du début de 1957 :

"Au point de vue technique, le milieu naturel particulier des cuvettes (nature des terres, régime de la submersion) et l'option pour la culture paysanne, imposent un réajustement complet des techniques mises au point au casier expérimental de RICHARD-TOLL depuis le choix des variétés, jusqu'aux méthodes de préparation des terres et d'utilisation de la crue naturelle sans dispositif de pompage. Il s'agit d'un problème très complexe dont l'expérimentation ne peut être menée au rabais ".

8°/- Profondeur 9 m - milieu - 60 secondes - 9.II.53 Matériaux solides en suspension = 9,3 mgr/litre

9°/- Profondeur (étiquette décollée)
Matériaux solides en suspension = I5,8 mgr/litre

I0°/- Niveau de l'eau
Matériaux solides en suspension = 9,2 mgr/litre

L'analyse des matériaux en suspension a donné :

I0,4% perte au feu + matières organiques

89,6% matières minérales réparties de la manière suivante :

SiO_2	46,I
Al_2O_3	I5,4
Fe_2O_3	23,I
CaO	2,I5
MgO	2,85

Forte teneur en argile, quantité relativement importante de matière organique, renforts constants d'éléments minéraux, font que ces sols sont assez riches pour des sols tropicaux et d'assez bonne structure. Mais leur caractère argileux les rend parfois difficiles à travailler.

Ces sols se divisent en types différents suivant que la nappe phréatique est profonde ou non selon que cette nappe sale ou non le sol.

*

* *

Les sols de levées au contraire sont peu de temps inondés chaque année ou même ne le sont qu'irrégulièrement ou pas du tout. L'eau ne fait que passer. Le courant parfois important ne permet pas la même nature de dépôts que dans les cuvettes. Les éléments fins les plus riches ne s'y arrêtent qu'en petite quantité.

Lorsque le sol s'assèche et devient à nouveau plus aéré, les solutions, non lessivées à cause de la présence de la nappe phréatique à une profondeur assez faible, s'oxydent et une partie du métal précipite. La composition de l'atmosphère du sol étant très variable, les endroits les plus favorables pour la précipitation du fer et du manganèse sont souvent très disséminés. Les racines par aspiration et sélection favorisent les dépôts autour d'elles des oxydes et des minéraux. Il en résulte pour ces éléments une répartition en tâches ou en trainées qui donne à certains horizons un aspect bigarré très caractéristique.

L'alternance de conditions réductrices et oxydantes a lieu, que l'eau soit douce ou qu'elle soit salée. C'est un argument pour une classification fondée sur les caractères d'hydromorphie. Nous y reviendrons. Notons pour le moment que dans la zône amont du delta, les levées sont très généralement plus salées que les cuvettes.

La végétation peut importante se décompose bien, l'apport minéral est faible. La structure est le plus souvent mauvaise ou absente.

Dans les levées comme dans les cuvettes, l'argile est à base de Kaolinite avec des proportions variables mais faible d'illite. Il s'en suit une fixation peu solide des cations échangeables (I).

(I) Les analyses ont été effectuées par l'ORSTOM, le CRA de Bambey et J.DUBOIS. ORSTOM et CRA se sont chargés de toutes les analyses totales et des bases échangeables.

ANALYSE DES ARGILES

SPECTROGRAPHIE

DELTA I950	
Casier OI	Kaolinite petite quantité d'Illite pauvre en oxyde de fer
DELTA I95I	
Djoudj 4I	Kaolinite Illite petite quantité d'oxyde de fer
Djoudj OI	Kaolinite petite quantité d'Illite petite quantité d'oxyde de fer
Boundoum O	Kaolinite Illite faible petite quantité d'oxyde de fer
Mauritanie n°I	Kaolinite petite quantité d'illite petite quantité d'oxyde de fer
Mauritanie 05 bis	Kaolinite petite quantité d'Illite petite quantité d'oxyde de fer
	(on note une proportion une proposition variable kaolinite-illite dans ces échantillons précédents ; tous sont pauvres en oxydes de fer)
Mauritanie 05 ter (concrétions)	produit riche en oxyde de fer (55 à 60% de gothite)kaolinite.

ANALYSE TOTALE SUR ELEMENTS COLLOIDAUX

par attaque triacide

Echantillons	Boundoun 03	Casier 0I	Djouéj 0I	Djouéj 4I	Mauritanie 0I	Mauritanie 05 bis	Mauritanie 05 ter
Perte au feu	I0,6I	9,57	I0,I5	I0,89	I0,I8	I0,78	I4,40
Quartz+	2,08	2,45	2,20	2,04	2,33	I,72	0,58
Résidu FH +	0,79	o,52	0,8I	0,55	0,72	0,66	0,72
SiO2 Silicates	48,70	48,33	50,82	49,I3	49,06	48,74	29,90
Al2O3	25,83	25,2I	24,54	24,89	24,43	27,I4	I2,56
Fe2O3	9,36	9,00	7,4I	I0,25	9,23	7,75	39,65
TiO2	I,I5	I,00	0,98	0,88	0,83	0,98	I,I4
P2O5	0,I4	0,09	0,08	0,02	0,05	0,09	0,54
CaO	0,32	0,28	0,30	0,28	0,30	0,28	
MgO	0,92	0,85	I,05	0,95	0,95	I,I4	
K2O	0,95	I,00	I,I6	0,97	I,09	I,03	
Na2o	0,60	0,50	0,50	0,50	0,43	0,40	
SiO2/R2O3	2,60	2,66	2,96	2,66	2,75	2,58	I,34
SiO2/Al2O5	3,2I	3,26	3,53	3,35	3,42	3,05	4,05

+ Quartz signifie Quartz et SiO2 colloïdale du résidu non attaqué

I522 - ESSAIS DE CLASSIFICATION

Les sols sur alluvions rencontrés dans le delta peuvent entrer dans les groupes des sols hydromorphes ou des sols salés selon la classification de G. AUBERT.

Une telle classification ne soulève pas d'objections graves pour le bas delta où la distinction entre levées et cuvettes est ou inexistante ou peu nette ou peu importante.

Mais au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Nord puis vers l'Est, cette distinction devient primordiale. Dans la vallée où le sel a disparu c'est la seule possible.

Pour garder une base commune à la classification des sols de la vallée et du delta du Sénégal, il serait logique que de préférer cette distinction à la première. Cette position est renforcée du fait que des sols de mêmes caractères, autres que la salure, se rencontrent aussi bien sous une forme salée que sous une forme non salée. Il serait choquant pour l'esprit de séparer ce qui se ressemble tant, d'autant plus que la salure peut dans quelques cas varier d'une année à l'autre et que les dessalements artificiels escomptés bouleverseraient la classification. Il serait gênant de fonder toute une classification d'utilité locale sur un caractère si peu cartographiable et si fluctuant.

Cependant afin de se relier aux autres travaux, il a été possible d'établir une classification à double entrée :

- D'un côté les caractères d'hydromorphie où l'on distingue non plus les sols de cuvettes et les sols de levées, dénomination à caractère morphologique et trop restreint, mais d'après G. AUBERT les sols à engorgement temporaire de surface et les sols à engorgement temporaire ou permanent de profondeur.

- D'un autre côté les caractères de salinité. Ces derniers ne sont pas ici tous représentés. Il eut été plus rigoureux de distinguer les sols salins des sols à alcalis, mais la grande difficulté de les cartographier impose une simplification. On eût également distinguer les origines différentes du sel:refoulement, remontée, dépôt d'origine.

SOLS HYDRO-MORPHES	Sols à engorgement temporaire de surface	A taches ou concrétions près de la surface.	Noirs ou gris foncé	Argileux
				Moyennement argileux
			gris clair	argileux
				moyennement argileux.
				peu argileux
		sans taches ni concrétions près de la surface	noirs ou gris foncé	argileux
				Moyennement argileux
			Gris clair	argileux
				moyennement argileux
				peu argileux
			Bruns de culture	argileux
				moyennement argileux
	Sols à engorgement temporaire ou permanent de profondeur.	A taches ou concrétions près de la surface		argileux
				moyennement argileux
				peu argileux ou sableux
		Sans taches ni concrétions près de la surface, p.m.		sableux
SOLS BRUN-ROUGE				Sableux

153 - ETUDESDESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE DES SOLS

153.1 - SOLS A ENGORGEMENT TEMPORAIRE DE SURFACE

15311 - , Description générale : Ils sont caractérisés par une couleur généralement gris foncé, une texture normalement argileuse mais non toujours, une structure marquée, une richesse relative en matières organiques mal décomposées, un rapport C/N généralement supérieur à 10, un complexe absorbant assez bien approvisionné, des réserves assez importantes d'éléments totaux. La végétation est abondante lorsqu'ils ne sont pas salés.

La longue durée d'inondation ainsi que la nature calme des eaux qui recouvrent ces sols expliquent les caractères précédents. Ils peuvent donc se rencontrer soit dans des cuvettes fermées ou petites où l'eau est retenue après la crue, soit dans les immenses étendues très basses du Centre et du Sud-Ouest du delta où l'eau séjourne tant que le niveau se maintient au moins à quelques centimètres au-dessus de l'étiage.

L'abondance de matières organiques est variable ainsi que son état de décomposition. Sous l'influence de la culture ces sols tendent à se colorer en brun, dans la partie amont du Delta.

15312 - Sols sans taches près de la surface : lorsque la nappe phréatique reste la plus grande partie de l'année au-dessous de 1,50 m de profondeur, les concrétions ou les taches ferrugineuses ocres ou rouges sont absentes ou peu marquées sur une grande épaisseur. L'acidité du sol est faible en raison de la sécheresse relative du milieu après le retrait des eaux, sécheresse due à la profondeur de la nappe. Cette dernière ne favorise pas la remontée éventuelle du sel. Ces sols sont donc rarement salés.

.../...

La durée d'inondation assez longue (2 à 5 mois), la hauteur d'eau rarement très élevée (0m,50 à 1m,50) jointe à l'absence de sel en surface et en profondeur, permettent le développement d'une végétation assez belle mais non constante, à enracinement profond :

Acacia nilotica (scorpioïdes) arbre, s'accomode de durées d'inondation et de hauteurs d'eau assez variables.

Acacia adstringens, arbre, également mais son habitat est décalé vers les situations moins longtemps humides.

Mimosa asperata, arbuste, se rencontre dans les zones basses. Il supporte une très longue durée d'inondation. Si la durée d'inondation est plus courte, Mimosa asperata peut être entièrement submergé : c'est ainsi qu'on le rencontre dans la vallée dans la partie inférieure des berges de certains marigots.

Indigofera oblongifolia, sous arbrisseau, et Borreria verticillata, herbe, supportent de moindre hauteur d'eau et durée d'inondation.

Sporobolus helvolus, graminée moyenne est la plante la plus courante de ces sols, dans la partie amont du delta, et les caractérise bien en l'absence de sel. Elle arrive à former des peuplements à peu près purs.

On rencontre également dans les zones relativement hautes des cuvettes : Panicum sp. et Chloris sp. Dans les parties plus basses : Oryza Barthiir, Scirpus maritimus.

Si le sol est salé, surtout si la salinité augmente rapidement vers la profondeur, les arbres et arbustes deviennent plus rares - exception faite pour les zones à Tamarix - un tapis cespiteux de Sporobolus robustus s'installe. Mais

.../...

Mais il faut observer qu'il existe même en l'absence de sel, de grandes étendues couvertes uniquement d'herbes.

Il est rare qu'un sol sans tâche près de la surface soit complètement dénudé, car s'il n'a pas de taches c'est que la nappe est assez profonde; dans ce cas la salure n'est pas forte. Cela existe cependant là où l'eau séjourne un temps exceptionnellement long.

Exemples de profils

153.121 - Sols non salés

Profil Delta 1950 - Casier O

Emplacement : Sur le casier de 6.000 hectares de RICHARD-TOLL, dans la cuvette, (mais non dans la partie la plus basse), traversée par le drain principal près de la borne G 5, aux environs de la cote + 2,10 (nivellement MEFS) - (retrancher environ 0,40 m pour avoir la cote par rapport au niveau moyen de la mer).

Végétation : avant mise en culture : Acacia scorpioides, Indigofera oblongifolia, Indigofera spp. Borreria verticillata

Description :

0 cm-	Gris foncé, moyennement argileux; structure finement polyédrique à tendance légèrement lamellaire en surface.
10 -	Transition progressive- gris foncé argileux; structure grossièrement prismatique.
35 -	Transition très progressive- gris plus clair, moyennement argileux; structure pe- marquée, grossièrement prismatique.
60 -	Séparation nette- sable blanc avec quelques rares trainées ocres.
75 -	

.../...

TABLEAU V

RESULTATS ANALYTIQUES

Profondeur	PH	Analyse mécanique en% mat.minérale Argile p.100	Limon p.100	Sable fin p.100	Sable gros p.100	CO3CA	SELS SOLUBLES Cl p.1000	Cl Meq p.100	SO4 p.1000	SO4 meq p.100	CATIONS ECHANGEABLES Na+	K+	Ca ++	Meq % Mg ++
0-10	6,3	26,6	16,6	56,8	Traces	néant	1,0	2,81	0,1	0,1		0,40	5,76	0,50
20-30		43,1	11,5	45,4	"	"								
37-47	6,3	27,0	7,7 ?	65,3	"	"	0,5	1,4	0,05	0,05		0,00	6,20	0,50
65-75	6,4	1,9	0,6	97,5	"	"								

Interprétation : Dans le golfe marin ou la lagune col[illegible] en cet endroit par des sables, des levées alluviales ont peu à peu délimité une cuvette qui a fini par ne plus être atteinte par l'eau salée et où la sédimentation s'est poursuivie en milieu calme avec vraisemblablement une végétation assez abondante, d'où la couleur gris foncé de la couche argileuse. Plus tard l'érosion des levées voisines est venue mêler une plus forte quantité de sable aux dépôts, d'où une moindre teneur en argile en surface.

La bonne composition granulométrique de ce sol, sa structure, sa faible acidité, sa richesse en calcium échangeable, ses relatives possibilités de drainage, la très faible salure qui disparaîtra avec la riziculture, le classe dans une excellente qualité pour presque toutes les cultures. Des compléments minéraux seront toutefois vraisemblablement nécessaires.

Profil Delta 1955- Casier 1

Emplacement : Dans la parcelle 99, au bout du drain. Cote + 2m (M.E.F.S).

Végétation : Avant la mise en culture : Acacia scorpioïdes
Au moment des prélèvements : riz cultivé en submersion.

Description :

0 -	Noir avec quelques trainées ocres sans épaisseur, très argileux- absence de structure par suite de la grande humidité
60 -	Même apparence, mais quelques rares tâches rougeâtres en plus.
100 -	Gris un peu plus clair- taches rouges- un peu moins argileux.
115 -	Gris clair, sableux à taches ferrugineuses.

.../...

TABLEAU VI

Profondeur	pH	ANA MECANIQUE % DE MATIERES MINERALES					MATIER ORGAN. Totale p.100	C p.100	HUMUS p.100	SELS SOLUBLES EN MEQ p.100					
		Argile p.100	Limon p.100	Sable fin p.100	Sable gros p.100	CO_3Ca				Cl^-	SO_4^{--}	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
0-10	6,1	5	17,3	28,9	0,8	néant	0,68	0,39	0,022	0,30	0,50	0,65	0,10	0,40	< 0,12
40-50	6,6	[illegible]	17,0	26,5	1,7	"	0,69	0,40	0,013						
70-80	6,7							0,30	0,013						
110-120	5,7							0,25	0						

TABLEAU VII

Résultats analytiques

Profondeur	pH	ANALYSE MECANIQUE EN % DES ELEMENTS MINERAUX					MAT. ORG. Totale p.100	C p.100	N Total p.100	C/N	HUMUS	P205 Total p.100
		Argile	Limon	Sable fin	Sable gros	CO3Ca						
0-10	4,8	67,8	22,9	9,2	0,1	Néant	2,07	1,20	0,099	13,3	0,345	0,573
25-35	4,6	69,8	19,2	10,5	0,5		1,43	0,83	0,078	11,8	0,286	0,595
70-80	4,8	70,9	21,9	7,1	0,1		1,83	1,06				
150	6,9	38,6	23,9	36,0	1,5		0,48	0,28				

	SELS SOLUBLES EN MEQ p.100						BASES ECHANGEABLES EN meq p.100					
	Ca ++	Mg++	K +	Na +	Cl-	SO4--	Ca	Mg	K	Na	S	T
0-10	0,12	0,20	0,13	1,14	0,90	traces	6,69	11,26	1,06	2,70	21,71	
25-35	0,15	0,85	0,13	4,20	3,90	0,78	5,42	9,79	1,13	4,83	16,29	
70-80	0,28	1,60	0,20	9,90	9,00	1,38						
150	0,36	0,70	0,26	20,00	18,30	1,61						

	BASES TOTALES En meq p.100 g					FER LIBRE %
	Ca	Mg	K	Na	S	
0-10	7,92	25,80	7,35	[illegible]	46,39	3,04
25-35	6,99	29,80	10,40	11,23	58,42	3,07
70-80						2,85
150						3,55

Interprétation : L'origine est la même que pour le sol précédent mais les caractères de sol à engorgement de surface sont plus accentués : couleur noire, plus forte teneur en argile. Ce profil est situé au fond d'une cuvette. Il n'y a pas eu d'apports plus sableux en surface par ruissellement local. Les taches rougeâtres visibles à partir de 60 cm de profondeur marquent l'influence de la nappe phréatique. On passe ainsi par transition aux sols à tâches près de la surface.

Ce sol est très argileux et imperméable quoique pratiquement non salé est à réserver de préférence au riz.

153.122 - Sols Salés

Profil Delta 1955 - Djoudj 5

Emplacement : 500 m Sud-Est de Débi- zône dominant très légèrement la cuvette du Djoudj, cependant inondée plusieurs mois chaque année. Il y a des traces d'érosion. Les touffes de Sporobolus sont souvent isolées par des zônes plus basses. La côte par rapport au niveau de la mer est d'environ + 1,20 m.

Végétation : Peuplement irrégulier de Sporobolus robustus (graminées) comportant des taches nues.

Description :

0 Cm	gris foncé, quelques petits dépôts ocres sans épaisseur sur les fentes- très argileux- racines nombreuses- structures finement poluédriques à tendance grumeleuse- zônes plus compactes là où il y a moins de racines.
20 -	Gris très foncé, argileux- structure polyédrique d'abord moyenne puis à partir de 40 cm grossière- racines d'herbes assez nombreuses.
100 -	Gris ocre ou rouge avec traînées noires de racine et racines actuelles d'herbes. Petites pseudo-concrétions- argileux compact.
170 -	Fond du trou.

.../...

Interprétation : L'extrémité occidentale du delta dunkerkien delon J. FRICART se termine par des levées très basses et très argileuses. C C'est là qu'est situé le profil décrit. Soumis du fait de leur faible cote à une longue inondation, les sols sont analogues aux autres sols de cuvettes.

Le taux de matière organique est élevé.

Le rapport C/N est un peu élevé mais c'est sans importance sérieuse pour le riz. La culture aura pour résultat une meilleure décomposition de la matière organique. La teneur en humus est forte. La forte proposition de Magnésium du complexe absorbant est commune à presque tous les sols de la vallée et du delta, et provient du moins en partie, des fortes quantités de magnésium amenées chaque année par les eaux (cf. 1521). La présence d'une structure très nette, l'absence de pellicule pulvérulente en surface, le pH très bas, rendent difficile le classement dans les sols à alcali magnésiens. Le complexe très loin d'être saturé pourrait, s'il le fallait être amélioré par des apports d'ions calciques et potassiques que l'argile en très forte proportion retiendrait. L'acidité est due pour une bonne part à la teneur élevée en matière organique. On notera que la teneur en chlorures augmente en profondeur en raison de la forte salure et de la proximité de la nappe dans cette région. Ici l'équilibre entre descente et remontée est tel que la surface est peu salée. Il n'en eût pas été de même si la nappe avait été nettement plus proche de la surface.

L'insuffisance du complexe, l'acidité, l'imperméabilité la légère salure et surtout le danger de remontée destinent ce sol incontestablement au riz.

.../...

La proportion des sols salés est donc forte et l'on pourra passer en quelques mètres presque sans changement apparent de situation topographique ou de composition granulométrique, d'un sol non ou très peu salé à un sol qui l'est beaucoup plus.

La végétation rend assez bien compte de ces changements (Cf.15453). En sol non salé elle est déjà en général différente de celle des sols sans taches près de la surface car le milieu n'est pas le même : la durée d'inondation est généralement grande, ainsi que la hauteur d'eau, l'humidité est conservée plus longtemps l'acidité est plus forte. Les graminées, cypéracées, joncées couvrent d'immenses étendues alors que les arbres ou arbustes sont rares. En outre les espèces varient suivant la salure.

Les sols non ou très peu salés sont couverts d'un tapis de riz sauvage : Oryza Barthii. Les gonakiés (Acacia scorpioïdes) sont très rares. Diplachne fusca supporte une salure plus forte (jusqu'à 4 ou 5 °/°° de ClNa). Lorsque le sol est fortement salé, ou bien il est nu ou bien on y trouve à l'état le plus souvent dispersé, ou par taches, des cypéracées des joncées, une petite convolvulacée, Cressa cretica, enfin Tamarix senegalensis. Mais cette dernière peut également se trouver en sol peu salé.

Exemple de profils

153-131 Sols non ou très peu salés

Profil Delta 1955 - Djoudj 2

Emplacement : 1 km Sud-Est de Débi dans la grande cuvette du Djoudj, juste à côté de la parcelle endiguée du piézomètre n°2.

La cote par rapport au niveau de la mer (IGN) est de + 0,70.

Végétation : A l'emplacement exact du profil le sol est presque entièrement nu; la seule végétation est composée de pieds dispersés de Cressa cretica. Mais à quelques mètres le sol est entièrement couvert d'un épais tapis de riz sauvage couché et sec.

.../...

DEscription :

0 cm	Gris foncé argileux- Structure polyédro-grumeleuse à tendance légèrement lamellaire- A certains endroits elle est peu marquée- très légères traces ocres le long des racines.
8 -15	Limite irrégulière- horizon ocre argilo-sableux- la structure s'estompe, limite inférieure progressive et irrégulière.
20	Gris clair, argilo-sableux compact, taches ocres diffuses.
40	Transition très progressive gris argileux- structure cubique- taches ocres en forme de racines.
125	Sableux gris et ocre- strates très nettes- très nombreuses traces et concrétions ocres de racines
140	Fond du trou.

TABLEAU VIII

Résultats analytiques

PROFONDEUR	pH	ANALYSE MECANIQUE EN p.100 des ELEMENTS MINERAUX. Argile	Limon	Sable fin	Sable gros	CO3Ca	MATIERE ORGANIQUE TOTALE p.100	C p.100	N total p.100	C/N	HUMUS	P205 Total p.100
0-10	5,3	51,1	20,7	28,0	0,2	Néant	4,31	2,50	0,205	12,20	0,449	0,0376
12-19	6,1	37,5	13,4	49,0	0,1	-	0,75	0,44	0,043	10,3	0,131	0,0333
25-30	6,4	35,9	13,5	48,5	2,1	-	0,48	0,28	0,042	6,6	0,037	0,0311
90-100	6,1	62,4	8,9	27,7	1,0	-	0,72	0,42				
130-140	6,4	8,9	4,1	85	2	-	0,69	0,40				

	SELS SOLUBLES en meq p.100 g. Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4	BASES ECHANGEABLES EN meq p.100 g Ca	Mg	K	Na	S
0-10	0,20	0,25	0,18	2,30	2,70	Traces	0,69	1,40	1,36	2,65	6,10
12-19	0,12	0,60	0,14	1,65	1,50	0,51	2,45	3,49	0,91	2,61	9,46
25-30	0,12	0,85	0,18	3,20	3,50	Traces	2,23	7,33	1,05	2,86	13,47
90-100	0,89	5,00	0,48	23,00	24,00	4,87					
130-140	0,23	2,50	0,25	6,40	8,10	0,90					
Nappe phrétique en Mars 1955					38°/°° ClNa						

TABLEAU VIII (Suite)

PROFONDEUR	BASES TOTALES en meq p.100 g					FER LIBRE p.100
	Ca	Mg	K	Na	S	
0-10	10,63	28,80	10,60	7,48	57,51	1,25
12-19	3,21	14,38	4,60	5,65	27,84	1,98
25-30	4,14	18,85	6,15	7,48	36,62	2,40
90-100						1,55
130-140						0,86

Interprétation : L'individualisation des différentes couches décrites dans le profil est plus d'origine géologique que pédologique, en particulier en ce qui concerne la granulométrie. La matière organique ne s'est déposée en quantité importante que sur une faible épaisseur ; elle n'a commencé à le faire qu'à partir du moment où les conditions favorables actuelles ont été réalisées, c'est à dire à partir du moment où la cuvette du Djoudj a fonctionné comme telle, inondée le plus souvent par de l'eau douce permettant la végétation. Les taches ferrugineuses proches de la surface et la non saturation du complexe absorbant sont purement d'origine pédologique. Les variations de la teneur en fer libre suivant les horizons n'est en effet pas très forte. Si l'on compare la somme S des bases échangeables plus faible en surface à celle des bases totales plus forte en surface, on peut se demander s'il n'y a pas un certain lessivage.

Ce sol est très légèrement salé. La salure augmente un peu tout à fait en surface parce que le sol est pratiquement nu; l'évaporation est donc plus forte et il peut y avoir remontée des sels solubles juste après le retrait des eaux. Cette remontée s'opère sur quelques centimètres alors que l'ensemble du profil montre une concentration avec la profondeur dûe à la nappe.

Ce sol a une bonne composition granulométrique. Il est riche en matières organiques et en humus. Le rapport C/N est bon sur les 20 cm supérieurs. Le complexe est plutôt pauvre mais il y a quelques réserves. La proximité du sel impose la culture du riz. En effet il ne faut pas diminuer la durée de l'inondation actuelle où alors drainer très fortement (1).

---

(1) - On trouvera au Chapitre III, E,4, des résultats analytiques concernant l'horizon superficiel des sols du même type.

?.../...

RESULTATS ANALYTIQUES

PROFONDEURS	pH.	ANALYSE MECANIQUE EN p.100 DES ELEMENTS MINERAUX					Mat.org. tot.p.100	C p.100	N.Tot. p.100	C/N	Humus p.100	P2O5 Tot. p.100
		Argile	Limon	Sab.F	Sab.G	CO3Ca						
0-10 cm	6,1	39,6	16,7	42,5	1,2	Néant	1,25	0,70	0,068	10,29	0,019	0,25
15-20	5,4	43,0	16,5	39,8	0,7	-	1,14	0,66	0,058	11,37	0	0,20
40-50	4,6	68,8	17,8	12,3	1,1	-	0,90	0,52	0,044	11,81	0	0,19
80-95	4,4	35,0	21,3	39,0	4,7	-						
110-130	4,1	37,0	28,3	31,8	2,9	-						0,21
250	5,4	30,2	16,8	51,4	1,6	-						0,26
Nappe phréatique												

PROFONDEURS	SELS SOLUBLES en meq.p.100						p.1000	Bases échangeables en meq p.100					
	Ca	Mg	K	Na	SO4	Cl-	Cl -	Ca	Mg	K	Na	S	T
0-10	0,87	5,50	0,40	18,00	7,76	18,00	6,39	1,59	6,78	1,07	0,00	9,44	
15-20	5,72	9,30	0,45	17,46	14,80	19,80	7,03	6,95	4,59	0,88	0,00	12,42	
40-50	1,11	6,60	0,56	30,50	10,30	31,50	11,18	0,84	13,04	1,19	0,00	15,07	
80-95	1,18	6,50	0,51	24,50	8,59	22,50	8,00						
110-130	1,12	7,00	0,53	29,50	9,04	28,50	10,12	0,29	7,73	1,43	0,00	9,45	
250	1,19	6,00	0,53	23,50	9,32	22,50	8,00	0,91	4,64	0,70	0,00	6,25	
Nappe phréatique							23						

RESULTATS ANALYTIQUES (Suite)

PROFONDEURS	BASES TOTALES en meq p. 100					Fer Libre
	Ca	Mg	K	Na	S	
0-10 Cm	3,57	12,40	7,00	19,35	42,34	2,42
15-20	13,06	19,10	11,00	22,6	65,75	1,98
40-50	3,71	41,20	12,00	33,20	120,11	2,49
80-95						4 62
110-130	3,71	33,70	7,00	31,00	75,41	4,14
250	9,63	11,16	5,10	23,50	49,39	1,63
Nappe phréati.						

PROFONDEURS	ELEMENTS TOTAUX (Triacide)										
	Perte au feu	Résidu non attaqué	RESIDU		SiO2 des silicates attaqués	Al2O3	Fe2O3	TiO2	P2O5	SiO2 R2O3	SiO2 Al2O3
			Quartz + SiO2 des silicates non attaq.	Sesquioxide des silicates non attaqués							
0-10 Cm	6,65	50,54	46,88	3,66	23,76	10,80	6,07	0,7	0,09	2,74	3,73
15-20											
40-50	9,70	24,28	21,77	2,51	33,95	23,13	5,56	0,72	0,08	2,16	2,49
80-95											
110-130											
250	6,17	58,48	53,55	4,93	17,93	5,58	8,89	0,73	0,09	2,68	5,42
N. phréatique											

Interprétation :La proximité de la nappe extrêmement salée l'emporte sur la durée d'inondation pourtant longue. Cependant malgré l'absence totale de végétation, la proportion de matière organique est assez forte. Faut-il en conclure que de la matière organique est apportée annuellement par la crue ou bien qu'elle s'est formée sur place sous une végétation aujourd'hui disparue, mais dont l'existence ancienne est attestée par les traces radiculaires ferruginisées ?

Pour essayer de conclure il convient de dresser la liste des arguments et des incertitudes.

Arguments en faveur de l'apport par la crue :

-L'eau des cuvettes en fin de submersion est brunâtre ou même noirâtre et comporte une importante suspension de débris d'allure organique venant des herbes en décomposition des zônes peu salées et entraînées par le lent mouvement des eaux.

-Le rapport C/N est excellent indiquant une vitesse de décomposition normale de la matière organique.

Arguments en faveur d'une végétation ancienne :

-Les traces ferruginisées de racines sont nombreuses en profondeur.

-Si le dosage séparé des matières organiques en suspension dans l'eau du Fleuve n'a pas encore été réalisé, le chiffre de 10,4 p.100 (1) pour le total "perte au feu plus matière organique" laisse supposer que cette dernière est en faible quantité. Mais nous avons vu que la matière organique peut provenir du voisinage immédiat .

La faible teneur en humus indique une formation lente par rapport à sa destruction. Mais il n'y a aucune raison apparente pour que la destruction soit plus rapide que dans les sols voisins couverts de végétation.

.../...

---

(1) - Cf. plus haut (1521).

Et même comme ces derniers sont en général un peu moins longtemps inondés, l'évolution de la matière organique serait peut-être plus lente.

-Le rapport C/N excluant une destruction trop rapide, est cependant un peu moins élevé que dans les sols voisins à végétation, semblant indiquer soit une évolution plus rapide- ce qui semble exclu, soit un apport moindre en carbone.

En définitive, nous sommes amenés à penser que ce sol n'est pas actuellement aussi bien alimenté en matière organique que ceux du voisinage sous prairie, malgré l'apport des eaux. La persistance de la salure supprimant la végétation devrait normalement conduire à une diminution de la proportion de matière organique accumulée autrefois dans des conditions différentes de celles constatées actuellement. Il y aurait donc eu soit une augmentation de la salinité, soit une diminution de l'humidité pendant l'étiage inconciliable avec le développement de la mangrove.

L'absence de sodium dans le complexe absorbant est étonnante d'autant plus que d'autres profils appartenant au même type en sont fort bien pourvus et que la teneur en gypse est assez faible dans l'ensemble.

De toutes façons, ce sol dans son état actuel semble impropre à toute culture. Si le drainage par drains profonds avec pompes permet un dessalage, même lent, par abaissement de la nappe, et si la diffusion superficielle permet d'arriver à un résultat analogue en sur surface, il vaut mieux commencer la mise en valeur dans de meilleures conditions.

.../...

Les essais montreront si ce sol peut être utilisé dans l'avenir dans ces conditions économiques normales (1)

Profil Delta 1951 - Djoudj 4

Emplacement : Dans la grande Sebkra du Djoudj au Sud-Ouest de la grande butte isolée. Cote probablement inférieure à + 0,40 au-dessus du niveau de la mer.

Végétation : Nulle.

Description :

0 cm -	Gris, apparence moyennemant argileuse- structure plutôt lamellaire comportant de nombreux vides. fentes de retrait.
5 -	Gris argileux avec nombreuses taches rouges- structure moins marquée- zones plus claires et moins argileuse dûes sans doute au remplissage d'anciennes fentes.
22 -	Argile rouge compacte.

.../...

(1)- Les essais réalisés depuis lors ont montré que l'utilisation pour le riz était parfaitement possible.

Résultats analytiques

PROFONDEUR	pH	ANALYSE MECANIQUE p.100 DES ÉLEMENTS MINERAUX					MAT.ORGANI. Totale p.100 (1)	HUMUS	SELS SOLUBLES en meq p.100	
		Argile	Limon	Sable	Sable	CO3Ca			Cl	SO4
0-4 cm	5,7	38,2	20,2	41,6	Traces	néant	5,86	0,02	40,85	5,21
5-19		43,3	39,5	17,2	"	"	1,81	0,03	26,20	
35-43	5,1	78,0	14,4	7,6	"	"		0,02	31,80	4,79

(1) dosée par calcination.

	BASES ECHANGEABLES EN meq p.100					FER Libre p.100	ELEMENTS TOTAUX (triacides)							
	Ca	Mg	K	Na	S		Perte au feu	Quartz (2)	Résidus F.H	SiO2 des silicates	Al2O3	Fe2O3	TiO2	P 2O5
0-4 cm	1,10	16,00	0,85	56,10	74,05	2,4	10,89	2,04	0,55	49,13	24,89	10,25	0,88	0,02
5-19						2,9								
35-43	0,90	15,00	0,60	52,90	69,40	1,6								

(2) Quartz = "Quartz et SiO2 colloïdale du résidu non attaqué".

	ELEMENTS TOTAUX (Triacides (suite et fin)						SPECTROGRAPHIE
	CaO	MgO	K2O	Na2O	SiO2/R2O3	SiO2/Al2O3	
0-4 cm	0,28	0,95	0,97	0,50	2,66	3,35	Kaolinite, illite, petite quantité d'oxyde de fer.

Interprétation : Morphologiquement, le profil est très voisin du précédent : situation dans une même zône très basse où l'eau salée est refoulée au début de la crue et lors des fortes marées (Cf.c [illegible] .), longue durée d'inondation, proximité de la surfac face d'une nappe phréatique extrêmement salée, absence de végétation, grande analogie de profil surtout près de la surface. Pourtant l'analyse donne des résultats extrêmement différents en ce qui concerne les bases échangeables ainsi que le résidu non attaqué dans l'analyse triacide. L'absence totale de sodium échangeable est anormale dans le premier profil, de même que l'importance de la somme des cations échangeables dans l'horizon supérieur du deuxième. En effet, les analyses triacides et spectrales indiquent une quantité prédominante de Kaolinite, argile à mailles rigides à faible capacité d'absorption, en même temps que le pH indique que le complexe est loin d'être saturé.

Ces constatations soulignent combien il est difficile de classer des sols par priorité selon des critères chimiques si l'on n'a pas fait effectuer un nombre extraordinairement important d'analyses. A 10 pour 1 Km2, le total pour le delta se monterait à environ 20.000. Autre inconvénient : les limites d'une carte des sols fondée sur ces principes, bien souvent, ne sont plus visibles sur le terrain.

Encore plus que le précédent, ce sol est impropre à toute culture dans l'immédiat; mais de plus l'élimination du sodium du complexe absorbant s'avèrerait longue et couteuse : drainage profond épandage de gypse. Dans les plans actuels, il vaut mieux ne pas compter utiliser la zône qu'il couvre même dans l'avenir. Tant mieux si cet avenir réserve d'heureuses surprises (1).

.../...

(1)- Les surprises ont été heureuses. D'après des expériences voisines la mise en culture semble possible après 1 ou 2 ans sans refoulement d'eau salée et avec une forte submersion d'eau douce.

I532 SOLS A ENGORGEMENT TEMPORAIRE OU PERMANENT DE PROFONDEUR

I532I - Description générale :

Nous avons vu que ces sols correspondant le plus souvent à des levées généralement dunkerquiennes en voie de démantèlement. Pour cette raison et parce que la nappe est assez profonde, ils s'assèchent très vite et le milieu n'est pas longtemps réducteur. Avant la fin de la crue ils sont généralement exondés, certains même sont très rarement inondés. L'eau qui les recouvre est animée d'un courant plus ou moins fort mais suffisant pour entraîner les éléments fins et les débris organiques qui ne s'y déposent pas, (Il faut faire exception cependant des levées actuelles qui continuent à se développer sur les rives convexes du fleuve et de ses défluents).

L'élément important qui agit sur la morphologie de ces sols est donc la nappe phréatique bien qu'elle soit plus profonde que dans le cas des sols à engorgement de surface. Les alternances d'humidité et de séchesse ainsi que l'action des racines favorisent le concrétionnement. Les concrétions peuvent être plus ou moins proches de la surface. Elles sont le plus souvent éloignées lorsque le sol est sableux. Leur position et leur importance dépend non seulement de l'influence de la nappe et de l'humidité mais encore de la richesse en fer des dépôts. Ainsi les petits deltas formés par ruissellement local après rupture de bourrelet ne contiennent presque pas de taches ferrugineuses même en profondeur car le matériel original a été constitué par du sable superficiel déjà délavé.

Les sols à engorgement de profondeur peuvent être plus ou moins salés. Dans la partie orientale et centrale du delta, la profondeur relative naturelle de la nappe sous les sols de ce type, lorsque la perméabilité n'est pas nulle, élimine pour l'avenir toute préoccupation du côté du sel à condition que le drainage soit calculé de façon à ne pas faire remonter artificiellement la nappe.

Au contraire dans le Nord-Ouest du delta, entre le fleuve et l'Océan, les épandages formés par d'anciennes embouchures ont donné naissance à de vastes étendues de ces types de sol qui sont ici extrêmement salés.

Ils sont situés topographiquement plus bas alors que la nappe est plus proche du niveau de la mer c'est-à-dire plus haute qu'à l'Est où sa cote est négative. Elle est donc plus proche de la surface. Les sols supportent une pseudo-steppe très clairsemée à Salsola tetrandra et Arthocnomam Glaucum.

Le problème de l'élimination du sel se rapproche alors de celui des cuvettes à sols à engorgement de surface.

Mais la faible valeur de ces sols incite à ne pas les cultiver pour le moment.

L'érosion par l'eau ou le vent peut avoir enlevé par place la couche superficielle pulvérulente des sols à engorgement de profondeur, surtout s'ils sont salés à alcali. Les matériaux ainsi transportés peuvent s'accumuler un peu plus loin, donnant un aspect boselé. Ce phénomène est surtout net pour les sols peu argileux.

La végétation est toujours maigre ou même nulle dans les cas des sols érodés, salés à alcali. Elle varie suivant les sols sans limites nettes. Sur sols sableux non salés : petits arbres (Acacia radiana, Balanites aegyptiaca), arbustes (Callotropis procera) herbes ou plantes rampantes (Leptadenia lancifolia, Schoenefeldia gracilis, Aristida sp. etc...)

Si le sol est plus argileux, certaines espèces sont plus rares : Balanites aegyptiaca, Callotropis procera, Leptadenia lan cifolia, Aristida sp.

Si le sol est salé, la pseudo-steppe à Salsola tetrandra s'installe en peuplement plus ou moins mêlés des espèces précédentes suivant le degré de salure.

Les sols à engorgement de profondeur ont été largement cultivés dans le casier de Richard-Toll. Moins riche en réserve que les sols à engorgement de surface, mais en général plus faciles à travailler et à semer, parce que souvent moins argileux, ils ont donné d'aussi bonnes récoltes que les autres, exception faite cependant de quelques zônes trop sableuses.

I5322 Sols à taches ou concrétions près de la surface

Exemples de profils

Profil Delta I950 - Casier (I)

Emplacement : Sur le casier de 6.000 Ha de Richard-Toll, près de l'origine du drain principal, près de la borne C 6 - Cote environ 2,80 m (M.E.F.S.) -

Végétation : Schoenefeldia gracilis par plaques, zônes nues

Description :

0 cm : Pellicules sablo-argileuse dûe probablement au ruissellement

2 - 3 -

: Brun argileux - structure polyédrique à tendance cubique - Se délite en agrégats.

I2 -

: Aspect très voisin - un peu plus compact - structure peu marquée - polyédrique à tendance prismatique - quelques petites taches rouges.

23 -

: Brun rouge - compact - taches rouges durcis d'environ I cm de diamètre.

90 -

: Argilo-sableux avec trainées jaunâtres

I05 -

: Fond du trou

Résultats analytiques - Voir page suivante.

Interprétation : Ce sol est argileux et légèrement salé. En profondeur le pourcentage de Sodium échangeable est fort par rapport à S. La proportion de Magnésium est plus faible que dans les sols du Djoudj. Ce sol a supporté en I953 et en I954 d'excellentes récoltes de riz.

Profil Delta I950 - Casier 3

Emplacement : Sur le casier de 6.000 Ha de Richard-Toll, près de la borne J7, aux environs de la cote 3 m (M.E.F.S.).

Végétation : Tapis discontinu de Schoenafeldia gracilis, d'Aristida sp. et d'Hibiscus sp. ; présence de quelques Salsola tétrandra, plante indicatrice de la présence du sel ou de Sodium échangeable.

RESULTATS ANALYTIQUES

1°/ Delta 50 Casier 1

PROFONDEUR	pH	ANALYSE MECANIQUE					SELS SOLUBLES				BASES ECHANGEABLES EN Meq p.100				
		Argile	Limon	Sable fin	Sable gros	CO3Ca	CL- mgp. 100g	CL- p.1000	SO4 -- en meg p.100g	SO4 -- p.1000	Ca ++	Mg ++	K +	Na +	S
0-0,3cm	7,1	19,3	16,6	64,1	Traces	Néant									
1-8	5,4	43,3	20,3	36,4		"	5,6	2,0	0,9	0,9	6,0	2,0	0,2		
4-22	5,7	49,9	19,1	31,0	"	"									
60	5,6	50,3	19,8	29,0	"	"	5,6	2,0	0,4	0,4	5,0	3,5	0,3	7,7	16,5
2°/ Delta 50 Casier 3															
0-10 cm	6	4,1	6,6	89,3	"	"	2,8	1,0	0,26	0,26	0,9	0,5	0,0	1,3	2,7
35-50 "	6,7	16,2	6,4	77,5	"	"	1,9	0,7	0,26	1,6	0,5		1,0		

Description :

0 cm -

: gris ocre très sableux

I5 cm -

: ocre brun ; taches ocres et noirâtres ; peu argileux.

75 cm -

: Sable avec traînées ocre clair.

Résultats analytiques : voir page précédente.

Interprétation : Sol pauvre dont le complexe ne pourra pas être beaucoup amélioré et dont la moitié est représentée par du Sodium. Le pourcentage d'argile du deuxième horizon permet à la rigueur l'irrigation. Le caractère sableux du premier assure un travail facile et de bonnes levées. Ce sol n'a pas été cultivé en raison non seulement de ses qualités médiocres mais surtout de la topographie assez marquée de la zône où il se trouvait. Des sols analogues ont porté en I953 et I954 d'assez bonnes récoltes.

Profil. Delta I055 - Djoudj 6

Emplacement : 300 m à l'Est de Débi, à I50 m de la berge du Sénégal, sur la levée dunkerquienne du fleuve, ici proche de son extrémité aval.

Végétation : à peu près nulle ; une petite plante grasse rampante très clairsemée non identifiée (aff. Philoxerus).

Description :

0 cm -

: sableux, bariolé blanc et rouge vif ; le rouge domine mais les taches rouges sont diffuses, irrégulières ; stratification très nette surtout vers le bas -

35 -

: Limite très nette sinueuse, oscillant entre 35 et 45 cm.

45 -

: Argile grise avecquelques taches brun-rouge, peu nettes et mal délimitées vers le haut, devenant brunâtres et encore plus floues après les IO premiers cm de l'horizon.

I20 -

: Nappe le 25.3.55

L'argile devient très progressivement bariolée : petites traces noirâtres de racines.

Résultats analytiques : voir page suivante.

Interprétation : A l'emplacement du profil, le sol est submergé environ deux mois par an par de l'eau courante. Les élements fins ni la matière organique plus légère ne peuvent s'y déposer l'érosion est assez forte : en nappe pendant la crue, par ravineaux sous l'action des pluies. Il est possible que l'horizon supérieur ait été enlevé ; cela était d'autant plus facile que le sol à alcali n'a jamais dû avoir une belle végétation ni une structure marquée. Cependant les traces de racines vers I20 cm indiquent que des plantes ont existé puis ont disparu, Peut-être poussaient-elles sur l'argile avant le recouvrement sableux ?

Ce sol est un sol salé à alcali mais très loin d'être saturé comme l'indique le Ph extrêmement bas. Bien que la nappe soit nettement plus profonde que dans les sols de cuvette voisines, il ne peut être mis en culture d'une façon extensive sans drainage ou sans maintien artificiel de l'eau en raison de sa durée de submersion insuffisante.

RESULTATS ANALYTIQUES

PROFONDEUR	pH	ANALYSE MECANIQUE Argile	Limon	Sable fin	Sable gros	CO3Ca	SELS SOLUBRES	Cl- meq p. 100	Cl- p.1000	SO4-- meq p. 100	SO4-- p.1000	BASES ECHANGEABLES EN meq Ca++	Mg++	K +	Na+	% S
0-10 cm	6	4,1	6,6	89,3	trace	néant	0-10cm	2,8	1,0	0,26	0,26	0,9	0,5	0,0	1,3	2,7
35-50 -	6,7	16,2	6,4	77,5	"	"	35-50	1,9	0,7	0,26	0,26	1,6	0,5		1,0	

RESULTATS ANALYTIQUES

PROFONDEUR	PH	ANALYSE MECANIQUE EN P.100 DE MATIERE MINERALE					MAT. ORGAN. %	C %	N total %	C/N	HUMUS p.100
		Argile	Limon	Sable fin	Sable gros	CO_3Ca					
0-10	4,3	15,6	5,8	78,1	0,5	Néant	0,27	0,16	0,035	5,3	0,031
35-45	4,3	29,6	32,5	37,6	0,2	"	0,16	0,15	0,035	5	0,027
35-45	4,1	33,8	24,9	40,8	0,5	"	0,43	0,25	0,037	6,9	0,031
90-100	4,5	56,1	26,5	17,2	0,2	"	0,44	0,26			
145-155	4,7	55,3	33,2	10,0	1,5	"	0,60	0,35			

PROFONDEUR	SELS SOLUBLES EN Meq %					
	Ca++	Mg++	K+	Na+	Cl-	SO4
0-10	0,25	1,40	0,17	5,00	6,00	Traces
35-45	0,31	1,60	0,14	5,70	7,50	-
35-45	0,41	2,00	0,22	12,50	14,10	0,55
90-100	0,27	1,70	0,21	13,00	14,70	Traces
145-155	0,12	1,30	0,30	21,00	21,60	"

PROFONDEUR	BASES ECHANGEABLES EN meq					BASES TOTALES en mlg %					P205 Total %	FER libre %
	Ca++	mg+	K+	Na+	S	Ca++	Mg++	K+	Na+	S		
0-10cm	0,47	2,69	0,53	2,13	5,82	1,28	7,44	2,11			0,251	2,10
35-45- (1)	0,41	2,49	0,49	2,72	6,11	1,57	6,45	2,04	9,19	19,25	0,191	1,52
35-45 (2)	1,30	5,36	0,83	5,59	13,08	3,50	18,85	5,10	18,55	46,00	0,447	2,80
90-100												2,78
145-155												5,01

(1) - Au-dessus de la limite sinueuse
(2) - Au-dessous de la limite sinueuse.

I533 - Sols divers

I533I - Sols à concrétions calcaires

On rencontre parfois dans la partie amont du delta des concrétions calcaires, soit sous forme mamelonnée, soit en plaque. Elles sont généralement peu abondantes. Cependant à environ 5 Km au Nord-Ouest de Rosso elles jonchent la surface du sol, sont arondies et grosses atteignant fréquemment 5 cm de diamètre. Elles sont situées sur une ancienne levée démantelée, le sol est gris, assez argileux.

Y a-t-il eu érosion des horizons supérieurs contenant ces concrétions ou bien avons-nous à faire à un "vertisoil". La première hypothèse parait plus vraissemblable.

I5332 - Sols dunaires

Ils n'ont pas été étudiés ici puisqu'ils ne sont pas susceptibles d'être irrigués sur de grandes étendues (I). Les sols ocres non ou très peu lessivés se situent sur presque toutes les dunes continentales tandis que les sols bruns subarides sont liés à la présence de calcaire, en l'occurrence à celle des dépôts coquilliers, donc à celle d'anciens cordons littoraux ou pénétrations marines. On les trouve donc seulement à l'Ouest et surtout au Sud-Ouest du delta près de St-Louis.

Lorsque le bas des dunes anciennes est atteint par l'inondation, elles donnent naissance à des sols hydromorphes sableux assez riches en matière organiques et qui conviennent bien à la culture maraichère lorsqu'il y a de l'eau douce à proximité.

(I) On trouvera leur description dans : J.MAYMARD.: Les sols du pseudo-delta du Sénégal - Bull M.A.S. n°5 - Cl I74-I

I534 - Conclusion de l'étude descriptive et analytique des sols

La nature des dépôts, les modalités de submersion et la situation de la nappe salée ont commandé la répartition des sols.

D'une manière générale, aux levées alluviales correspondent les sols à engorgement de profondeur, aux cuvettes correspondent les sols à engorgement temporaire de surface. La salure se rencontre soit sur les levées, soit à la partie inférieure des cuvettes basses.

Les sols à engorgement de profondeur sont caractérisés par des concrétions dans les horizons inférieurs, ils sont pauvres, de texture variable oscillant souvent autour de I5 p.I00 d'argile, sans structure.

Leur position topographique impose une irrigation par pompage.

Les sols à engorgement temporaire de surface, sont argileux (30 à 50 p.I00), noirs ou gris foncé, suffisamment pourvus en matière organique, à bonne structure, relativement riches en éléments fertilisants, à p H acide mais généralement ne descendant pas au-dessous de 5. Ils peuvent être très fortement salés. Dans tous les cas ils conviennent très bien à la riziculture.Lorsqu'ils sont salés il est nécessaire de prendre un certain nombre de précautions.

Les sols d'origine dunaire toujours exondés n'ont pas été étudiés, le présent travail se bornant aux sols d'origine alluviale.

Une carte des sols au I/50.000° a été dressée.

La répartition du sel et surtout le degré de saturation du complexe absorbant en Sodium et Magnésium sont difficilement cartographiables. L'expérience (I) a montré que leur importance n'est pas déterminante dans le cas de la riziculture sous grande lame d'eau.

(I) Voir "la mise au point de la riziculture"

I54 - LE SEL DANS LE SOL

Remarque préliminaire : le titre de ce chapitre est simplificateur. En fait il existe plusieurs sels. Il y a également dissociation moléculaire et adsorption des cations par les colloïdes.

I54I - NATURE DES SELS

L'anion Cl- est environ IO fois plus abondant que l'anion SO4-- Le cation Na+ est le plus répandu, puis vient Mg++, enfin loin derrière Ca++ et K++. La proportion de ces deux éléments utiles est moins variable que celle du Magnésium ou du Sodium.

Le Chlorure de Sodium est prédominant mais le sulfate de Calcium assez souvent en proportion notable. On peut en rencontrer des cristaux allant exceptionnellement jusqu'à 3 cm de longueur.

L'abondance du Magnésium que l'on retrouve presque partout est un défaut . Son rôle est un peu comparable à celui du Sodium, il agit dans le sens de la dispersion, d'où imperméabilité, mauvaise structure, toxicité.

I542 - REPARTITION GEOGRAPHIQUE

La carte des sols montre la différence entre la zone Est et les grandes cuvettes centrales. Dans ces dernières les tâches salées sont massivement réparties alors que dans la première elles suivent approximativement les levées dunkerquiennes.

Dans la zone Est les parties hautes sont salées, dans les cuvettes centrales ce sont les plus basses. Nous verrons plus loin comment expliquer ce fait.

Les deux tiers Est de la cuvette de KEUR MACENE en MAURITANIE sont par contre très peu salés.

Le Sud et l'Ouest du Delta, mis à part les dunes et le marigot de LAMPSAR artificiellement protégé, sont fortement salés.

1543 - CAUSES DU MOUVEMENT DU SEL (1)

15431 - Migration verticale

Dans un sol disposant d'une certaine quantité de sel fixé sur ses colloïdes, dans l'eau interstitielle ou dans la nappe sous-jacente, la répartition verticale de ce dernier dépend des possilités de remontée ou de descente.

Trois phénomènes principaux interviennent : la capillarité, l'évaporation, la perméabilité.

154311- Capillarité - Evaporation :

Laissons pour le moment la perméabilité dont le rôle est conditionné par la submersion et supposons le sol au contact de l'atmosphère après le passage de la crue. La nappe phréatique salée baisse, le sol se déssèche.

Dans les couches de terre que la nappe abandonne en baissant, l'humidité s'établit progressivement au niveau de la capacité maxima de rétention. Le potentiel capillaire est alors ≠ 1.000. Elle y resterait s'il n'y avait pas d'évaporation.

(1) - Ce paragraphe s'appuie au point de vue théorique sur la thèse de M. HALLAIRE :"Diffusion capillaire de l'eau du sol et répartition de l'humidité en profondeur sous sol nu et cultivé". Ann. Agro PARIS Vol.4, N°2-1953- p.143 à 244.

Mais l'évaporation en surface augmente le potentiel capillaire des couches supérieures. Il y a ainsi appel d'eau des couches inférieures avec, sous certaines conditions, un débit fonction de la pente du gradient de log (ψ -1.000) avec la profondeur. Autrement dit il s'exprime ainsi :

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{A\, d(\log \psi - 1{,}000)}{dZ}$$

A = cte.
Z = profondeur

Dans les conditions normales des sols de pays tempérés (1), M. HALLAIRE a montré que le gradient est une droite, donc que le débit est constant; et cette droite conserve le même coefficient angulaire au cours du dessèchement.

Mais ici quatre éléments sont différents :

a) Une nappe est présente à très faible profondeur dans les cuvettes centrales.
b) Le pouvoir évaporant de l'air est considérable.
c) La nature des sols est particulière, les fentes de retrait sont souvent très importantes et très profondes.
d) Les sols sont généralement plus ou moins salés.

---

a) Dans les cuvettes centrales, la nappe, profonde de 1 m à 1,70 m au moment de l'arrivée de la crue, remonte jusqu'en surface pendant l'inondation qui dure quatre ou cinq mois.

.../...

(1) Plus précisément dans les limites d'humidité ψ=1000, ψ=7.000 et lorsque le ressuyage est possible, c'est-à-dire lorsque la nappe n'est pas à proximité immédiate du sol.

A partir du moment où la crue se retire et pendant deux à trois semaines environ, la nappe qui affleure en surface au début, est ensuite à une profondeur extrêmement faible; le front d'eau se confond pratiquement avec la surface du sol.

La hauteur de remontée capillaire dans les interstices du sol est fonction inverse de leur diamètre selon la loi de JURIN :

$$h = \frac{2 A \cos\alpha}{r}$$

A = cte

r = rayon des canaux

α = angle de raccordement du ménisque à la paroi

Nous voyons que pour une très faible hauteur au-dessus de l'eau libre de la nappe les gros interstices sont remplis comme les plus fins. Nous sommes au-dessus de la capacité de rétention, c'est-à-dire en dehors des limites d'HALLAIRE. Le contact atmosphère - eau est maximum et le débit aussi. La formule de PENMAN qui exprime les pertes en eau en fonction des facteurs du climat peut s'appliquer. L'évaporation est donc la même que celle d'une surface d'eau libre; elle ne dépend que des circonstances atmosphériques. Comme ce moment se situe généralement en Décembre, Janvier ou début Février, suivant les cotes, c'est-à-dire en pleine saison sèche, au moment des forts vents d'Est, elle est considérable.

b) L'évaporation annuelle moyenne de l'eau au contact de l'air à RICHARD-TOLL est de 7 mm par jour. Certains jours de saison sèche elle dépasse 15 mm. Or, le débit capillaire maximum des sols en voie de dessèchement correspond à une évaporation

.../...

de 1 à 3 mm par jour. C'est vers ces limites que l'on tend au fur et à mesure que la nappe baisse.

Dans ces conditions, au bout d'assez peu de temps, après le retrait des eaux, le débit ainsi limité ne peut correspondre à la pente de la courbe

$$\log \varphi - 1.000 = RZ$$

c'est à dire à l'évaporation à la surface du sol, et il se forme une croûte dessèchée où les mouvement de l'eau ne peuvent plus s'opérer qu'à l'état de vapeur et où ils sont d'autant plus faibles que la croûte est plus épaisse. On passe ainsi d'une évaporation de 7mm par jour peu après le retrait des eaux à une évaporation qui serait au plus égale à 3 mm. La croûte ne serait alors que la conséquence du déficit d'évaporation.

Ce phénomène débute lorsque la nappe est encore très proche de la surface : 30 à 50 cm suivant les sols (l'alimentation étant meilleure dans les sols sableux) et l'importance des possibilités météorologiques d'évaporation. Il contribue ainsi à limiter cette dernière.

c) Les sols sont généralement très argileux (30 à 50 % d'argile le plus souvent). S'il n'y a aucune structure les pores sont très étroits, le débit capillaire est très faible. Mais comme il faut peu d'eau pour remplir les pores le débit se prolonge très longtemps avant que la capillarité soit rompue, l'eau restant à la fin étant uniquement constituée par l'eau d'imbibition des particules.

Mais en fait les fentes de retrait atteignent la terre encore légèrement humide. Aussi l'évaporation existe-t-elle à leur surface, dans des conditions différentes de la surface du sol puisque l'air est plus ou moins confiné.

.../...

Les grosses fentes permettent la circulation de l'air et limitent des blocs massifs ou la capillarité n'est pas rompue. L'évaporation est donc nettement augmentée dans ce genre de structure.

Par contre, les fentes fines et nombreuses, divisant le sol en petits agrégats, favorisent la formation d'une atmosphère fortement confinée et rompent la capillarité. Si cette structure se développe sur une très faible épaisseur, la diffusion de l'eau à l'état de vapeur se fait mieux qu'à travers une croûte. Mais si elle est suffisamment profonde cette même diffusion doit se faire sur une plus grande épaisseur et elle est alors plus lente qu'au travers d'une croûte nettement plus mince.

Il existe cependant des sols plus sableux. Ils ont une forte porosité; la dimension des vides entre les grains est importante. Lorsque ces terres sableuses contiennent suffisamment d'eau pour que la capillarité puisse jouer, le débit capillaire peut être important. Au-dessous d'un certain coefficient de remplissage qui constitue un seuil il n'y a plusremontée capillaire. Ce seuil est élevé.

On peut en conclure que, si l'eau est en quantité suffisante à proximité de la surface, mais non supérieure à la capacité normale de rétention, les sols sableux pourront évaporer plus que les sols argileux; si l'alimentation en eau diminue, l'évaporation tendra à s'annuler plus vite pour les sols sableux que pour les sols argileux.

d) La présence d'une grosse quantité de sels hygroscopiques dans le sol modifie les conditions de dessèchement. Le potentiel capillaire est augmenté, le sol peut rester humide jusqu'en surface. Nous ne savons pas si l'évaporation est augmentée ou non pour autant.

.../...

En résumé, le premier facteur - influence de la nappe- diminue d'importance quand cette dernière baisse; le deuxième- intense pouvoir évaporant de l'air - fait paradoxalement baisser l'évaporation en augmentant l'épaisseur de la croûte; le troisième - nature du sol- agit d'une façon variable. Dans le cas le plus fréquent des sols argileux les grosses fentes de retrait augmentent l'évaporation, en profondeur et la diminuent en surface alors que les fentes nombreuses et fines sur une épaisseur suffisante la diminuent dans son ensemble; le quatrième- très forte salinité- en diminuant dans certains cas l'importance des fentes, favorise l'évaporation à la surface du sol.

L'évaporation n'est pas constante dans le temps. Très forte juste après le retrait des eaux, elle diminue rapidement au cours des semaines suivantes.

Quelles sont les conséquences des explications précédentes en ce qui concerne les remontées salines ?

a) l'affleurement de la nappe après le retrait des eaux et les gros débits d'évaporation qui en sont la conséquence peuvent ne pas être dangereux.

En effet, l'eau qui a imbibé les horizons supérieurs du sol vient habituellement de la crue; elle est particulièrement douce à l'origine. Elle n'a pu se saler qu'aux dépens de la provision saline du sol ou par diffusion à partir de la nappe salée sous-jacente, mais la diffusion est faible. Après plusieurs mois de submersion pendant lesquels l'eau de surface est constamment renouvelée, l'eau de l'horizon superficiel du sol est beaucoup moins salée que l'eau de profondeur.

Lorsque cet horizon est non ou très peu salé, la quantité de sel remontée en surface par ce moyen est faible.

Au fur et à mesure que la nappe baisse, les gros interstices du sol ne peuvent se remplir jusqu'au contact de l'air libre, l'évaporation diminue en même temps que la concentration saline de l'eau augmente, rendant moins dangereuse cette dernière.

Mais les remontées de sel sont plus fortes si l'horizon supérieur est salé, à plus forte raison, si en plus, la nappe salée affleure au moment de l'arrivée de la crue. C'est ce qui se passe dans les parties les plus basses des cuvettes centrales qui sont submergées en saison sèche au moment des marées de vive eau par refoulement d'eau salée d'étiage à partir du fleuve. Quand l'eau douce arrive, le sol est gorgé de sel jusqu'à la surface et après la crue la nappe douce est très mince ou inexistante.

La suppression du refoulement d'eau salée modifiera nettement l'équilibre actuel vers une moindre salinité.

b) La formation rapide d'une croûte de plus en plus épaisse a pour effet d'arrêter totalement les remontées salines à sa base de plus en plus profonde puisque le sel ne peut être entraîné par la vapeur d'eau. Paradoxalement ces remontées seraient plus fortes en saison humide, période où, entre les pluies espacées, le pouvoir évaporant de l'air est encore fort mais où il ne suffit pas à former une croûte épaisse. . . .. Le delta du SENEGAL se distingue ainsi à son avantage des pays où l'air est plus humide et où les remontées salines se poursuivent intensément pendant toute la saison sèche.

c) Le caractère argileux des sols, en diminuant le débit capillaire, ralentit les remontées salines. Les grosses fentes les favorisent sur leurs parois (1). Les sols à bonne structure profonde par rupture de la capillarité se salent moins facilement que les autres. Un travail profond du sol a le même résultat : le sel ne peut remonter au-delà du talon de labour. Les sols plus sableux se saleront plus facilement après le retrait des eaux car le débit élevé s'oppose à la formation d'une croûte.

---

(1)- D'autant plus qu'il y a plus d'humidité, c'est-à-dire en profondeur.

Dans la pratique, on remarquera que les sols du Djoudj présentent presque tous unpetit accroissement de la salinité en surface par rapport à la couche suivante, signe d'une remontée saline qui s'opère aux dépens de cette dernière.

En résumé, les remontées salines sont surtout à craindre peu après le retrait des eaux quand la nappe salée est très proche de la surface. Lorsque cette dernière dépasse 1 m de profondeur, compte tenu des conditions du delta : longue submersion et formation rapide d'une croûte, le danger est faible. Il est nul au-delà de 1 m,50.

C'est dire que , hormi quelques zones très basses d'une très faible surface, il n'y a pas de problème du sel dans la zone Est du Delta et dans une partie des cuvettes centrales.

154312 - Perméabilité - Submersion :

Si un sol perméable est inondé, il s'établit grâce à la pression hydrostatique un courant descendant jusqu'à ce que le sol une fois gorgé d'eau, eau de la nappe et eau de surface se confondent. Dans la première phase les sels sont lessivés jusqu'à la nappe; dans la seconde ils ne peuvent que diffuser.

Si le sol est imperméable, l'eau de surface ne pénètre pas en profondeur; il n'y a aucun lessivage profond, il y a seulement diffusion en surface. La nappe ne peut être alimentée que latéralement. Si le sol est dans une dépression et si les eaux d'apport latéral sont salées, cette alimentation conduit à une concentration et à un rapprochement des sels de la surface. Les apports extérieurs que nous venons ainsi d'aborder sont étudiés plus loin (15432).

.../...

En fait, dans le cas qui nous intéresse pour la culture, c'est-à-dire celui des cuvettes centrales (1), là où le sel constitue un danger, le sol est très peu perméable mais il est rarement totalement imperméable. Les fentes de retrait le r rendent perméable au moment de l'invasion de l'eau; il devient à peu près totalement imperméable quand l'argile a gonflé.

L'entraînement du sel en profondeur est faible, la diffusion du fait des fentes est importante au début de la submersion.

On pourrait penser qu'une submersion de courte durée aurait ainsi le même rôle qu'une plus longue. Il n'en est rien car pendant la submersion, il y a suppression de l'évaporation ; il n'y a pas de remontées capillaires. Lorsque l'eau se retire tardivement en plaine saison sèche, la nappe descend très vite et les remontées salines n'ont pas le temps d'être considérables, pour les raisons qui ont été indiquées plus haut. Le facteur durée de submersion est donc très important. On constate son influence en terrains salés à nappe relativement profonde : là où une minuscule cuvette a maintenu l'eau plus longtemps, la salure est moindre et une flore non halophyle se développe.

A BOUNDOUM, au centre du Delta, deux cuvettes basses sont très semblables comme étendue, et comme cote; le fond est à environ 0,50 m au-dessus du niveau de la mer. La cuvette Est est à l'abri de l'eau salée depuis la création des digues de BOUNDOUM; elle reste chaque année longtemps submergée par l'eau douce. Le sol n'est pas salé. La végétation de riz sauvage et de Vossia cuspidata indique l'absence quasi-totale de sel (2).

.../...

(1) - Et des petites plaines du Sud du Delta.

(2) - Cf. J.TROCHAIN : Rapport provisoire à la M.A.S.

La cuvette Ouest au contraire, est envahie par l'eau salée au début de la crue, aucune digue ne maintient l'eau douce après cette dernière. La salure est très forte, le sol nu sur une grande partie semble se saler encore puisque les Tamarix sont morts ou meurent.

*

* *

Les facteurs principaux qui jouent dans la répartition verticale du sel sont en définitive : la profondeur de la nappe salée, la nature du sol et la durée d'inondation.

Ils jouent parfois contradictoirement laissant le sol dans un équilibre précaire, d'où la nécessité de ne pas agir au hasard au moment de la mise en valeur.

15432 - APPORTS EXTERIEURS

Nous nous sommes placés précédemment dans le cas d'un sol disposant d'un certain capital de sel qui évolue sur place.

Mais il peut s'y ajouter des apports extérieurs de deux sortes : par la surface, par la nappe phréatique.

15432₁ Apports par la surface : Environ 5.000 hectares des cuvettes centrales reçoivent chaque année (des apports en surface d'eau salée venant du fleuve et refoulée par les fortes marées ou le début de la crue. La salure de l'eau est variable suivant le moment de l'année les quelques chiffres obtenus indiquent une moyenne d'environ 10 grammes par litre de ClNa. Ces eaux salées passent au-dessus des seuils et pénètrent au moment où la terre est sèche et fissurée

.../...

La terre se gorge d'eau salée. plus tard, quand l'eau douce de crue arrive la terre s'est refermée par suite du gonflement de l'argile et la diffusion est devenue très faible.

154322 - Apports par la nappe phréatique : Etant donné la très faible perméabilité profonde des sols, la nappe ne peut que se déplacer très lentement. C'est ce que l'on a constaté : les variations en profondeur et en salure sont liées surtout à la submersion.

On a pu craindre cependant une alimentation par la mer et par la langue salée du fleuve. Or nous constatons le colmatage du lit du fleuve et des marigots à tel point que la relation est nettement atténuée entre les variations de niveau de l'eau dans le lit et celle de la nappe. Ainsi en est-il dans l'exemple suivant : Fin Janvier 1956 un trou a été creusé à5 m des bords du marigot de LAMPSAR qu'un barrage retient à une côte élevée. Ce marigot s'était rempli en Août Septembre et Octobre 1955. Depuis lors l'eau avait légèrement baissé du fait de l'évaporation et de la consommation de SAINT-LOUIS. Le fond du trou était environ à 40 cm au-dessous du niveau de l'eau voisine qui baissait depuis trois mois; la terre y était à peine humide.

Les apports latéraux par la nappe phréatique sont donc très lents. Cette question sera reprises dans le chapître " Hydrologie souterraine".

.../...

1544 - ORIGINE DU SEL

Trois origines peuvent être attribuées au sel :

1/ Une origine géologique (J. TRICART et J. DUBOIS). Le Delta s'est formé dans un golfe marin plus ou moins lagunaire; les dépôts ont été salés dès l'origine.

2/ Un apport de surface par refoulement comme cela est décrit plus haut. Cette origine ne joue que pour les parties basses des cuvettes centrales et le Sud du Delta (J. DUBOIS).

3/ Une alimentation de la nappe venant au moins en partie de la mer (J. ARCHAMBAUD) et du fleuve (COTHA). Nous avons vu que la pénétration à partir du fleuve semble d'une telle lenteur que l'apport du sel par cette voie peut jouer à une échelle géologique mais ne peut d'une année à l'autre ramener le sel que de bonnes pratiques hydrauliques et agricoles auront éliminé. L'alimentation par la mer ne semble pas plus abondante (1).

Quelle que soit l'origine du sel, l'important est qu'il ne soit pas ramené d'où il a été évacué avec un débit trop rapide. Or aucune remontée importante de sel n'a été constatée après le retrait des eaux dans les cuvettes soustraites au refoulement d'eau salée et submergées pendant plusieurs mois dhaque année. Ce fait observé vient appuyer les quelques mesures que nous avons sur la perméabilité qui est très faible.

.../...

(1) : Sauf en ce qui concerne la zone cotière.

Classification des sols d'après l'origine du sel

CATEGORIES	POSSIBILITES DE DESSALEMENT
Sols à salure originelle (levées alluviales)	Dessalement facile par drainage ou diffusion superficielle à condition de disposer aisément de l'eau.
Sols à salure d'origine phréatique (cuvette)	Dessalement total et permanent difficile, momentané facile par diffusion superficielle.
Sols à salure de refoulement (parties les plus basses des cuvettes)	Dessalement partiel facile par suppression du refoulement et diffusion superficielle.

1545 - LA VEGETATION ET LE SEL

Généralement, comme pour la croissance du riz, le sel n'est pas le seul facteur qui intervient sur la nature de la végétation des terrains salés. La durée d'inondation, le degré de dessication de la surface en saison sèche, la nature du sol ne sont pas à négliger. Mais compte tenu de ces derniers facteurs la végétation fournit des indications précieuses.

" Au point de vue physionomique trois formations végétatives partagent les sols salés ce sont :

-la mangrove

-la pseudosteppe suffrutescente à Chenopodiacées

-la prairie à Graminées, Joncacées, Cypéracées." C'est celle qui nous intéresse le plus.

" Quelques plantes le plus souvent isolées, donnent aussi des indications sur la salure. Dans les figures 13 et 14 nous donnons un aperçu de la succession dans l'espace des groupements végétaux et des principales caractéristiques des sols salés qui les supportent; de telles dispositions se reproduisent assez fréquemment pour mériter d'être notées. La figure 13 est l'exemple de la région basse, voisine de la cote, sillonnée de chenaux remontés par les marées; la figure 14 montre une zone plus éloignée de l'océan où entre des bourrelets de berges, s'allonge un marigot salé".(1).

1545 1)La mangrove (d'après J. MAYMARD)

A sa limite septentrionale maigre et très peu étendue la mangrove est une formation à peu près sans intérêt agricole sauf peut-être dans le voisinage de Saint-Louis. Elle se développe sur des "schorre" ou "slikke" vaseux.

---

(1) Extraits de J. MAYMARD dans "Les Sols du pseudo-delta du SENEGAL" M.A.S. 174-1.

a/La mangrove a Rhizophora racemosa croît dans les vases presque toujours recouvertes par les eaux.

Exemple de profil donné à titre d'indication.

Emplacement : Berge Est du SENEGAL non loin du confluent avec le marigot du Djeuss.

Végétation : Rhizophora racemosa et Phragmites vulgaris

Description : 0 à 5 cm Horizon oxydé, brun ocre, limono-argileux, très riche en fines radicelles.
5 à 50 cm et au-delà, horizon réduit, brun-noir avec petites moucheturee noir-violacé, nombreuses grosses racines.

Résultats analytiques :

	Analyse mécanique				Matière organique				Anions sol.par less.sur filtre		pH du sol : frais	pH du sol : 3 mois après
	Ar.	Lim.	S.F.	SG.	Tot%	C%	N%	C/N	Cl%	SO4%		
0-5	28	43	19	0	5,0	29	1,8	16	10,9	1,7	5,7	4,9
à 50	35	24	41	0	4,0	23	1,2	19	3,7	1,4	7,6	6,4

NOTE : Les échantillons lavés sur filtre restent perméables après l'élimination des sels solubles.

b/ - La mangrove à Avicennia nitida croît sur des terrains plus souvent soumis à la dessication superficielle. La couleur varie du brun au gris, sa réaction variable (p H 5 à 7,6) La salinité du sol en surface de l'ordre de 4 p. I000 pendant la crue, augmente au fur et à mesure du dessèchement jusqu'à 25 p. I000 (après élimination de la couche poudreuse superficielle). La nappe dose en moyenne 40 g de Cl Na par litre.

Exemple de profil

Emplacement : Région marécageuse entre les marigots de Djeuss et des fours à chaux, Diaoudoun et Makhana.

Végétation : Avicennia nitida, tapis herbacé, discontinu d'Heleochloa schoenoides.

Description : 0 à 20 cm horizon gris-brun, argilo-limoneux, sec, très craquelé, pas de couche poudreuse.

20 à 80 cm : horizon gris acier avec traînées ocrè-jaune, nombreuses petites racines, argileux finement sableux.

Résultats analytiques :

	Analyse mécanique				matière organique				Anions sol par less.sur filtre		p H du sol frais
	arg.	lim.	S.F.	S.G.	tot %	C%	N‰	C/N	Cl‰	SO4‰	
0-20cm	50	25	27	0	3,I	I,8	I,I	I6	2,8	8,7	7,6

Nappe phréatique à 80 cm de profondeur en Avril I95I, renferme 43 gr de NaCl par litre pH = 4.

1545 2) Les pseudosteppes à Chénopodiacées (en grande partie d'après J. MAYMARD).

a)- Le groupement le plus halophile est formé par des peuplements très ouverts d'Arthrocnemum glaucum pur ou en mélange avec Sueda maritima. Il ne craint ni les sols à alcali à horizon poudreux ni les zones où le sel affleure en surface. Du sel pur peut même se concentrer au niveau du sol et sur une faible profondeur autour du collet et de la racine principale comme si la plante refusait d'admettre le sel en trop forte concentration. La salinité optimale se situe entre 10 et 20 pour mille de ClNa. Ce groupement se trouve de préférence sur les sols à engorgement de profondeur à inondation assez courte. Il s'éloigne rarement à plus de 25kms du littoral. Il est surtout abondant dans la zône des Sebkras et l'Aftout ès Sahel. Ces sols ne peuvent être utilisés qu'après un dessalage d'autant plus long que le sol est moins perméable et la nappe moins profonde. Or, dès qu'il y a 20% d'argile, la perméabilité devient presque nulle du fait de la mauvaise structure de ces sols à alcali. Dans les projets actuels, ces zones ont été éliminées des périmètres à aménager.

Exemple : Emplacement : rive Ouest du Sénégal- Au Sud du marigot de Tiallakt.

Description : Profil assez peu différencié, brun ocre, argilo-sableux. La partie supérieure du sol est découpée par des fentes verticales et horizontales qui délimitent des plaquettes de 5 à 10 cm d'épaisseur souvent séparées les unes des autres par une couche poudreuse.

	Résultats analytiques									
	ELEMENTS SOLUBLES						BASES ECHANGEABLES			
Profond.	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4	CaO	MgO	K	Na
0 à 20cm	0,66	0,87	0,41	18,32	22,6	6,15	1,39	5,95	0,89	2,13

Pourcentage de sodium échangeable : 20,56.

b/- Salsola tetrandra - se rencontre soit en peuplements purs, soit en mélange avec les Chenopodiacées précédentes près de sa limite supérieure de salinité, soit avec Schoenefeldia gracilis et Chloris Prieurii dans des sols très peu salés en surface. Sa présence seule ne fournit donc pas une indication précise ; les mélanges sont plus intéressants. Cette plante se rencontre sur les levées alluviales irrégulièrement inondées. Elle ne supporte pas une trop forte submersion, mais il y a régénération par graines dès le retrait des eaux.

En peuplement pur, elle traduit des salinités de l'ordre de 3 à 15 p.1000 de Cl Na. Exemple :

Emplacement : A l'Est de Toundoun Rhone

Végétation : Salsola tetrandra, Frankenia pulverulenta, Sueda maritima.

Description :

0 à 25 cm horizon gris à noir, sablo-argileux, compact.
25 à 55 cm horizon ocre avec fond plus gris, argilo-sableux
55 à 85 cm sable blanc avec trainées et taches ocre rouille.

Résultats analytiques

PROFONDEUR	pH	Analyse mécanique				ClNa p.1000	SO4
		Argile	Limon	S. Fin	S. Gros		
0 à 25 cm	7,4	21,5	8,2	70,3	0	5,4	+
Vers 40 cm	7,6	20,7	13,7	65,6	0	10,8	+
Vers 70 cm	8	2	1,7	95,8	0	66,0	+

I5453 - les prairies des cuvettes

Elles sont plus ou moins longtemps inondées et peuvent donner des indications un peu plus précises.

a/- Sporobolus robustus est une graminée vivace à stolons traçants qui colonise les terrains salés inondables. Elle ne se développe pas dans la cuvette du Djoudj ni non plus au centre et à l'Est de celle de Ker Macène. Dans le Centre du Delta cette plante se tient plutôt dans les zones légèrement plus hautes de telle façon que la durée de submersion ne soit pas supérieure à 4 mois et qu'elle ne soit pas entièrement submergée par la crue ou ne le soit que pendant un temps assez court. Par contre, plus en aval, en particulier près de Saint-Louis, elle colonise les schorres ou slikkes situés à une cote très basse, mais où la hauteur d'inondation est rarement supérieure à I m.

Sa valeur indicative est assez bonne à condition de tenir compte de sa puissance de végétation des pénétrations étrangères et de l'humidité du sol.

Des touffes éparses et surélevées sur un sol très dénudé dont l'horizon supérieur se dessèche fortement pendant la saison sèche, impliquent une salinité de l'ordre de 5 à I5 p. I000 de Cl Na, mais généralement plus près de 5 que de I5.

A un peuplement dense et presque pur, correspond un sol à engorgement de surface gris foncé, argileux, assez riche en matière organique mal décomposé, à structure assez granulaire, stable à l'eau, moyennement ou peu salé, I à 5 p.I000 de Cl Na et acide ou très fortement acide.

Un mélange avec des plantes non halophiles comme Vetiveria nigritiana indique une salinité inférieure à 2 p. I000 de Cl Na.

A l'opposé Sporobolus robustus supporte une forte salure en peuplements purs dans les Grèves bas du Sud du Delta dont le sol reste humide à une faible profondeur toute l'année ce qui limite la concentration saline.

b/- Juncus maritimus estmoins répandu. Il ne domine réellement qu'en certaines zones des cuvettes centrale où la nappe est proche de la surface même en fin de saison sèche. Il a été observé à une teneur de 5 p.1000 de Cl Na.

c/- Diplachna fusca indique dans la cuvette du Djoudj des terrains assez fortement salés et dans le N'Diael des terrains très salés mais gardant longtemps l'humidité.

d/- le riz sauvage : Oryza Barthii couvre d'immenses étendues dans les parties les moins salées des cuvettes centrales. De ce fait, c'est une très bonne indication pour la culture du riz ; mais le problème est alors de s'en débarrasser car si la tige se dessèche rapidement après la crue en se couchant, les rhizômes subsistent. L'expérience a montré qu'un labour de 15 cm en saison sèche était une bonne solution.

e/- Un sol nu peut correspondre à des salures très variées. Dans les cuvettes centrales de simples taches au milieu d'un peuplement de riz sauvage indique une salure légèrement supérieure à celle que l'on trouve sous couvert, dûe à l'évaporation plus active. Le brûlage de l'épaisse couche de riz sauvage pratiqué actuellement par les Maures pasteurs a pour résultat une plus grande évaporation par suite de la dénudation. La salure étant plus forte, le riz sauvage a ensuite plus de peine à se maintenir.

Dans la zône limite qui est étendue, il a tendance à disparaitre ainsi par petites plaques. En même temps un peu plus loin, les stolons gagnent de prèche en proche. Il y a équilibre.Si les feux étaient supprimé l'équilibre s'établirait à un meilleur niveau.

ont beaucoup moins d'intérêt que dans le cas d'un aménagement à peu de frais qui modifie peu la nature des choses. Il faudrait donc pouvoir comparer les impératifs biologiques du riz à ceux des plantes étudiées. Cela ne peut être tenté pour le moment que d'une façon très grossière. Au surplus, si l'on voulait comparer d'une façon précise la résistance du sel, il faudrait que la plante de référence ait les mêmes conditions de vie que le riz, ce qui n'est pas le cas ; Oryza Barthii et Dinlachna fusca par exemple, se reproduisent plus par stolons que par graines. Ils ont donc à supporter la concentration annuelle maxima en fin de saison sèche alors que le riz cultivé ne commence à pousser qu'après engorgement du sol.

Les pseudo-steppes à Chénopodiacées sont surtout répandues au Nord-Ouest du Delta où domine . Arthronemum glaucum. Cette zône a été éliminée des surfaces à mettre en valeur.

Dans les cuvettes centrales des étendues considérables sont couvertes de riz sauvage, en particulier la cuvette de Keur Macène et l'Ouest de celle du Djoudj. Nous savons que le riz cultivé n'y sera pas géné par le sel.

I546 - Le sol et la culture

Le lecteur est prié de se rapporter à : "La mise au point de la riziculture"

155 - L'UTILISATION DES SOLS

1551. ELEMENTS DE BASE

Dans ce chapitre consacré aux sols figure seulement ce qui se rapporte aux sols. Les autres problèmes, humains entre autres, sont examinés ailleurs.

Les expériences réalisées tant à RICHARD-TOLL que dans le reste du delta ont permis de préciser les points suivants :

1) Pour la riziculture le danger représenté par le sel est faible. Le lessivage du sol aussi bien par drainage (RICHARD-TOLL) que par dilution superficielle dans les cuvettes est effica- Il suffit pour éléminer le sel de prendre quelques précautions élémentaires telles que suppression des refoulements d'eau salée, abondance de l'apport d'eau douce, lente circulation de cette dernière dans la cuvette, longue durée d'inondation.

2) Les sols de cuvettes sont en général excellents, les autres de qualité moyenne et médiocre.

3) Les dates de récolte du riz sont fonction de la saison et de la variété beaucoup plus que de la date du semis; autrement dit les cycles des variétés utilisées jusqu'alors sont variables.

4) La longueur du cycle végétatif du riz influe bien entendu sur son rendement, mais ce dernier ne diminue rapidement qu'avec les semis de mi-Septembre.

5) En sol salé les semis ne peuvent être effectués qu'à l'arrivée de l'eau douce qui dilue le sel.

.../...

6) En sol non salé ils peuvent être effectués soit sous pluie en enfouissant suffisamment le grain pour le préserver des desséchements ultérieurs, soit faute de pluie, à l'arrivée de l'eau comme en terrain salé.

7) La germination est facile. La croissance après germination est très rapide pour certaines variétés comme le D 52-37. Elle peut se poursuivre sous l'eau pendant une quinzaine de jours, alors que dans d'autres régions il n'en va pas de même.

8) Le développement des plantes adventices et en particulier du riz sauvage impose de réaliser des façons culturales bien adaptées.

9) Si le riz est la vocation dominante du delta, d'autres cultures sont possibles sur les parties hautes non salées.:

- cultures maraichères et fruitières sur les bas de dunes
- cultures irriguées diverses sur les levées : coton, mil maïs, ricin, fourrage, canne à sucre, etc...)
- cultures sèches : coton pérenne, fourrages sur les parties très hautes assez sableuses et non salées.

10) L'aménagement riziicole peut se concevoir de deux façons :

- ou bien par un système utilisant tous les terrains et assurant la totale maitrise de l'eau, donc couteux et compliqué,
- ou bien l'utilisation dans les cuvettes de la submersion naturelle contrôlée par des ouvrages simples et rustiques d'un remaniement facile.

Dans le premier cas, on peut espérer des rendements assez élevés. Dans le deuxième cas, les rendements seront moins élevés mais encore satisfaisants (209 /ha).

..../....

~~Le coût d'aménagement est faible, le fonctionnement simple.~~

Dans les parties hautes où le pompage est nécessaire seul le premier système est concevable, avec il est vrai de nombreuses variantes.

Dans les cuvettes, le deuxième système semble présenter bien des avantages.

Comme la répartition du sol, la cote des terrains, les modalités d'inondation varient selon les régions, les problèmes de mise en valeur changent en même temps d'aspect. Aussi distinguerons-nous comme ailleurs :

- l'amont du delta
- les cuvettes centrales
- le bas delta
- la zône des sebkras.

1552. L'AMONT DU DELTA

Cette zône est caractérisée par l'alternance des levées et des cuvettes. Les terres hautes prédominent alors que les cuvettes petites ou moyennes sont nettement séparées les unes des autres. Le plus souvent le fond des cuvettes est relativement haut (généralement entre + 1m et + 1m,50 I.G.N.).

La longueur de l'inondation qui dure de 3 à 5 mois l'emporte sur les remontées salines, aussi ne sont-elles pas salées.

Le casier de 6.000 ha de RICHARD-TOLL est entièrement situé dans cette zône et comprend terres hautes et cuvettes. L'établissement de drains ne comporte aucune difficulté particulière-

.../...

Le pompage est nécessaire tant de l'eau d'irrigation que de drainage en raison de la faiblesse de la pente générale. Les problèmes posés par l'extension d'un tel casier seraient les mêmes que ceux rencontr' lors de sa création.

Les cuvettes suffisamment inondées peuvent également être aménagées par simple régulations de la submersion.

1553. Les CUVETTES CENTRALES

Les très grandes étendues plates du centre Nord du delta sont salées parceque très basses.

En effet; la nappe phréatique très salée est très proche de la surface. DE ce fait, les remontées salines l'emportent sur le lessivage superficiel. Un apport salin non négligeable est également constitué par le refoulement d'eau salée du fleuve à l'étiage par les fortes marées.

Si l'on voulait aménager ces cuvettes en casier du type RICHARD-TOLL, c'est-à-dire où l'on serait totalement maître de l'eau, il serait nécessaire de creuser des drains dans un milieu très fluent. La difficulté serait difficilement surmontable et si elle l'était, elle le serait à gros frais.

De plus, la nécessaire importance de la lame d'eau en sol très salé, malgré le drainage, augmenterait le coût d'une irrigation nécessairement alimentée par pompage. Le volume de drainage serait lui aussi considérable. L'aménagement en casier présenterait donc de graves difficultés de construction et de gestion.

.../...

L'aménagement des cuvettes en submersion contrôlée outre les avantages cités précédemment, comporte celui d'apporter gratuitement une grande masse d'eau douce circulant lentement, diluant et répartissant le sel des zônes trop salées. Du simple point de vue pédologique, nous sommes déjà orientés vers ce dernier type d'aménagement.

1554. LE BAS DELTA

L'alternance des du es et des alluvions submersibles, dans une orientation générale Nord-Est-Sud-Ouest, la faiblesse ou même l'absence des levées, le peu d'amplitude des crues, caractérisent le bas-delta.

On n'y trouve pas de grandes cuvettes mais des vallées interdunaires larges de 1 à 4 Km, elles-mêmes divisées par les marigots. Dans ces vallées, des sols argileux souvent salés mais rarement très bas. Il n'y a pas de grands ensembles mais de petites plaines aménageables isolément et facilement en raison de la faible hauteur nécessaire pour les digues, conséquence de l'amortissement des crues à l'approche de la mer.

On pourrait, du point de vue technique, réaliser de nombreux petits casiers, mais la question se poserait de l'alimentation en eau d'irrigation avant la crue. Il faudrait que les marigots soient reliés à la réserve du [illegible] de GUIERS.

La deuxième solution (submersioncontrôlée) est là aussi très aisée. Les barrages avec vannes ou bâtardeaux construits depuis longtemps par le Service des Eaux facilitent la régulation.

Les pieds de dunes sont très favorables aux cultures maraîchères et fruitières lorsqu'il y a de l'eau douce à proximité. Les dunes, outre les maigres cultures traditionnelles peuvent être utilisées pour cultures fourragères et cotonnières pérennes.

.../...

1555. LA ZONE DES SEBKRAS

L'Ouest du delta, entre le fleuve et la mer, est constitué par des levées alluviales partant du SENEGAL dans la partie Nord, quelques cuvettes moyennement salées, partiellement enherbées et surtout par de grandes sebkras nues, très basses et très fortement salées. A l'Ouest un cordon littoral large de 1 à 2 Km est pour le moment à peu près fixé par une végétation maigre à base d' Euphorbia Balsamifera. Mais il suffirait d'une très faible dégradation pour raviver ces dunes.

La population est très faible. C'est la zône la moins peuplée du delta : dans le Sud un petit village ouoloff, ailleurs des campements maures épars pendant la saison sèche.

Certaines cuvettes peuvent être cultivées en riz moyennant les précautions habituelles. Mais pour la plus grande partie un dessalement est nécessaire pendant plusieurs années parceque la très grande concentration intéresse l'ensemble des bas-fonds et que la répartition du sel par l'eau de crue ne diminuerait guère la salinité des zônes les plus salées. Un dessalement permettrait également le développement de l'herbe. Les pâturages pourraient être ainsi beaucoup améliorés. On peut penser que c'est en cela que réside pour le moment la véritable vocation de cette pauvre région.

Un dessalement partiel peut être effectué comme ailleurs, en supprimant les refoulements d'eau salée à partir du fleuve lors des fortes marées ou en début de crue. Des digues avec vannes sont à construire en travers des principaux marigots.

.../...

156 - CONCLUSION GENERALE

Les sols du delta peuvent se diviser :

-en sols à engorgement temporaire de surface situés dans des cuvettes longtemps inondés, argileux et gris foncé, dont la sédimentation se poursuit actuellement,

-et en sols à engorgement de profondeur, situés sur les levées, inondés peu de temps, mais sensibles (1) à l'action de la nappe phréatique qui est à l'origine de la formation des taches ou concrétions ferrugineuses.

Les uns et les autres peuvent être salés ou salés à alcali ou ne pas l'être.

Les eaux du fleuve charrient en crue de quantités appréciables de chaux et de magnésie qui se retrouvent dans les sols.

L'argile est surtout de la Kaolinite avec une proportion variable d'illite, ce qui laisse présager un départ relativement facile des ions Sodium du complexe absorbant.

Dans la partie amont du delta, la nappe phréatique est de salure variable mais assez faible et suffisamment profonde pour que les remontées de sel soient impossibles après une submersion de quatre mois comme c'est actuellement le cas pour la riziculture à RICHARD-TOLL. Les sols gris foncé à engorgement de surface ne sont pas salés. Ils sont les plus riches et conviennent à des cultures variées quand ils ont moins de 45 % d'argile. Les sols à engorgement de profondeur ont une moins bonne structure, sont la plupart du temps moins argileux et assez souvent salés mais pas très fortement.

.../...

(1) - Actuellement ou dans le passé.-