

MISSION D'AMÉNAGEMENT DU SÉNÉGAL

LES SOLS DU PSEUDO

DELTA DU SÉNÉGAL

Par J. MAYMARD
Pédologue de l'ORSOM

ARCHIVES DE LA M. A. S — DIFFUSION INTÉRIEURE.

BULLETIN N°5

CLASSEMENT 174-1

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE OUTRE-MER
20 rue Monsieur
PARIS VII^e

COTE DE CLASSEMENT N° 1108

PEDOLOGIE

LES SOLS DU PSEUDO DELTA DU SENEGAL .

PAR

J. MAYMARD

N° 1108

A. O. F.

Ce travail résume les observations effectuées dans la partie occidentale de ce qu'on appelle le " delta " du Sénégal. On désigne sous ce nom l'étendue de terre comprise entre les nombreux marigots qui, à partir de Richard Toll se séparent du fleuve et se déploient, pour le rejoindre ensuite et former une embouchure unique ; aussi, appliqué au cours inférieur du Sénégal, le terme de delta est contestable. Quoiqu'il en soit, le pays étudié constitue une région naturelle dominée par son réseau hydrographique.

Avant d'aborder la description pédologique, nous passerons en revue les conditions naturelles qui sont des facteurs déterminants de l'évolution des sols ; nous résumerons brièvement l'essentiel des connaissances depuis longtemps acquises sur la géographie locale et nous nous attarderons davantage sur nos observations personnelles.

Première partie

LES FACTEURS DE LA FORMATION DES SOLS

- Le climat
- L'hydrologie
- Le relief
- La roche mère

Composition minéralogique
Etude granulométrique

- Les transports de matériaux

Sédimentation des troubles en suspension dans l'eau du fleuve -
Les transports dus au vent -

- a) Formation de dunes sur la Langue de Barbarie
- b) L'érosion éolienne dans les sols salés
- c) Extension des terrains salés par l'action du vent
- d) L'érosion des sols cultivés
- e) Les dunes fixées

- Topographie et drainage

Etude de la nappe phréatique
Leur importance dans la typologie et la répartition des sols.

Deuxième partie

LES SOLS

- Les sols ocres

Morphologie

- a) Sol ocre type
- b) Sol ocre lithochrome
- c) Sol ocre faiblement lessivé en fer
- d) Sol ocre peu évolué
- e) Sols ocres à horizons particuliers

Texture

Structure

Réaction du sol et teneur en carbonates alcalino-terreux

Matière organique

Végétation

- Les sols bruns subarides

- Sols bruns subarides calcaires
- Sols bruns subarides non calcaires

- Les sols hydromorphes

Définition

Morphologie des sols hydromorphes

- Sols soumis à l'influence prépondérante de la nappe
- Sols soumis à l'influence prépondérante de la submersion
- Sols soumis à l'influence de la nappe et de la submersion
- Formations spéciales dans le profil : Horizons durcis, concrétions, nodules calcaires, horizons gypseux.

Caractéristiques chimiques

Végétation

- Les sols salés

Définition et terminologie

Morphologie

- Aspect des sols salés en surface
- Structure

Caractéristiques chimiques

- Appréciation globale de la salinité
- Variation du taux de salinité au cours de l'année
- Composition de la solution saline du sol
- Répartition des cations dans le complexe absorbant

Sols salés et végétation

- Les sols de mangrove
- Les sols des pseudo-steppes à Chénopodiacées
- Les sols des prairies plus ou moins marécageuses
- Tolérance au sel et à l'alcali de la flore halophile

Troisième partie
CONCLUSION D'ORDRE AGRONOMIQUE

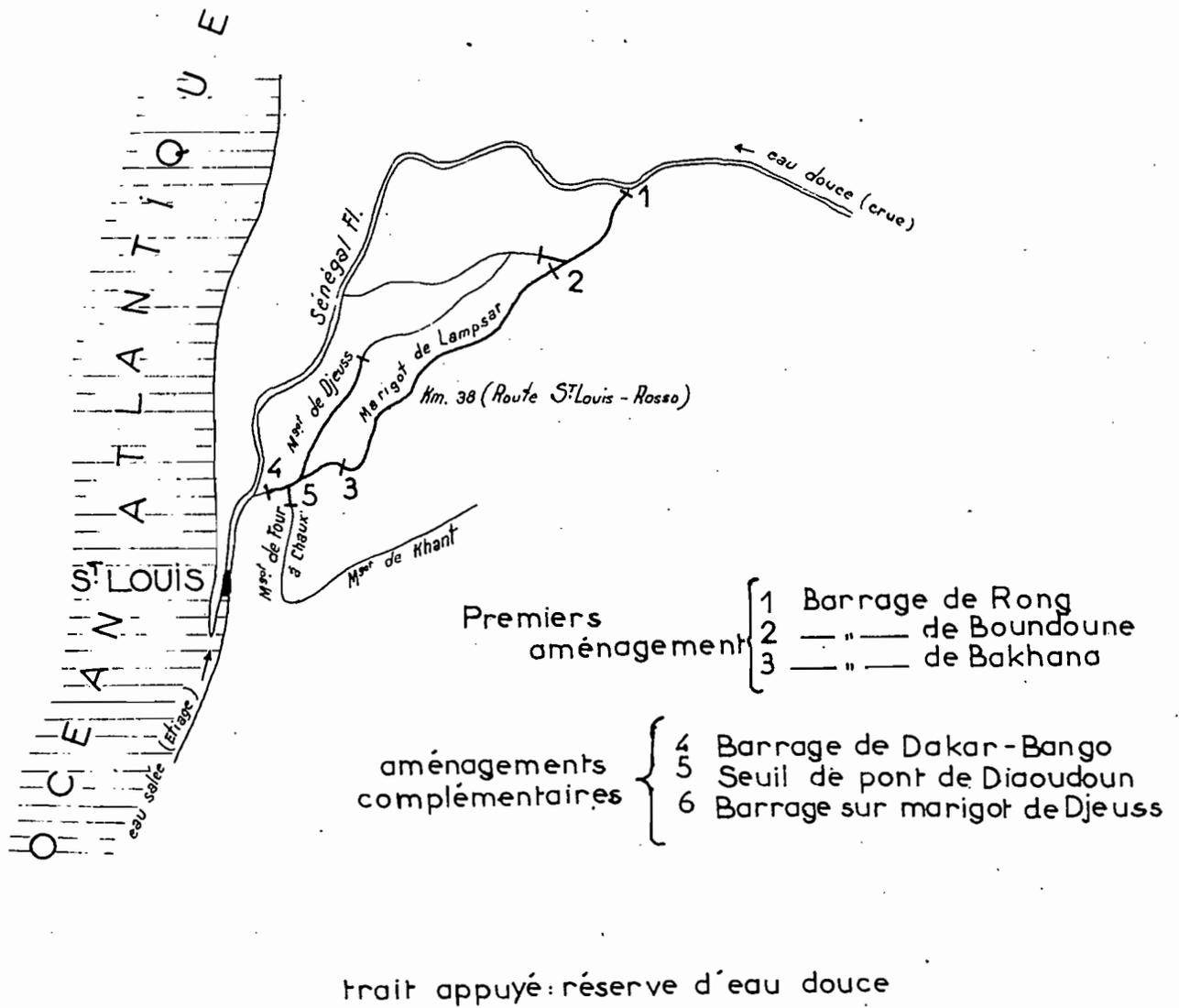


Fig.1 — Aménagement des marigots pour l'alimentation en eau douce de la ville de Saint-Louis

Première partie

LES FACTEURS DE LA FORMATION DES SOLS

LE CLIMAT

Le climat est tropical semi-aride, la pluviométrie moyenne à Saint-Louis est de 392 mm ; il comporte deux saisons très marquées : saison humide ou hivernage de Juillet à Octobre et saison sèche d'Octobre à Juillet. La rareté et la mauvaise répartition des pluies, jointes à des températures élevées, provoquent une évaporation intense : il sera donc normal que souvent prédominant dans les sols les phénomènes per ascensum, et que les sels des couches profondes remontent vers la surface : ainsi le climat pourra être considéré comme l'une des causes de la large extension des sols salés.

Dans la bande côtière, l'air est plus frais et l'état hygrométrique plus élevé même pendant la saison sèche ; c'est le climat subcanarien (Hubert) dominé par l'action d'une branche de l'alizé.

L'HYDROGRAPHIE

La région est toute entière découpée par un réseau hydrographique serré formé par le fleuve et un lacs fort complexe de marigots.

Le fleuve a un régime essentiellement torrentiel ; le maximum des crues a lieu vers le 10 Septembre habituellement, mais leur ampleur varie considérablement d'une année à l'autre ; dans le " delta " le niveau moyen ne monte guère au moment de la crue, mais le fleuve s'étale et inonde presque entièrement le pays. Le manque de pente du cours inférieur et le débit d'étiage extrêmement faible expliquent la pénétration des eaux marines qui viennent sur les berges entretenir les efflorescences salines ; en effet malgré la faible amplitude des marées (maximum 1,41 mètre en vive eau, minimum 0,31 mètre en morte eau) l'onde de salinité, variable avec la force de la crue, remonte jusqu'à 220 kilomètres.

Des marigots s'allongent parallèlement nord-est, sud-ouest entre les dunes ; d'autres se divisent en un nombre infini de bras qui se rejoignent, isolant des îles. En saison sèche certains ne communiquent avec le Sénégal que par leur confluent voisin de l'embouchure, déblayé par les courants de marée, de sorte que, dans les années normales, c'est par l'aval que la crue les emplit. Afin de conserver cette eau douce nécessaire à l'alimentation de Saint-Louis, on a construit des barrages délimitant des bassins de retenue. Le marigot de Lampar est ainsi aménagé depuis près de cinquante ans, le barrage de Dakar Bango sur le marigot de Djeuss est

beaucoup plus récent. Le principe est bon puisque, malgré la proximité des terrains salés, l'eau reste presque douce ainsi que le montre le tableau suivant :

Tableau 1 -

	7 juin 1951	18 Février 1952	
	NaCl %	NaCl %	pH
marigot de Lampsar au Km 38	0,01	0,007	6,8
marigot des Fours à Chaux, pont de Diadoun côté Djeuss.....	0,07	0,028	7,2
marigot des Fours à chaux, pont de Diadoun, côté Khant	0,12	0,084	6,7
marigot de Djeuss à Dakar Bango Côté Lampsar	0,05	0,035	7,1
marigot de Djeuss à Dakar Bango Côté Sénégal.....	2,23	0,50	7,5
Sénégal à Saint-Louis.....	2,34	0,416	7,2

LE RELIEF

Au maximum des fortes crues, seules émergent dans le "delta" noyé de petites collines de sable. On distingue les dunes littorales, construites par le vent avec le sable déposé par la mer, mobiles, généralement orientées nord-sud parallèlement à la côte, des dunes fixes formant des alignements réguliers nord-est sud-ouest ou nord-est sud-ouest. Ces dernières sont à rapprocher des dunes du système dit continental, considérées comme des ergs quaternaires émoussés, et dont le matériau est d'origine fluviatile. Entre les dunes les dépressions linéaires sont ensablées, ou bien occupées par des marigots salés ou des dépôts lacustres. En certains endroits, à l'est de Dialam par exemple, le modelé en tôle ondulée est net. Dans les files on trouve des lambeaux d'un système dunaire dont les formes sont confuses : l'altitude ne dépasse pas 23 mètres. Dans le pays, on les appelle Tound (Tound N'Guinor, Tound ou Maraye, etc). Par leur courbe granulométrique leurs sables s'apparentent aux sables littoraux.

Le relief dunaire mis à part, le pays est plat ; la pente très faible s'incline à partir de la cote 5 mètres dans le nord-est du "delta"; elle n'est plus que de 2 à 1 mètres dans le N'Diael. Dans ce qu'on peut considérer comme le lit majeur du fleuve, les éléments du micro-relief sont les bourrelets alluviaux qui bordent en certains endroits les marigots les buttes formées sur les terrains dénudés par l'accumulation au pied d'une touffe de végétation des sédiments transportés par le vent, quelques bancs de sable plus élevés et aussi des dépressions formant des marécages, des boucles de méandres raccourcis, des chenaux à sec.

GEOLOGIE ET PETROGRAPHIE

On admet que les régions situées à l'ouest du lac de Guiers ont été gagnées récemment sur la mer. Les dépôts superficiels, sableux ou argileux, reposent sur une couche de sable blanc silicieux généralement qualifié de marin. Au dessous, des sondages effectués en 1926 dans la région de Saint-Louis, ont montré un grès coquillier en formation entre 16 et 20 mètres à Dakar Bango, et entre 13 et 21 mètres à Sor. 20 mètres au moins de sédiments représentent du quaternaire récent puisque les renferment Pecten varius actuel (Sondage de recherche d'eau effectué à Saint-Louis de 1899 à 1903).

Nous avons étudié les formations meubles superficielles surtout au point de vue dimensionnel. Nous nous bornerons à quelques remarques sur leur composition minéralogique et sur la morphologie des grains quartzeux.

Composition minéralogique -

Les sables sont quartzeux, il s'y ajoute un peu d'ilménite. Beaucoup de grains de sable, surtout ceux des dunes éloignées de la mer, sont recouverts d'une pellicule d'hydroxyde de fer qui leur donne une teinte rouge ou ocre ou orange. Pas de roche calcaire, mais un peu de carbonate de calcium est fourni par les tests de coquillages. On en trouve sur les plages et sur les dunes littorales où des fragments légers ont été abandonnés par le vent. Plus à l'intérieur du pays, d'énormes amas artificiels, véritables "Kjökhenmoddinger" ont été édifiés par les indigènes à une époque inconnue. Quelques cordons naturels, très localisés, s'allongent dans certaines dépressions. Les espèces les plus abondantes sont Arcas nilis et Ostrea gasar; la première sert de ballast pour la voie de chemin de fer et remplace les cailloux sur les routes, la seconde cuite dans des fours, a autrefois fourni de la chaux pour la construction de Saint-Louis.

A 11 kilomètres de cette ville, 200 mètres au sud du signal de Ngalel, nous avons encore trouvé sous 40 centimètres d'argile et dans un sable ocre, les espèces suivantes déterminées par Dekeyser :

Tellina sp.
Bulla Adansoni
Thais haemastoma
Polynices lacteus

Ce sont des espèces d'eau fortement salée

.../...

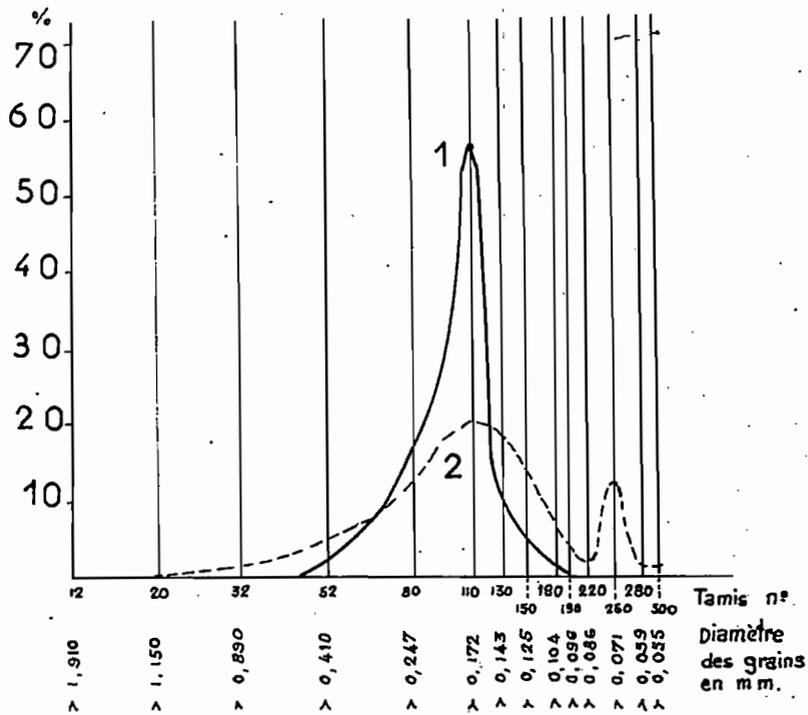


Fig. 2 – Courbes de fréquence granulométrique de sable du "delta" du Sénégal.

1 Sables littoraux } Plage marine de S^TLouis
 2 Sables dunaire } à 19 km au N.E de S^TLouis

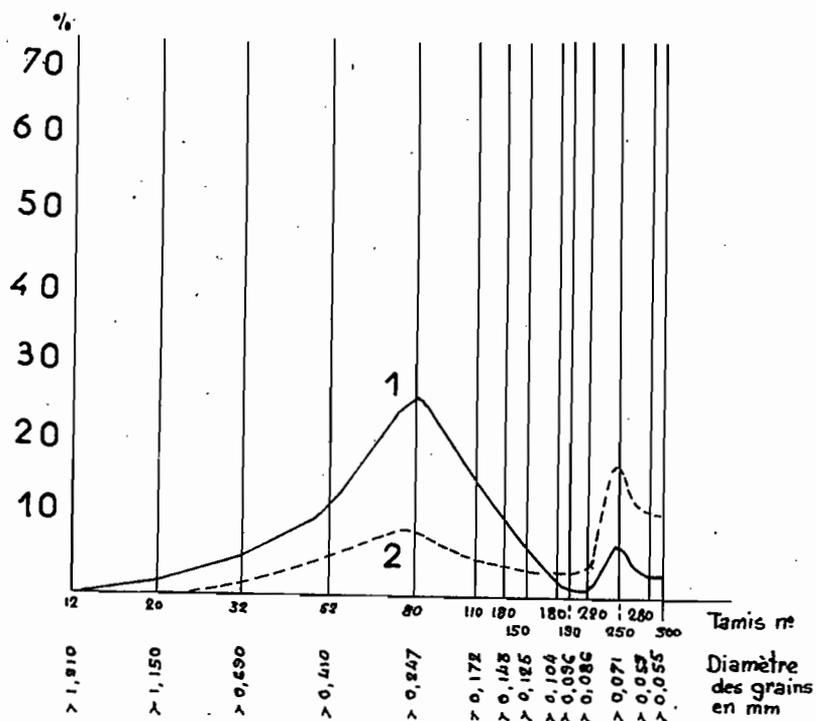
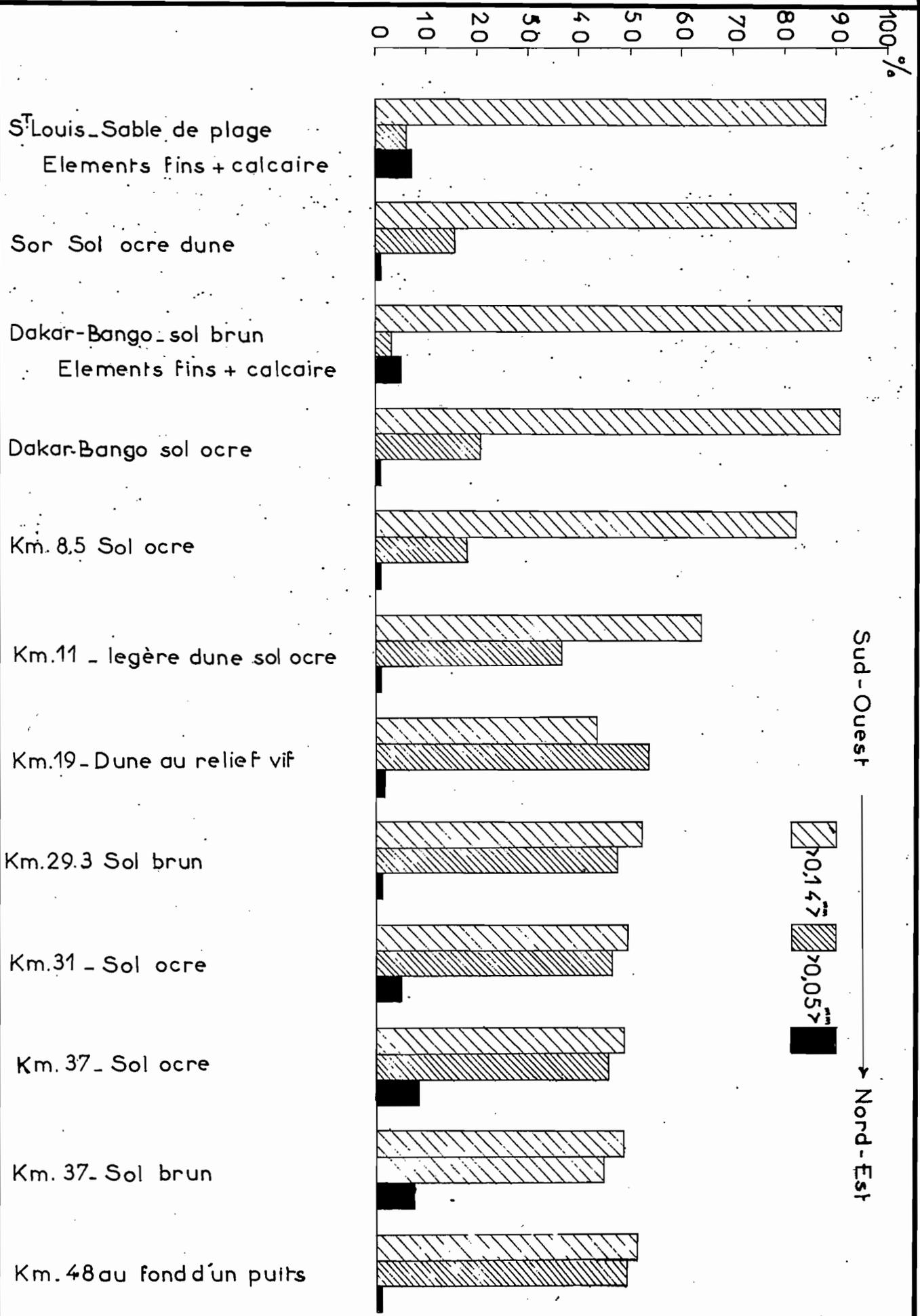


Fig. 3 - Courbes de fréquence granulométrique de sables du Djoloff oriental. (Sables superficiels recouvrant la série sédimentaire du Lutétien supérieur et Post Lutétien de la région de Barkedji)

1 type "Dior"

2 type "Bardial"



au contraire :

Bullinus strigosus
Planorbis eridonxianus
Melania tuberculata

trouvées à 38 kilomètres au nord-est de Saint-Louis, truffant un sol argilo-sableux, entre deux dorsales sablonneuses sont des espèces d'eau plutôt douce.

D'après Adanson la disparition des huîtres dans la région de Saint-Louis date de 1740. Actuellement deux espèces vivantes de coquillage sont fréquentes dans les marigots salés :

Tagelus angulatus
Tympanotus fuscatus

La Nature minéralogique des argiles n'a pas été étudiée. Il peut être intéressant de signaler, que l'argile gorgée d'eau des horizons profonds de la mangrove à Avicennia est parfois peu collante et ne devient vraiment plastique qu'après avoir été pétrie un certain temps.

Morphologie des sables -

L'étude morphologique des grains de quartz suivant la technique de A. Cailleux, ne met pas clairement en évidence l'origine des formations sableuses. Quel que soit le lieu de prélèvement, on trouve un mélange des trois types principaux et surtout une forte proportion de grains difficilement classifiables, analogues à ceux dessinés par S. Bouyer (cf. Contribution à l'étude agrolologique des sols du Sénégal.

Etude granulométrique -

L'étude granulométrique des sables a été faite par tamisage à l'aide d'une colonne de 14 tamis dont les mailles s'échelonnent entre 1,910 mm et 0,056 mm. Pour les sables purs ou presque purs, le tamisage est fait à sec, pour les autres il est pratiqué sous l'eau ; cette dernière méthode a l'inconvénient d'être fort longue. Les résultats sont exprimés par des courbes représentatives. Nous avons établi des courbes de fréquence, bien que l'intervalle entre les dimensions des mailles de deux tamis consécutifs ne suive aucune règle ; mais ce type de représentation paraît être le plus expressif.

Une centaine de courbes, intéressant les sables presque purs de la région, a nettement mis en évidence deux types - (Voir fig. 2)

L'un est caractérisé par une courbe étroite à un seul maximum très

localisé, c'est donc un sable bien calibré.

L'autre montre une courbe plus étalée, à deux maxima, correspondant, sinon à un mélange de deux matériaux différents, du moins à un régime dynamique beaucoup moins constant.

A titre de comparaison nous donnons les courbes granulométriques de sables du Djoloff oriental (fig. 3). Bien que très semblables à la courbe, II, elles révèlent des sédiments encore moins bien calibrés.

Dans le "delta" du Sénégal, le nombre important de courbes établies, permet de suivre dans l'espace la répartition des deux types précités. La figure 4 est à cet égard très parlante ; la coupure arbitraire établie pour la dimension 0,143 mm a été choisie parce qu'elle différencie bien dans la représentation par rectangles proportionnels les deux types granulométriques. On voit que le type "sable de plage de Saint-Louis" occupe le long de la route de Rosso une bande côtière de 9 kilomètres ; le kilomètre 11 est une zone de transition, dès le kilomètre 19, on a le sable dunaire typique qui se poursuit ensuite jusqu'à Rosso. Là, au fond d'un puits de 1,80 de profondeur, la formation prélevée au dessous du niveau de la nappe phréatique, est encore, par sa courbe granulométrique, un sable dunaire. Pour les sédiments sablo-argileux ou argilo-sableux des plaines inondables, la granulométrie des particules supérieures à 0,050 mm a été obtenue par tamisage sous l'eau, celle des particules inférieures, après dispersion suivant la méthode internationale, par prélèvement à l'aide de la pipette de Robinson. Les résultats obtenus très variés, ne se prêtent à aucune généralisation. On peut seulement remarquer, que la fraction limon (particules comprises entre 0,020 et 0,002 mm) est presque toujours moins abondante que la fraction argile (particules inférieures à 0,002 mm)

EN RESUME

1°/ Nous avons montré que le calcaire ne se trouve dans le "delta" que sous la forme très particulière de débris de coquillages.

2°/ Si l'on admet qu'à des spectres granulométriques identiques correspondent des sédiments de même origine, il est possible de formuler les hypothèses suivantes.

a) une bande côtière de 9 kilomètres de large aux abords de Saint-Louis, serait d'origine marine (sables apportés par le courant nord-sud et déposés sur la plage) ; les sables de Dakar Bango en particulier représenteraient un ancien cordon littoral ; ce cordon aurait isolé de l'océan une lagune aujourd'hui colmatée (Plaine des Fours à Chaux) où prospéraient de nombreux coquillages d'eau saumâtre.

b) une zone à nouveau sableuse s'étend vers l'est. Son modèle topographique implique une origine éolienne. Sa composition granulométrique se traduit par une courbe à deux maxima. Le sable blanc qui supporte ces dunes a le même spectre granulométrique ; cette analogie étaye l'hypothèse d'une même origine des deux sables, et nous incite à conclure que le socle de sable blanc n'est pas obligatoirement un apport marin.

c) La présence de coquillages d'eau douce implique une formation lacustre et non l'ingression du domaine marin dans les sables dunaires.

d) beaucoup d'auteurs ont parlé des alluvions limoneuses déposées par le Sénégal. Pour le bas " delta ", il faut parler d'argile et non de limon.

LES TRANSPORTS DE MATERIAUX

1) Sédimentation des troubles en suspension dans l'eau du fleuve

L'approche de la crue s'annonce à Saint-Louis par l'apparition d'eaux jaunâtres qui refoulent les eaux limpides et salées de la période d'étiage. Lentement les eaux montent et noient les terres basses.

La teneur en trouble est assez faible : 100 gr. en moyenne par mètre cube, mais la sédimentation est particulièrement intense dans le bas " delta " du Sénégal en raison de la proximité de la mer. Le jeu alternatif de la marée, (très facile à observer pendant la crue de 1950 alors que l'eau, passant au dessus de la route entre Saint-Louis et le pont de Khor, coulait dans des sens opposés suivant le flot ou le jusant) facilite les dépôts : deux fois par jour la marée descendante abandonne les particules en suspension dans la tranchée d'eau qui se retire. Un dépôt se forme à la surface du sol et surtout adhère aux tiges et aux feuilles qui filtrent le courant. Ces sédiments, déposés sous l'eau et restant longtemps recouverts par elle, ont une couleur noirâtre qui indique un caractère réducteur et anaérobie ; aux éléments minéraux s'ajoute une forte proportion de matière organique provenant des êtres vivants ; poissons, crabes et planctons qui existent en abondance ; ils correspondent à l'appellation de vase.

2) Les transports dus au vent

a) Formation de dunes sur la Langue de Barbarie. Le sable abandonné par les lames est entraîné par le vent dès qu'il est sec. Quelques touffes de végétation (Ipomoea pes-caprae et Sporobolus robustus) suffisent à l'arrêter et provoquent la formation de monticules à profil grossièrement systématique, qui s'accroissent à mesure que la plante allonge pour résister à l'ensablement ; ces petites dunes, créent une dénivellation pouvant atteindre 4 mètres ; leur composition granulométrique est identique à celle des sables de la plage.

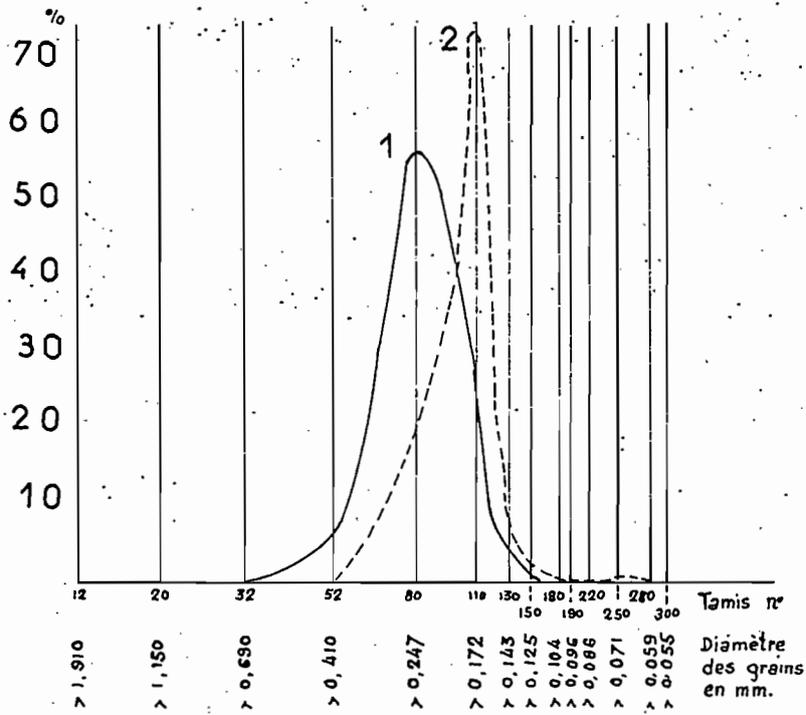


Fig. 5 - Courbes de fréquence granulométrique de sables de la Langue de Barbarie.

Dunes de Filaos. { 1 Côté vent
2 Côté sous le vent

Les alignements de filets, plantés sur la Langue de Barbarie afin de consolider cette étroite flèche de sable attaquée par la houle et par le vent, ont provoqué une accumulation beaucoup plus importante et à profil dissymétrique : pente douce du côté au vent, pente abrupte sous le vent ; la première est une zone de transport, la seconde une zone de dépôt où le sable s'accumule en s'écoulant par gravité ; les courbes granulométriques (Fig. 5), mettent en évidence le triage qui s'est opéré sur le premier versant. Pour les vitesses normales du vent dans ces parages (précisées par le tableau 2) il semble que les grains supérieurs à 0,347 mm éprouvent une certaine difficulté à se déplacer. (Le spectre granulométrique représenté par la figure 5, a été obtenu par l'analyse d'échantillons prélevés le 20 Avril 1951 ; nous donnons dans le tableau 2 les vitesses de vent dans les journées du 18, du 19, et du 20 Avril 1951.

Tableau 2 -
VENTS AU SOL

HEURES	18 Avril 1951		19 Avril 1951		20 Avril 1951	
	Direction	Force m/s	Direction	Force m/s	Direction	Force m/s
00	NW	07	N	06	N	06
01	N	06	N	06	N	06
02	N	06	N	06	N	06
03	N	06	N	05	N	06
04	N	06	N	06	N	05
05	N	06	N	05	N	05
06	N	05	NW	05	N	05
07	N	05	N	05	N	05
08	N	04	N	05	N	06
09	N	07	N	07	N	06
10	N	08	N	06	N	06
11	N	07	N	06	N	08
12	N	06	N	07	N	08
13	NW	07	N	07	N	08
14	NW	07	N	07	N	08
15	NW	06	WNW	07	N	08
16	NW	06	WNW	07	N	07
17	NW	05	N	07	N	07
18	WNW	05	N	07	N	07
19	N	05	N	07	N	06
20	N	06	N	06	N	04
21	N	07	NW	06	N	04
22	N	07	N	06	N	07
23	N	07	N	06	N	07
24	N	06	N	06	N	07

En dehors des dunes littorales, il est peu courant d'observer des formes vives de dunes. La moitié sud de Tound Nguinor est à cet égard une exception. La destruction particulièrement poussée de la végétation et le piétinement du bétail permettent ici la déflation, qui ne se traduit pas seulement par un balayage en surface, mais entraîne la progression des sables vers le sud. La figure 6 donne la courbe granulométrique du front sableux qui s'avance sur la plaine alluviale.

b) L'érosion éolienne dans les sols salés.

Les terrains salés, très pauvres en végétation, sont balayés par le vent dont aucun obstacle ne ralentit la vitesse. Cependant ils lui offrent moins de prise qu'on ne pourrait croire, car leur teneur en argile est un élément de cohésion ; par contre, dans les sols à alcali à structure poudreuse, il y a individualisation d'éléments particulièrement légers et facilement transportables. Autour des touffes de végétation : Tamarix, Salsola, Arthrocnemum qui viennent perturber l'écoulement de filets de vent, chargés d'éléments solides, il se produit une accumulation.

Ces phénomènes influent partiellement sur le micro-relief des sols salés : la déflation des taches à structure poudreuse provoquera des dépressions, l'accumulation dans les zones les plus riches en végétation, entraînera la formation de buttes.

c) Extension des terrains salés par l'action du vent.

Ce phénomène est assez rare. Il a cependant été observé à 4 kilomètres à l'est de Saint-Louis.

Il s'agit d'une région très basse, sillonnée de chenaux autrefois remplis d'eau toute l'année, maintenant asséchée depuis la construction de la route digue entre l'usine de Khor, et le camp d'aviation. De la mangrove qui prospérait autrefois, il ne reste que quelques souches mortes d'Avicennia, car la zone est trop salée et trop sèche pour que s'installe une autre végétation ; en bordure, poussent quelques Tamarix. Cette zone constitue un vaste couloir dénudé, orienté dans le sens des vents dominants ; aussi voit-on dans les parages immédiats des Tamarindus à faciès vexillaire, L'érosion y est telle, que par vent modéré à assez fort, on voit de loin un nuage de fines poussières s'élever. Les particules plus grosses, courent à la surface du sol et s'accumulent au pied d'un mamelon sableux, derrière les Tamarix ; ils l'escaladent même et le recouvrent, et l'on voit les acacias et les tamariniers dépérir, empoisonnés par le sel ; la végétation climacique disparaît peu à peu remplacée par quelques Tamarix.

d) L'érosion des sols cultivés

Un cas intéressant est celui d'un verger près de Dialam à 25 kilomètres de Saint-Louis, car on sait que le sol y est cultivé depuis 70 ans. Sur un plateau sableux qui s'incline en pente douce vers le marigot de Lampsar, des manguiers, des orangers, des goyaviers, des citronniers, sont plantés tous les 8 à 10 mètres ; le seul entretien consiste en deux grattages superficiels, pendant et après l'hivernage, destinés à détruire le tapis végétal qui s'installe à cette époque. Sous les arbres et dans l'intervalle qui les sépare, le sol est absolument nu. Au premier coup d'oeil on remarque l'abondance en surface d'un sable grossier et fluent. La figure 7 met en évidence le triage qui s'est opéré. Néanmoins, ce caractère est très superficiel puisque la courbe granulométrique d'un horizon de 1 à 5 cm (non représentée) est presque identique à celle de l'horizon profond.

Il ressort des pages précédentes que :

1°) Pour les vitesses de vent comprises entre 4 et 8 mètres à la seconde, (conditions tout à fait normales dans le pays), l'érosion est très sensible sur les terrains secs et dénudés.

2°) Dans ce cas :

a - ce sont des particules comprises entre 0,4 et 0,14 mm (les plus nombreuses entre 0,24 et 0,17 mm) qui se déplacent mais s'arrêtent au moindre obstacle.

b - Les particules supérieures à 0,247 mm ne sont que difficilement entraînées par le vent. Aussi en comparant les teneurs en sable grossier dans la couche superficielle et dans la couche profonde, il est possible de diagnostiquer rapidement un sol érodé (cf. L'érosion éolienne, dans le nord-ouest du Sénégal - G. Aubert, J. Dubois, R. Maignon).

e - Les dunes fixées

En dehors des cas précités où les transports sont évidents, le problème se pose de savoir ce qui se passe dans les sols beaucoup plus stables et en particulier dans les dunes fixées. Ici encore le rôle du vent est indéniable puisqu'il crée à la surface du sol d'innombrables petites rides. Mais que résulte-t-il de ces transports ?

Des échantillons prélevés sur des lignes de plus grande pente, se sont révélés très souvent de composition granulométrique constante. Parfois cependant, les sommets de dunes sont plus riches en sable fin que les couloirs interdunaires (il s'agit évidemment de couloirs sableux hors de l'atteinte des crues et où les eaux de pluies ne s'accumulent pas) ; cela permet alors d'assimiler les sommets des dorsales sablonneuses à

.../...

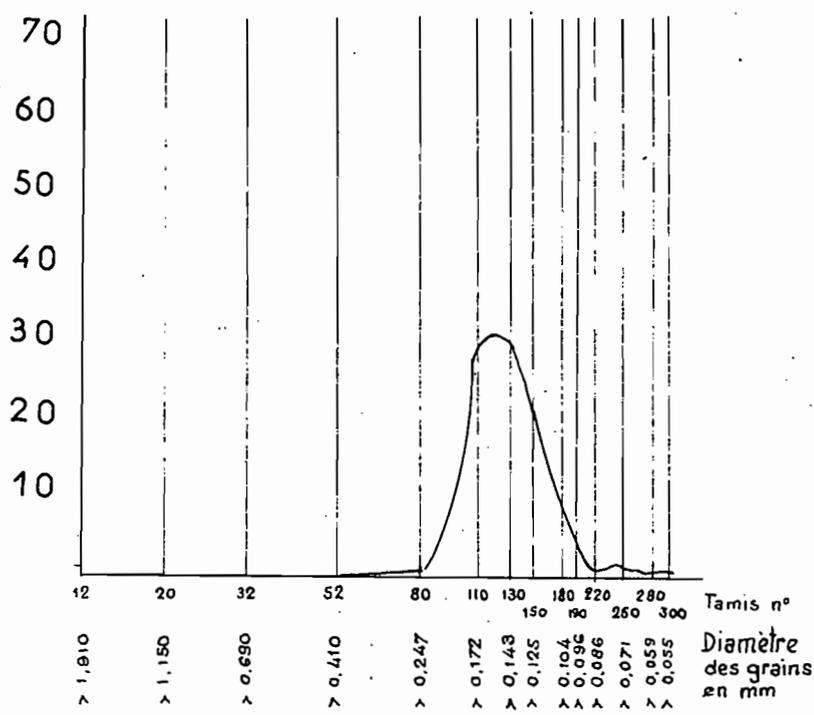


Fig. 6.- Courbe de fréquence granulométrique des sables de Tound N'guinor. (Font sableux qui s'avance sur la plaine alluviale).

COURBE DE FREQUENCE GRANULOMETRIQUE DE SABLES

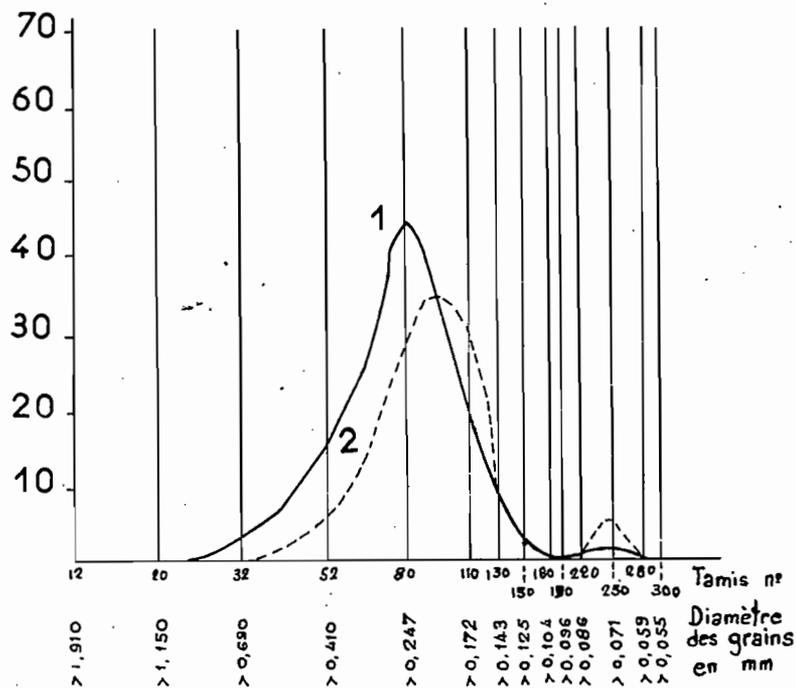


Fig. 7_ JARDIN DE DIALAM

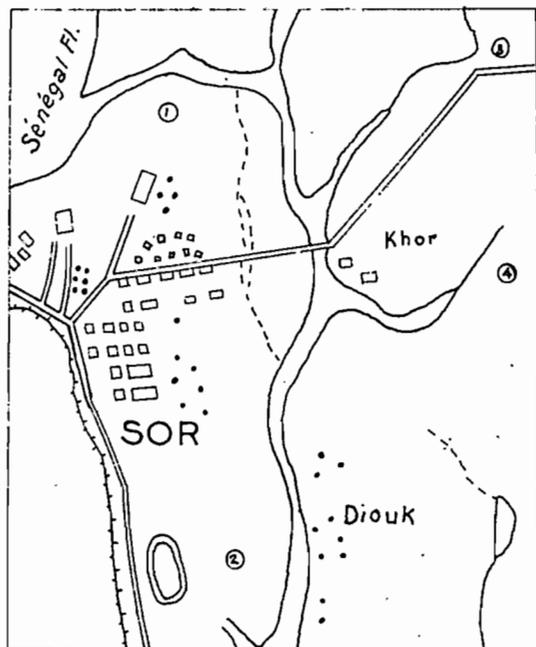
1: de 0 à 0,5 cm

2: de 100 à 110 cm

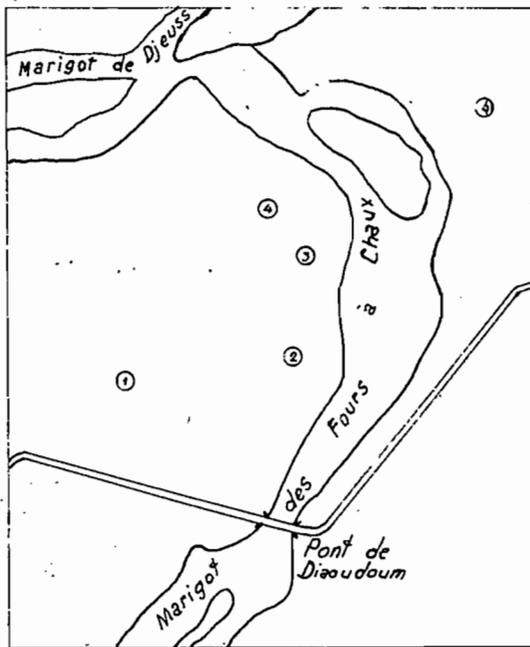
Fig. 8. — Quelques caractéristiques de la nappe phréatique

— ECHELLE: 1/50.000 —

Près de Saint-Louis



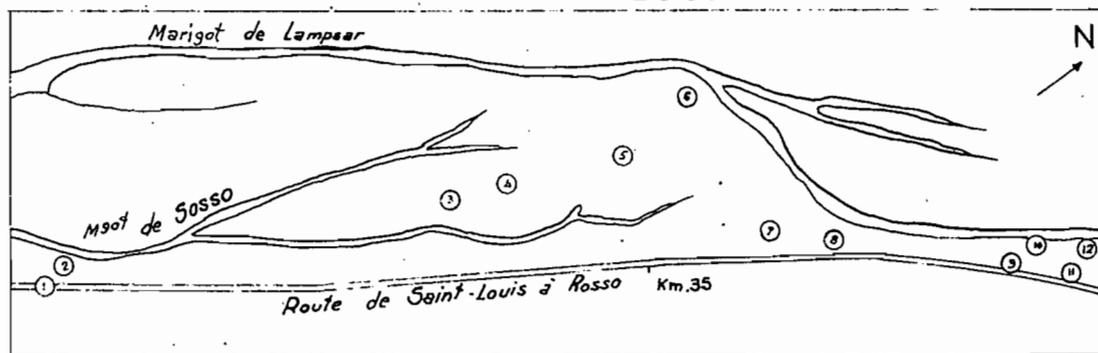
A. 12 Km de Saint-Louis



Na Cl ‰		Niveau au dessus des surfaces du sol	pli	date
1	26,4	64 cm	7	10.1.51
2	34,4	77 cm	7	10.1.51
3	47,2	51 cm	4	14.2.51
4	36,0	65 cm		20.4.51

Na Cl ‰		Niveau au dessus de la surface du sol	pli	date
1	31,4	130 cm		6.3.51
2	44,9	130 cm		6.3.51
3	23,1	87 cm		6.3.51
4	64,3	117 cm		6.3.51
5	43,2	80 cm		17.5.51

A. 35 Km. de SAINT-LOUIS



	Na Cl ‰	Niveau au dessus de la surface du sol	date
1	traces	130 cm	6-2-51
2	4,2	50 cm	6-2-51
3	40,0	115 cm	5.3.51
4	17,8	125 cm	5.3.51
5	15,2	120 cm	5.3.51
6	58,4	112 cm	20.1.51

	Na Cl ‰	Niveau au dessus de la surface du sol	date
7	19,9	85 cm	20.1.51
8	19,1	90 cm	20.1.51
9	11,2	107 cm	25.1.51
10	6,4	83 cm	25.1.51
11	12,4	82 cm	25.1.51
12	0,6	80 cm	25.1.51

des zones de dépôt et les interdunes à des zones de déflation. Il semble donc, que dans certains cas, les phénomènes éoliens l'emportent ou tout au moins annulent le rôle du ruissellement. Une autre observation corrobore cette idée : le creusement d'un certain nombre de puits d'observation au sommet des reliefs dunaires, met au jour des traces d'activité humaine : tas d'ordures marquant l'emplacement d'anciens villages, débris de poteries coquillages apportés par les Peulhs pour affermir le sol de leur campement. Si le sommet des dunes était érodé, ces débris devraient apparaître en surface ; il n'en est rien ; ils sont au contraire recouverts d'une couche de sable rouge souvent épaisse.

Dans d'autres cas l'observations montre au contraire l'écoulement des matériaux le long de la pente. Deux cas sont particulièrement nets :

- celui où l'on voit passer la couche argilo-sableuse qui colmate une dépression sous le sable de la dune qui le borde ;

- celui des amas artificiels de coquillages ensevelis sous le sable (Ex. bordure nord du marigot de Khant).

TOPOGRAPHIE ET DRAINAGE

Etude de la nappe phréatique

Nous avons déjà vu qu'aux diverses formes du relief correspondaient des sédiments plus ou moins fins. Mais l'effet direct de la topographie sur la formation des sols vient de son influence sur les mouvements de l'eau.

Les sols des plaines basses sont gorgés d'eau une partie de l'année, la crue venant prolonger les effets de la saison des pluies. De plus l'humidité excessive provient de la présence d'un niveau hydrostatique très voisin de la surface. Or, dans ces régions voisines de la mer, les eaux du sous-sol sont presque toujours salées. Les sels proviennent probablement des dépôts abandonnés au cours des périodes géologiques précédentes dans les couches à travers lesquelles se déplace la nappe phréatique. Pendant la saison sèche très longue, l'ascension capillaire et l'évaporation amènent la formation de cristaux de sel à la surface du sol et des mottes.

Pour tous les problèmes que posent les sols salés, il est essentiel de connaître, sinon la composition de la nappe phréatique, au moins son degré de salure et son niveau, et de suivre son évolution au cours de l'année.

Dans tout le bas " delta ", la nappe est à peu près à la même cote, très voisine de celle du plan d'eau des marigots et par conséquent de l'océan ; mais les variations de salure d'un point à un autre sont con-

sidérables ainsi qu'il est facile de le constater par l'examen de la figure 8. Il n'y a donc pas une seule nappe, mais une infinité de nappes qui communiquent mal entre elles.

A proximité des marigots dessalés comme ceux de Djeuss et de Lampsar, on pourra trouver des nappes phréatiques douces, ou au contraire des nappes aussi salées que l'Océan (Ex. : point n° 12 = 0,6 P. mille et point n° 6 = 58,4 P. mille du croquis C de la Fig. 7). La salinité est indépendante du micro-relief. Par contre il semble très général que les dunes de sables emmagasinent les eaux de pluie et surtout les eaux de crue et les restituent peu à peu sur leur bordure ; ce fait bien connu des pasteurs est mis à profit pour l'abreuvement des troupeaux ; c'est au pied des Tounds, cernés de marigots fortement salés que s'installent les campements permanents ; il suffit de creuser à la limite des dunes et de la plaine des puits de 1 à 3 mètres de profondeur, pour avoir de l'eau douce, ou à peu près douce, peu abondante, mais toute l'année. Ceci apparaît nettement sur la bordure ouest des sables de Dakar Bango où l'eau d'un puits creusé par les indigènes renferme le 19/4/1951 : 1 P. mille de NaCl, tandis que dans la plaine sablo-argileuse, à 50 mètres de là et pour une dénivellation inférieure à un mètre, l'eau de la nappe atteint 37,6 P. mille. Le long de la route de Saint-Louis à Rosso, partout où elle longe les dunes du système continental, on retrouve le même phénomène : ainsi, au kilomètre 31 (Voir croquis C de la figure 7) la nappe à 130 cm au dessous du niveau du sol ne renferme, le 29/1/1951, que des traces de chlorures ; au kilomètre 47 dans le village de Tilène, la nappe à 160 cm renferme 1,0 P. mille le 15/2/1951.

Si l'on met à part la réserve d'eau douce des dunes, on peut, pour éviter une énumération fastidieuse de chiffres, schématiser ainsi la répartition des caractéristiques de la nappe :

- sur une bande côtière d'une vingtaine de kilomètres de large, s'étendant de part et d'autre du fleuve et à peu près jusqu'à l'île de Tieng, la nappe phréatique est très salée (de 20 à 60 p. mille de ClNa) et très proche de la surface (1 mètre environ).

- ailleurs, c'est-à-dire à l'est et au nord, le degré de salinité est d'une façon générale beaucoup plus faible, mais en quelques points, très localisés, la salure est très forte (jusqu'à 60 p. mille) sans qu'il soit possible d'en voir la raison. Son niveau au dessous de la surface du sol est variable et dépend du micro-relief.

Enfin, pour toute la région, la réaction des eaux de la nappe phréatique est comprise entre pH = 4 et pH = 7,8 ; c'est dans la région côtière qu'on note ces deux valeurs extrêmes, la forte acidité paraissant liée à la présence de mangrove à Avicennia.

Pour les conclusions précédentes, il n'a pas été tenu compte de la date à laquelle les prélèvements d'échantillons ont été faits. Si ce point de vue peut être négligé, c'est qu'une étude précise a montré que l'évolution au cours de l'année est beaucoup moins importante que les variations d'un point à un autre.

a) D'une façon générale, dans les terrains argileux voisins de l'embouchure, l'abaissement léger du niveau de la nappe phréatique qui accompagne l'augmentation du taux de salure doit être surtout le résultat de l'évaporation. Les chiffres du tableau 4 donnent une idée de l'évolution de ce type de nappe.

Tableau 4 -

Evolution de la nappe phréatique

Caractéristiques de la nappe immédiatement après le retrait des eaux de surface - 10 janvier 1951		Caractéristiques de la nappe à la fin de la saison sèche 9 juin 1951	
Niveau au dessous de la surface du sol	NaCl p.mille	Niveau au dessous de la face du sol	p.mille
Près du champ de course de Saint-Louis	77 cm 34,4	100 cm	43,9
Au nord de Sor	64 cm 26,4	80 cm	35,7

Il est important d'insister sur la faible perméabilité des horizons supérieurs :

- après une pluviosité et une crue exceptionnelle, (hiver 1950) qui eurent pour conséquence une submersion d'environ six mois, on a pu observer en même temps et en même lieu, de l'eau presque douce en surface (1,6 P. mille près du champ de course, 1,3 p. mille au nord de Sor) et une nappe à faible profondeur fortement salée.

- un exemple un peu différent mais encore plus probant, est fourni par les chiffres obtenus près du barrage de Dakar-Bango. Il ne s'agit plus là d'une submersion saisonnière, mais d'un bassin de retenue d'eau douce existant depuis plusieurs années. Lorsque la consommation de la ville est forte, l'eau douce se retire laissant le terrain nu ; il est alors nécessaire de creuser un puits juste à sa limite et de constater l'existence d'une

nappe phréatique à 125 cm fortement salée : 31,3 P.mille de NaCl. L'exemple conserve sa valeur puisqu'en cet endroit le sol était submergé quelques jours auparavant et le sera dans le mois qui suit. De l'autre côté de la digue où subsistent les conditions naturelles, la salure de la nappe est de 32,4 P.mille, la différence est insignifiante.

b) Dans la mangrove à Avicennia, les mouvements de la nappe phréatique, d'ailleurs de très faible amplitude, ne suivent pas la même loi. L'eau peut y circuler grâce aux tunnels creusés par les crabes, et aux canaux laissés par l'emplacement d'anciennes racines. Le niveau de la nappe paraît s'élever avec les fortes hauteurs des pleines mers (Tableau 5 -)

Tableau 5 -

DATE	Niveau au dessous de la surface du sol	Moyenne des deux hauteurs des Pleines mers	Basses mer de la journée
14/2/51	51 cm	120 cm	65 cm
10/3/51	30 cm	155 cm	10 cm
7/4/51	40 cm	155 cm	20 cm
12/5/51	57 cm	130 cm	65 cm
8/6/51	35 cm	150 cm	55 cm

Mais si on admet que les communications entre l'eau de la nappe et celle des canaux de marée sont faciles, la différence de Ph (nappe = 4, chenal = 7,6) paraît étrange.

c) Il peut enfin arriver que le niveau de la nappe monte rapidement avec la crue et descende de même avec la décrue. Il faut pour cela des horizons sableux très perméables, comme il en existe surtout dans la portion amont des marigots de Lampsar et de Djeuss. Les eaux du sous-sol, en relation facile avec les eaux de surface et celles des marigots que la marée ne remonte plus, sont alors peu salées. Cependant, dans la plaine des Fours à Chaux, une nappe phréatique de ce type, qui s'est abaissée de 80 cm en un mois, dose 64 P. mille de NaCl.

C'est la qualité du drainage, commandée par la position topographique et accentuée par la nature des sédiments, qui détermine la typologie des sols. Comme introduction à l'étude détaillée de ces derniers, dégagons les caractéristiques essentielles étroitement liées à ce facteur :

Les couleurs dominantes des sols bien drainés et dépourvus de calcaire, sont le rouge, l'ocre, l'orangé ; ils doivent cette teinte à la présence d'oxydes de fer déshydratés. Pendant la saison des pluies, il peut y avoir un léger lessivage de cet élément qui migre en profondeur. Les sols mieux pourvus en calcaire ou en bases, ont une couleur brune ou grise. On les trouve presque toujours au bas des pentes. Deux explications sont possibles, l'une ou l'autre prévalant suivant les cas :

- si le calcaire est très abondant, on peut penser qu'il est fourni par les coquillages qui venaient s'échouer sur un liseré côtier ;

- s'il n'y a pas de calcaire, mais si le sol est riche en bases, on peut l'attribuer au fait que sur les pentes, les eaux qui s'infiltrèrent ont tendance à se déplacer latéralement au lieu de se déplacer simplement de haut en bas. Aussi les bas de pentes recevront des eaux de percolation enrichies des bases des terres hautes.

Les sols mal drainés ont un horizon supérieur gris ou noir, riche en matière organique peu décomposée. L'humidité réduisant l'aération, il y a réduction du fer et du manganèse, d'où accroissement de la solubilité de ces éléments. Ceci a une grande importance pour la morphologie du profil ; dans la couche du sol alternativement soumise aux conditions de réduction et d'oxydation, le fer et le manganèse s'accroissent ; il en résulte un horizon bigarré de taches et pourvu de concrétions. Le terme de sol hydromorphe convient à tous les sols qui présentent ces caractéristiques. Malgré la similitude de morphologie, on doit cependant en exclure les sols salés. D'après ce que nous avons déjà vu à propos des nappes phréatiques on peut prévoir la répartition de ces derniers types de sols : au pied de la dune, une ceinture de sol hydromorphe, ailleurs des sols salés.

Ainsi il existe une succession régulière (voir Fig. 9) qui comporte de haut en bas :

- sol ocre
- sol brun
- sol hydromorphe
- sol salé.

Les sols bruns et les sols hydromorphes n'occupent qu'une bande étroite. Souvent même ils ne s'individualisent pas, la succession des sols sur la pente étant trop rapide. Aussi les indigènes ne distinguent, entre le sol ocre, qu'ils appellent " dior " et les sols salés " N'deg U Khomkhum " qu'une zone intermédiaire ou " tak " (voir Fig. 10).

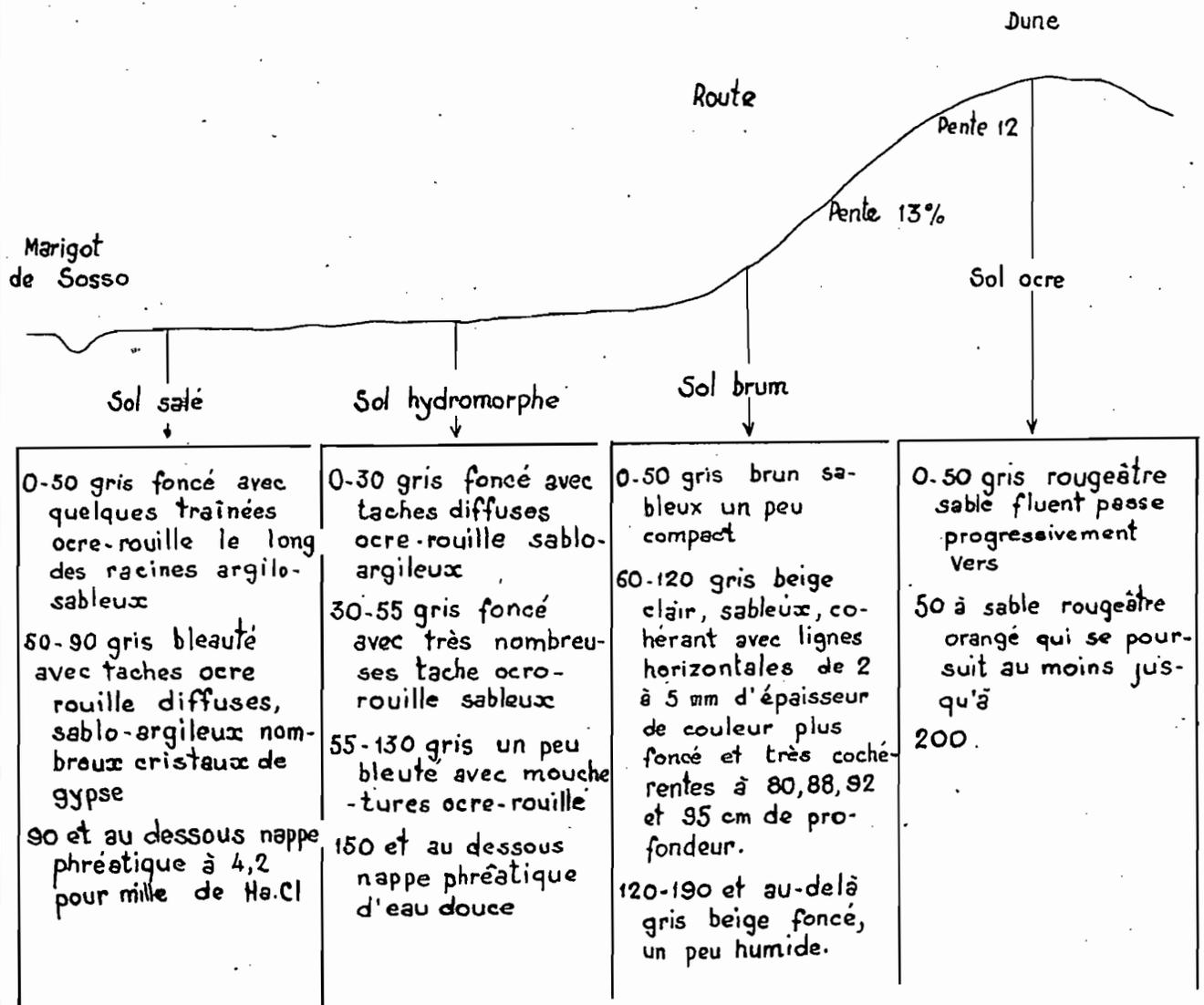


Fig. 9 - Chaîne de sols près du marigot de Sosso

Dune



Marigot
de
Khant



Balanites aegyptiaca
Boscia senegalensis
Combretum glutinosum
Guiera senegalensis
Gymnosporia Senegalensis

Acacia Senegal
Salvadora persica
Euphorbia balsamifera
Commiphora africana

Salsola tetrandra
Cressa cretica

Pas de végétation

"DIOR"

"TAK"

"N' DEGU KHOKHUM"

	NaCl%	pH		NaCl%	pH		NaCl%	pH
0 gris rou- geâtre, sa- bleux parti- culaire, passe 0 progressivement vers		6,5	0 sable fin gris clair 0,7 passe progres- sivement à	0,7	7	0-5 gris clair argileux, sec grossi- èrement prismatique	5,6	7,8
40 à horizon rouge ocre sableux, de venant plus clair vers 155 cm	0,6		45 sable blanc, passe ensuite vers	0,6	6	5-70 brun-beige argileux compact plas- tique	43,4	5,5
			75 à sable beige clair	0,6	6	70-80 gris acier avec traces ocre, très humide se désagrégant en polyèdres de 4,5 mm	41,4	5,5
			110 Sable ocre clair, ho- rizon for- tement durci	1,1	7,8	80-89 noir, un peu violacé toujours ar- gileux deur d'H ₂ S		
						90 niveau de la nappe		

Fig. 10 - Chaîne de sol près du marigot de Khant

Deuxième partie

LES SOLS

LES SOLS OCRES

Les SOLS OCRES appartiennent au sous-ordre des SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX, sols de la zone de la savane, caractérisés par une teneur en matière organique assez faible, essentiellement concentrée dans l'horizon supérieur et par l'individualisation des hydroxydes de fer. Ils se différencient des SOLS DIORS qui appartiennent à un même sous-ordre en ce qu'ils ne sont pas ou ne sont que très faiblement lessivés même en fer.

Morphologie

a) Sol ocre type

Dans la région étudiée, ils présentent le profil général suivant, assez voisin du SOL-OCRE type décrit au Soudan près de la ville de San.

De 0 à 20 cm, horizon gris-beige, ou gris-brun, ou gris-rougeâtre, lorsqu'il est sec, d'un gris plus foncé ou d'un rouge plus vif lorsqu'il est humide, très sableux, très perméable, dépourvu de calcaire, structure grumeleuse faible ou pas de structure le sable devenant même fluent lorsqu'il est remanié par le vent, passe graduellement vers

20 cm à un horizon beige-ocre ou beige-rougeâtre, toujours sableux et dépourvu de calcaire, sans structure, qui se prolonge à peu près jusqu'à

100 cm au dessous on trouve un sable gris clair, ou beige clair ou blanc.

b) Sol ocre lithochrome

Dans la zone des sables duraires continentaux dont la courbe granulométrique est plus étalée et montre deux maxima, la coloration du sable par les hydroxydes de fer peut être attribuable au type de matériau à partir duquel s'est développé le sol plutôt qu'aux conditions particulières de la formation du profil. EN effet quelques puits creusés jusqu'à 3 et 4 mètres n'ont montré que du sable rouge ce qui prouve que nous avons affaire à un sol lithochrome et non à l'horizon d'accumulation en fer d'un sol Dior érodé. Quant l'altitude est suffisante et le relief assez vif, le sable est rouge aussi bien dans les intervalles interdunaires qu'aux

.../...

sommets, et son épaisseur en est plus grande dans l'axe des formes en relief que dans celui des formes en creux. Il semblerait donc qu'un sable rouge soit venu par action éolienne se superposer à un sable plus clair. L'intensité de coloration de ce matériau et son évolution peu poussée ne permettent pas de discerner aisément une différenciation en horizons du profil. La couche de surface enrichie en matière organique est gris-rougeâtre, d'épaisseur très variable suivant la densité de la végétation ou le degré d'érosion, parfois même elle n'existe pas. Au dessous le sable est uniformément rouge ou rougeâtre orangé.

c) Sol ocre faiblement lessivé en fer.

Mais on peut encore observer un léger entraînement du fer qui se traduit beaucoup plus par l'existence d'un horizon d'accumulation de cet élément que par l'éclaircissement des horizons supérieurs. Les profils les plus caractéristiques à cet égard, montrent une forte analogie avec les sols DIORS. Prenons deux exemples :

Région mollement ondulée dans la forêt classée de Massara Foulane. Savane armée à Acacia Sénégal, Acacia Raddiana, Balanites aegyptiaca, Commiphora africana.

0 à 20 horizon gris, sableux, particulière
20 à 60 horizon gris-rougeâtre, sableux
60 à 150 horizon très rouge
150 à 180 et au dessous sable rougeâtre orangé.

A 42 kilomètres au NE de Saint-Louis, étendue faiblement mamelonnée à quelques mètres au dessus du niveau de la plaine inondable. Savane à Acacia Raddiana très dégradée par les cultures de mil.

0 à 15 horizon gris, sableux, sans structure mais peu cohérent
15 à 52 horizon gris-beige, id°
52 à 92 horizon beige-ocre, id°
92 à 155 et au delà, sable beige de plus en plus clair.

è Ainsi sous le même climat général, avec une texture, une position topographique, une végétation naturelle identiques, on observe côte à côte des sols lessivés en fer et d'autres qui ne le sont pas. Ceci indique combien facile doit être la migration des hydroxydes de fer et combien proche est le degré de parenté des SOLS OCRES et des SOLS DIORS.

d) Sol ocre peu évolué.

Entre la zone où s'étendent les SOLS OCRES typiques et le liseré

.../...

côtier des SOLS SABLEUX SQUELETTIQUES, les sols intermédiaires qui occupent la couverture sableuse sont des sols jeunes en cours d'évolution vers le type SOL OCRE. Ils sont pauvres en hydroxydes de fer et très pauvres en matière organique, très riches en sable siliceux blanc de sorte que leur couleur est pâle : gris clair à beige clair. S'ils sont de niveau assez bas pour être affectés par la nappe phréatique, l'action de celle-ci s'inscrit en profondeur mais non sur les horizons de surface. Le profil suivant observé près de Saint-Louis, sous savane arbustive très claire à Acacia Raddiana, Calotropis procera, Ipomoea pes-caprae en est un exemple :

0 à 25 gris-brun clair sableux, sans structure
25 à 60 gris-beige très clair, id°
60 à 80 sable blanc
80 à 120 sable blanc avec taches diffuses ocre-rouille
120 à 160 sable gris violacé avec quelques taches noirâtres
ou verdâtres, humide
100 nappe phréatique légèrement salée.

e) Sols ocres à horizons particuliers

En marge de la morphologie normale des SOLS OCRES, l'existence sur certains profils d'horizons particuliers est attribuable à l'action de l'homme : une anomalie courante est le tas d'ordures enterré qui le plus souvent, lorsqu'il contient des débris d'instruments est facilement identifié, mais qui dans d'autres cas, pourrait prêter à confusion avec un horizon de signification génétique. Les tas d'ordures marquent l'emplacement d'anciens villages ; ils ont une extension latérale qui peut atteindre une centaine de mètres.

Texture

Dans la région étudiée on ne trouve des sols ocres que sur les sables dunaires. La majorité des particules sableuses a une taille comprise entre 0,17 et 0,25 mm. Si l'on adopte l'échelle d'Atterberg qui classe les sables en deux fractions seulement, en établissant la coupure à 0,2 mm, on fait apparaître de fortes différences de composition granulométrique entre des échantillons très semblables. Au contraire l'échelle américaine qui ne s'accorde pas tout à fait avec le système international, a l'avantage d'apporter des séparations plus nombreuses et permet de donner une définition, à la fois générale et précise, des sables de la région qui se caractérisent alors par :

l'absence de sable très grossier (2,0 à 1,0 mm)
une teneur nulle à faible de sable grossier (1,0 à 0,5 mm)
une teneur faible à moyenne de sable moyen (0,5 à 0,25 mm)
une teneur très forte de sable fin (0,25 à 0,10 mm)
une teneur nulle à moyenne de sable très fin (0,10 à 0,05 mm)

Ces sables sont très pauvres en éléments fins ; ils renferment environ 1% de limon et 3% d'argile. Ces teneurs sont assez constantes.

Structure

Au cours de la description des profils, quelques indications ont déjà été données sur la structure. Mais il est bon d'insister sur l'absence presque totale de matériau liant qui ne permet pas la formation de particules composées à partir de grains individuels. Des oxydes de fer, quoique abondante, sont bien répartis autour de chaque grains, mais ne jouent pas le rôle de ciment.

Cependant dans les cas les plus favorables, on peut observer une structure grumeleuse faible sur les premiers décimètres supérieurs du sol ; les fines radicelles des plantes herbacées, qui assurent une liaison mécanique, paraissent avoir un rôle essentiel, aussi les agrégats sont peu nets et peu stables et disparaissent quelques temps après la destruction du tapis végétal.

Réaction du sol et teneur en carbonates

La plupart des SOLS OCRES sont légèrement acides (pH compris entre 6,1 et 6,5) ou neutre (pH compris entre 6,6 et 7,3). Les interdunes, un peu plus riches en végétation et en matière organique, sont un peu plus acides que les sommets. Par exemple :

	interdune	dune
Bilbafi	6,3	6,4
id°	6,2	6,4
Tound Nguinor	6,7	7,5

Exceptionnellement le pH reflète un état de saturation particulièrement bas. Exemple Massara Foulane

de 0 à 10	pH = 6,2
de 35 à 45	pH = 5,9
de 100 à 110	pH = 4,8
de 170 à 180	pH = 4,8

Les variations de pH sur un même profil sont beaucoup plus faibles et peuvent jouer dans un sens ou dans l'autre.

La recherche des carbonates alcalino-terreux au moyen d'acide chlorhydrique a toujours donné des résultats négatifs même si on utilise la méthode d'André.

Matière organique

Le taux de matière organique a été déterminé par deux méthodes : à partir de la perte au feu et à partir de la teneur en carbone. Les coefficients utilisés sont ceux qui sont en usage dans les régions tempérées:

$$\text{Matière organique} = \text{Perte au feu} - \text{Eau combinée}$$

(Eau combinée = 10% de l'argile)

$$\text{Matière organique} = \text{carbone} \times 1,72$$

(Dosage de C par oxydation sulfo-chromique)

Les résultats obtenus par la deuxième méthode sont toujours inférieurs à ceux donnés par la calcination :

Matière organique % de terre sèche	par calcination	par oxydation sulfo-chromique					
	0,51	0,39	0,54	0,49	0,41	0,24	
	0,42	0,33	0,42	0,41	0,32	0,20	

La teneur moyenne en matière organique est donc très faible. Elle peut même s'abaisser à 0,14% dans les sols érodés. Par contre, dans les inter-unes où la végétation est plus abondante, le taux s'améliore sensiblement. Le maximum relevé est de 1,1% pour un sol qui est en même temps plus riche en éléments fins (argile = 5,5%, limon = 4,0%).

Tous ces chiffres se rapportent à des horizons supérieurs épais d'environ 20 cm. Il est intéressant d'envisager aussi la répartition verticale de la matière organique sur le profil. A cet égard, les résultats analytiques corroborent parfaitement l'impression qui se dégage du simple examen du profil : le taux s'abaisse rapidement à faible profondeur ; par contre la teneur en acide humique décroît plus lentement :

	Mat. org. % (1)	Ac. humique P.mille (2)
de 0 à 16 cm	0,27	0,47
vers 35 cm	0,12	0,35
vers 100 cm	tr.	0,26
vers 180 cm	tr.	0,28
de 0 à 20 cm	0,24	0,55
vers 50 cm	0,10	0,30
vers 180 cm	tr.	0,24

.../...

On peut juger de l'état d'évolution de la matière organique par la valeur du rapport C/N. Pour la région ce rapport caractérise bien chaque type génétique de sol. Ainsi dans les SOLS OCRES il est faible, voisin de 7 à 8 pour les horizons supérieurs, il peut même s'abaisser à 5 dans les horizons profonds.

	C%	N P.mille	C/N
de 0 à 16 cm	0,16	0,20	8
vers 35 cm	0,07	0,09	7,7
vers 100 cm	0,05	0,10	5
de 0 à 20 cm	0,14	0,21	6,6
vers 50 cm	0,06	0,09	6,6
vers 180 cm	0,05	0,09	5,5

Végétation

Ces sols supportent une savane arborée souvent très claire ; Acacia Raddiana est l'espèce la plus répandue ; viennent ensuite Acacia Senegal et Balanites aegyptiaca, Adansonia digitata et Tamarindus indica sont rares, à tel point qu'ils ont été signalés sur les cartes anciennes pour servir de point de repère. La strate arbustive comporte Boscia senegalensis, Commiphora africana, Gymnosporia senegalensis, Bauhinia rufescens, Euphorbia balsamifera. En maints endroits c'est Cenchrus biflorus qui domine dans la strate herbacée et prend le pas sur les graminées étiolées du groupement à Acacia Raddiana : Schoenefeldia gracilis et Chloris Prieurii.

(1) -- calculé à partir du taux de carbone

(2) -- dosé par la méthode Chaminade -- Cette méthode ne dose que certaines formes d'humus, ce qui explique, en partie, la faiblesse des chiffres obtenus.

LES SOLS BRUNS SUBARIDES

Les SOLS BRUNS SUBARIDES se caractérisent morphologiquement par un profil assez homogène de couleur brune ou grise. L'accumulation sur une assez grande profondeur d'une matière organique bien décomposée est le facteur essentiel de leur formation.

Leur extension est très faible dans cette région et leur localisation, au bas des pentes, dans certaines dépressions interdunaires, sur

les sables coquilliers, ne peut être fortuite ; elle dépend étroitement de la position topographique et de la roche mère.

La présence de calcaire dans le sol introduit un élément de classification et permet de distinguer :

Les SOLS BRUNS SUBARIDES CALCAIRES et
Les SOLS BRUNS SUBARIDES NON CALCAIRES.

Les premiers ont une individualité typologique beaucoup plus forte les seconds se raccordent progressivement aux SOLS OCRES.

Les sols bruns subarides calcaires

Un très bel exemple est fourni par le profil observé à 25 kilomètres de Saint-Louis sur la route de Rosso :

- 0 à 110 cm horizon d'accumulation de matière organique, gris-brun, très finement sableux, structure grumeleuse ; la terre fine fait effervescence avec l'acide chlorhydrique dilué, d'autant plus fortement que l'essai est effectué à plus grande profondeur.
- 110 à 200 cm horizon d'accumulation du carbonate de calcium qui apparaît en passées blanches surtout entre 100 et 150 cm dans un sable gris-beige ; tout l'horizon est compact et un peu durci et réagit très fortement avec l'acide.
- 200 cm et au dessous, sable gris-clair un peu calcaire.

	pH	CO ₃ Ca%	C %	N%	C/N	Mat.org. %
de 0 à 20	6,8	0,3	0,3	0,28	10,7	0,51
vers 100	7,0	0,7	0,15	0,15	10	0,26
vers 125	8,0	3,9	0,11	0,11	10	0,19
vers 175	7,9	2,0	0,08	0,08	10	0,14

Ce sol est donc légèrement décalcarifié en surface. L'enrichissement en carbonate de calcium dans l'horizon d'accumulation s'effectue sous forme diffuse et durcit tout l'horizon.

Ces SOLS BRUNS SUBARIDES présentent donc à cet égard une différence avec les SOLS HYDROMORPHES qui leur succèdent sur la pente, puisque chez ces derniers l'accumulation a lieu plutôt isolément sous forme de nodules. Entre les deux types il existe évidemment un intermédiaire chez lequel l'accumulation calcaire se fait sous les deux formes et qui ne présente qu'à un faible degré et à une grande profondeur, le bariolage caractéristique des SOLS HYDROMORPHES. Citons comme exemple de ces sols de transition le profil suivant :

- 0 à 50 cm horizon gris foncé, finement sableux-limoneux, un peu tassé, ne fait pas effervescence avec HCl.
- 50 à 95 horizon gris avec passées blanchâtres calcaires et petits nodules plus ou moins durs, de forme arrondie souvent cylindrique.
- 95 à 125 cm sable gris-beige, un peu calcaire.
- 125 à 160 cm sable blanc avec de très nombreuses et fines traînées diffuses grises, plutôt horizontales.
- 160 et au dessous, sable blanc avec quelques taches noires très diffuses et quelques taches ocre-jaune de 1 à 2 cm dans leur plus grande dimension.

A mesure qu'on s'approche du liseré oâtier, les SOLS BRUNS sont de plus en plus jeunes : ils sont moins profonds, le calcaire n'est pas intimement lié à la terre fine, mais apparaît sous forme de débris de coquilles.

Ainsi à 6 kilomètres de Saint-Louis, près du camp d'aviation le profil est le suivant :

- 0 à 40 cm horizon gris, sableux, sans structure
- 40 à 90 horizon gris-beige très clair, sableux sans structure avec nombreux débris de coquillages.
- 90 et au dessous, sable blanc coquillier

	pH	CO ₃ Ca%	Mat.org.%	C%	N%	C/N
de 0 à 20	8	0	0,36	0,21	0,22	9,5
vers 65	8,2	0,4	0,08	0,05	0,06	8,3
vers 100	8,8	2,0	0,10	0,06	0,07	8,6

Ici, la valeur élevée du pH en profondeur, fait soupçonner la présence de sodium échangeable. L'hypothèse est plausible étant donné la proximité de terrains salés, à une côte à peine inférieure.

Sur certains amas artificiels de coquillages, la formation d'un sol est possible à partir des matériaux provenant de la décomposition des coquillages et de ceux apportés par le vent. Le long du marigot de Khant où ces amas sont nombreux, un des profils les plus évolués qu'il est possible d'observer se présente de la façon suivante :

- 0 à 24 horizon brun, finement sableux, à structure nuciforme ne fait pas effervescence avec HCl en dehors des petits débris de coquillages qu'il comporte.

.../...

- 24 à 75 horizon brun-jaunâtre, sablo-limoneux, forte effervescence avec HCl, quelques débris de coquilles.
- 75 à 110 jaunâtre, finement sableux, avec nombreux débris de coquillages et coquilles peu altérées d'Arca senilis
- 110 et au dessous, amas de coquillages.

Les sols bruns subarides non calcaires

Outre l'absence de calcaire, ils se différencient des précédents par une tendance moins nette à présenter des agrégats arrondis dans l'horizon supérieur ; parfois même la structure est un peu compacte. Morphologiquement, on peut distinguer ceux dont le profil est homogène et ceux qui ont en profondeur des lignes d'accumulation ; ces derniers paraissent tout à fait analogues à ceux déjà décrits par J. Dubois dans une autre région (cf. Esquisse des différents types de sols de la moitié sud du Sénégal).

Profil homogène :

- 0 à 50 cm horizon gris, finement sableux, structure à tendance grumeleuse.
- 50 à 110 cm horizon beige clair, finement sableux, sans structure.
- 110 et au dessous, sable blanc.

Résultats analytiques correspondants :

	pH	CO ₃ Ca %	Mat.org.%	Ac.hum.%	C %	N%	C/N
0 à 20	6,5	0	0,34	0,65	0,20	0,20	10
vers 75	6,5	0	0,07	0,38	0,04	0,07	5,7
vers 140	6,4	0	0,03	0,30	0,02	0,03	6,6

Sels à lignes d'accumulation :

- 0 à 60 cm gris-brun, sableux, un peu compact
- 60 à 120 cm gris-beige clair, sableux, avec lignes horizontales de 2 à 5 mm d'épaisseur, de couleur plus foncée et très cohérentes à 80, 88, 92, 95 cm de profondeur.
- 120 et au dessous, sable gris-beige.

	pH	CO ₃ Ca %	Mat.org.%	Ac.hum.%	C %	N%	C/N
0 à 20	7,3	0	0,28	0,43	0,16	0,16	10
vers 90	7,2	0	0,09	0,24	0,05	0,07	7,1
vers 140	8	tr.	0,09	0,28	0,05	0,07	7,1

Bases échangeables en milliéquivalents pour 100 gr.

CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
1,8	0,65	0,29	0,33

Comme les SOLS OCRES précédemment décrits, ces SOLS BRUNS sont pauvres en argile et manquent par conséquent de pouvoir absorbant ; comme eux ils sont pauvres en matière organique, mais ce défaut est un peu corrigé par la bonne répartition de cet élément.

Ici encore le rapport C/N est assez constant, mais plus élevé ; sa valeur voisine de 10 est celle de la plupart des sols de culture des régions tempérées et correspond aux conditions optima d'humidification et de nitrification.

La végétation des SOLS BRUNS est identique à celle des SOLS OCRES si l'on s'en tient à la notion de dominance. C'est toujours la savane armée, peut-être un peu moins claire, à *Acacia Raddiana*, *Acacia Senegal*, *Balanites aegyptiaca*, avec le même cortège d'arbustes, d'arbrisseaux et d'herbacées. L'analyse statistique de relevés floristiques nombreux et complets pourrait seule faire apparaître des différences.

LES SOLS HYDROMORPHES

Définition

Le développement des SOLS HYDROMORPHES est dominé par les effets de l'humidité excessive qui règne sur la totalité ou sur une partie du profil pendant un temps plus ou moins long.

Dans un sol gorgé d'eau, le renouvellement de l'oxygène à partir de l'atmosphère n'étant plus suffisant, les microorganismes qui décomposent la matière organique, en empruntent à tous les éléments susceptibles de prendre une forme réduite.

L'abaissement de valence pour le fer et le manganèse accroît considérablement leur solubilité et par conséquent facilite leur migration. Lorsque le sol s'assèche et devient à nouveau plus aéré, les solutions 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 dissimulés ; il en résulte pour ces éléments une répartition en taches ou en traînées qui donne à certains horizons un aspect bigarré très caractéristique.

A côté des dépôts de fer et de manganèse, on peut rencontrer aussi, mais plus rarement, des taches ~~noir-bleuté~~ de sulfure de fer provenant de la réduction des sulfates ; au contact de l'air, il s'oxyde en sulfate de fer de couleur ~~verdâtre~~ ou donne des composés ferriques jaune-brun. L'humus peut aussi être présent sous forme de taches noirâtres.

L'alternance de conditions réductrices oxydantes a lieu que l'eau soit douce ou qu'elle soit salée. Aussi SOLS SALINS et SOLS HYDROMORPHES présentent-ils beaucoup de caractères semblables et pour les distinguer l'analyse est souvent indispensable. On rangera parmi les SOLS HYDROMORPHES ceux dont la teneur en sels exprimée en NaCl ne dépasse pas un pour mille sur un mètre d'épaisseur. En effet, jusqu'à ce taux, la végétation naturelle ne comporte que très peu ou pas d'halophytes et la plupart des plantes cultivées ne souffrent pas.

Morphologie

Un profil de sol hydromorphe est souvent teinté de couleurs vives et variées. On peut attribuer :

- à l'accumulation de matière organique les gris, bruns et noirs de l'horizon de surface ;

- à l'accumulation d'éléments précipités les ocres rouille, rouges briques ou rouges violacés, jaunes, jaunes bruns, noirs, noirs violacés ;

- aux couches de réduction intense les gris et les noirs, bleutés ou verdâtres.

La position dans le profil de l'horizon où dominent les phénomènes réducteurs est variable suivant que l'excès d'eau a pour cause la présence d'une nappe phréatique en profondeur ou la submersion du terrain. De sorte qu'on peut distinguer les sols soumis à l'influence prépondérante de la nappe phréatique des sols soumis à l'influence prépondérante de la submersion. Dans ce dernier cas, la décomposition de la matière organique est moindre.

a) Sols soumis à l'influence prépondérante de la nappe phréatique

Le profil décrit ci-dessous a l'avantage de présenter avec une bonne homogénéité de texture, une grande variété d'horizons définis par leur couleur ;

- Près du village de Tilène, zone plate exceptionnellement atteinte par la crue. Végétation : quelques Balanites aegyptiaca au milieu de cultures de mil :

- 0 à 50 cm horizon gris-beige, sableux un peu argileux, quelques fentes de dessiccation verticales et au plus quelques mm de large, structure à tendance nuciforme.
- 50 à 90 cm horizon beige moucheté de jaune avec quelques passées rouges sableux.
- 90 à 110 cm horizon rouge avec quelques passées jaunes, sableux.
- 110 à 130 cm horizon jaune avec quelques passées rouges, sableux.
- 130 à 150 cm gris mêlé de jaune, sableux
- 150 à 160 cm et au delà gris bleuté avec traînées noir-violacé, sableux
- 160 cm niveau de la nappe phréatique le 15/2/52 ; l'eau de la nappe renferme 1 pour mille de NaCl et a un pH égal à 5,4.

A la nappe phréatique on doit aussi attribuer la formation de nodules ou de granules calcaires, par concentration et évaporation en certains points de solutions qui se sont enrichies sur un vaste périmètre. Entre les nodules, le sol ne fait généralement pas effervescence avec HCl dilué. Ex.:

- Près de Ngolol; terrain colonisé par Indigofera oblongifolia et nombreuses herbacées :

- 0 à 25 cm horizon gris-brun, sablo-argileux, un peu compact, non calcaire.
- 25 à 50 cm horizon gris-beige avec petites taches ocre, sablo-argileux,
- 50 à 90 cm sable beige-ocre avec nombreuses taches ocre et nodules calcaires.
- 90 à 140 cm sable ocre nodules calcaires.

b) Sols soumis à l'influence prépondérante de la submersion.

Le meilleur exemple que l'on puisse donner est fourni par les nombreuses cuvettes argileuses qui restent pendant les trois quarts de l'année submergées sous une faible hauteur d'eau :

- Dépression marécageuse à Cypéracées près du marigot de Sesse :

- 0 à 40 cm horizon brun foncé avec traînées ocre-rouille, argilo-limoneux, structure polyédrique.

- 40 à 60 cm horizon gris-noir avec très nombreuses taches rouge vif occupant les trois quarts de l'horizon, argileux, humide, plastique, riche en gypse en gros cristaux prismatiques de 2 à 3 cm de long.
- 60 à 130 cm horizon gris-bleuté avec assez nombreuses taches ocre, jaune, rouge vif, assez grandes (2 à 3 cm de diamètre).

- A proximité d'une mare d'hivernage, entre les dunes des environs de Barigo, un profil d'un genre assez particulier a été observé : il ne présente pas de zone d'accumulation d'hydroxydes de fer et l'horizon supérieur est probablement dû au colluvionnement.

- 0 à 30 cm horizon brun foncé, limono-argileux, à tendance polyédrique
- 30 à 70 cm horizon noir, argilo-limoneux, compact, humide.
- 70 à 110 cm sable blanc à taches noires de sulfure de fer.

Pour les exemples précédemment décrits, la connaissance des conditions locales (présence d'une nappe phréatique à faible profondeur, ou submersion pendant une longue partie de l'année) permet de supposer que la migration des éléments en solution a lieu par ascensum dans le premier cas, par descensum dans le second. Pour les sols de nappe, la frange capillaire qui se maintient au-dessous du niveau d'eau et qui accompagne ses fluctuations est une zone d'évaporation, de concentration et d'oxydation ; aussi, bien que l'accumulation ne présente pas une répartition uniforme, elle a lieu dans un horizon bien déterminé. Par contre dans les sols inondés il n'y a pas un horizon d'accumulation dont la place est fixe sur le profil, mais des zones très limitées qui correspondent à des lieux privilégiés pour l'oxydation ; on peut observer de l'oxyde de fer précipité :

- 1°) sur les parois des cavités radiculaires
- 2°) autour des prismes qui se forment dans les sols lourds fissurés
- 3°) dans les zones de grande macroporosité lorsqu'il existe, côte à côte des sédiments de granulométrie très différente ; le cas le plus net est celui des " nids de sable ".

c) Sols soumis à l'influence de la nappe et de la submersion

La plupart des SOLS HYDRMORPHES de cette région sont d'ailleurs soumis à la fois à l'action de la nappe et à celle de l'inondation. Pendant la période de submersion, la disposition assez générale des couches, argile imperméable en surface, sable en profondeur, permet l'existence d'un horizon relativement aéré entre deux horizons réduits. C'est dans cet horizon qu'à lieu surtout l'accumulation ferrugineuse. Exemple :

- Près de Ross, plaine inondable ; végétation : Acacia scorpioides, Indigofera oblongifolia, Vetiveria nigritana, Cypéracées nombreuses.

- 0 à 30 cm horizon noir, argilo-limoneux, humide, sillonné de nombreuses racines
- 30 à 100 cm sable gris avec nombreuses taches rouges et quelques taches noires
- 100 cm niveau de la nappe ; au dessous, sable gris-bleuté.

Il est parfois possible de distinguer deux zones d'accumulation, l'une près de l'horizon humifère de surface, l'autre près de l'horizon de gley. On peut alors discriminer sur le profil la part d'influence qui revient à chacun des deux facteurs : submersion et nappe. Exemple :

- Au pied de Tound ou Maraye, début de la plaine inondable ; végétation : Vetiveria nigritana.

- 0 à 15 cm horizon gris, humifère, sableux un peu mêlé d'éléments fins, traînés ferrugineux ocre-rouille.
- 15 à 45 cm horizon gris-noir à larges taches ferrugineuses ocre-rouille finement sableux-argileux.
- 45 à 70 cm blanc-grisâtre, sableux.
- 70 à 150 cm blanc-grisâtre avec taches ferrugineuses ocre-rouille
- 150 cm niveau de la nappe.

	pH	Argile	Analyse mécanique			Anions		Matière organique
			Limon	Sable fin	Sab. gros	Cl%	SO ₄ %	
0-15	6	10	6,7	75,3	8,0	0	1,4	2,0
15-45	6	26,5	5,7	61,8	6,0	0	0,8	
45-70	7	0,5	0,5	92,0	7,0	0	0,5	

; Mais cette explication n'est pas valable pour des sols qui ne sont jamais inondés et qui présentent cependant deux horizons distincts d'accumulation. C'est le cas du profil suivant pour lequel on peut attribuer l'influence de la nappe à deux niveaux différents, à deux périodes différentes pendant l'inondation, pendant la saison sèche.

- Près de Dialam, dans un verger de manguiers, goyaviers, citronniers

- 0 à 5 cm horizon gris clair, sableux, particulaire
- 5 à 14 cm horizon de passage, gris à passées ocre-rouille
- 14 à 80 cm horizon ocre-rouille, sableux
- 80 à 130 cm beige clair, sableux
- 130 à 170 cm ocre-jaune avec très rares taches rouge vif, sableux
- 170 à 200 cm sable blanc un peu bleuté, avec taches noires, très humides.

Enfin lorsque l'évaporation est très intense, c'est dans l'horizon de surface que se trouve le maximum d'accumulation ferrugineuse. Ceci est d'ailleurs beaucoup plus fréquent pour les SOLS SALINS que pour les SOLS HYDROMORPHES. Ce qui s'explique aisément : dans une région où les eaux

souterraines sont toujours plus ou moins chargées de sels, les zones de forte évaporation sont des zones de concentration pour ces éléments. On peut citer comme exemple le profil suivant qui, en raison de sa faible salinité, correspond encore à la définition des SOLS HYDROMORPHES.

- Kilomètres 43 - 44 de la route de Saint-Louis à Rosso, étendue plane couverte de Bérreria verticillata

0 à 17 cm horizon rouge-brun foncé, humide argileux
17 à 50 cm sable blanc avec taches ocre-rouille et quelques taches rouges.

d) Formation spéciales dans le profil

Les particularités décrites ci-dessous n'apparaissent que sporadiquement et aussi bien dans les SOLS SALINS que dans les SOLS HYDROMORPHES, de sorte que dans cette région, elles ne peuvent avoir qu'un intérêt secondaire pour la classification.

Horizons durcis

Ce sont des horizons cimentés par des oxydes de fer. Ils ne sont pas assez durs pour résister à la pioche mais il est impossible d'en briser les morceaux avec les doigts ; soumis à l'humidité prolongée ils s'amolissent. Latéralement, ils passent progressivement à des horizons toujours riches en fer, mais non durcis, Exemple :

0 à 25 cm gris, sableux, particulière
25 à 55 cm sable gris clair
55 à 120 cm ocre-rouille, très durcu par endroits, sableux
120 à 160 cm sable beige avec quelques taches ocre clair, larges mal délimitées.

Concrétions

Les concrétions ferrugineuses et ferro-manganifères sont rares en comparaison des taches de même nature. Pourtant les taches rouges auréolées d'ocre-rouille semblent avoir pour le durcissement une tendance marquée : remontées en surface et abandonnées sur place, un peu plus tard, elles se différencient bien par leur consistance des autres matériaux du remblai. Par contre, beaucoup de taches jaunes, sinon toutes, deviennent après dessiccation friables et pulvérulentes.

Il est souvent difficile de savoir si les concrétions se sont formées sur place ou si elles ont été transportées et remaniées en même temps que les sédiments. Dans le cas cité ci-dessous, la formation en place est peu douteuse et paraît analogue à la formation de ce qu'on appelle parfois

" latérite de galerie " (précipitation et concrétionnement, à proximité des berges, du fer réduit loin de là et amené avec les eaux du collecteur naturel). Ce sol est encore exceptionnel par le fait qu'il supporte seulement des halophytes, alors qu'il est fort peu salé.

- Berge sud du marigot de Djeuss en amont du confluent avec le marigot de Dieg ; végétation : Tamarix senegalensis, Frankenia pulverulenta, Salsola tetrandra.

0 à 25 cm	horizon beige-ocre clair, finement sablonneux, renfermant 0,6 pour mille de NaCl
25 à 40 cm	sable fin gris clair, NaCl = traces
40 à 140 cm	sable ocre-rouille avec de 60 à 100 cm niveau de concrétionnement : grosses concrétions de 10 à 30 cm de diamètre, de couleur rouge à ocre-rouille; très sableuses, formant un niveau presque continu ; au dessous taches noires ; NaCl = 2,4 pour mille.

Nodules calcaires

Contrairement au fer et au manganèse, le calcaire apparaît presque toujours dans les SOLS HYDROMORPHES et SALINS du bas " delta " sous forme concrétionnée. Parfois la source du carbonate de calcium est très voisine du nodule, il arrive même qu'à l'intérieur de ce dernier des débris de coquilles soient reconnaissables. Les nodules sont irréguliers, allongés, mamelonnés, formés de couches concentriques de ciment calcaire agglomérant de nombreux grains de sable. D'autres qu'on trouve plus rarement, sont rigoureusement cylindriques, de 4 à 6 mm de diamètre sur 1 cm de longueur.

Horizons gypseux

Les accumulations de sulfate de calcium sous forme de lits de cristaux sont assez fréquents dans les horizons profonds. Les cristaux ont la forme de prismes, de roses de sable, de lentilles. Si dans quelques cas, le gypse paraît être mobile, parce qu'il participe soit aux phénomènes de réduction et d'oxydation soit à ceux de dissolution et de cristallisation, il semble le plus souvent inerte et on peut le considérer comme un simple niveau géologique d'origine lagunaire.

Caractères chimiques

Au point de vue analytique, les SOLS HYDROMORPHES semblent se différencier des SOLS OCRES et des SOLS BRUNS SUBARIDES par l'augmentation des taux de matière organique et de fer libre.

La teneur en matière organique, de l'ordre de 1 à 3% serait assez satisfaisante mais surtout lorsqu'elle est abondante, c'est une matière organique mal décomposée (rapport C/N voisin de 14) dont la fraction humifiée n'est pas plus abondante que dans les SOLS OCRES (0,2 à 0,6 pour mille d'acide humique).

Le fer libre paraît plus abondant que dans les sols bien drainés, mais ceci constitue une conclusion provisoire, faute d'un nombre suffisant d'analyse.

En raison de leur texture extrêmement variable et de leur position entre les SOLS BRUNS et les SOLS SALINS, on peut s'attendre à d'assez grandes variations dans la richesse en bases nutritives et dans la répartition de ces bases dans le complexe absorbant. Voici à titre indicatif les données relatives à deux sols, l'un supportant une végétation d'Acacia scorpioides et d'Indigofera oblongifolia, l'autre de Vetiveria nigritana :

a) Acacia scorpioides et Indigofera (Région de Tilène)

Analyse mécanique

	Argile	Limon	Sab. fin	Sab. gros
0 à 5 cm gris, lamellaire	23	15,7	60,9	0,4
5 à 25 cm gris-noir à taches ocre	38,7	9,0	51,9	0,4
25 à 50 cm ocre	22,5	5,7	70,3	1,5
50 à 80 cm blanc à taches ocre	0,5	0,2	98,6	0,7

Echantillon de 0 à 25

Matière organique

Bases échangeables Meq.% gr.

pH	totale %	C%	N%	C/N	Ac.hum.%	CaO	MgO	K ² O	Na ² O
5,9	1,5	8,7	0,66	13,2	0,5	4,2	7,1	0,49	0,20

b) Vetiveria nigritana (à proximité du marigot de Sosso)

Analyse mécanique

	Argile	Limon	Sab. fin	Sab. gros	pH
0 à 30 cm gris foncé	14,2	4,8	78,7	2,3	6,3
30 à 55 cm gris à taches ocre	10,4	4,5	82,5	2,6	6,3
35 à 130 cm gris un peu bleuté	1,2	0,3	95,6	2,9	6,5

Echantillon de 0 à 30 cm

Matière organique

Bases échangeables Meq.% gr.

totale %	C%	N%	C/N	Ac.hum.%	CaO	MgO	K ² O	Na ² O
0,83	4,8	0,34	14	0,28	2,84	2,23	0,51	0,41

.../...

Végétation

Les SOLS HYDROMORPHES seulement influencés par la nappe phréatique, portent encore, s'ils sont très sableux, la savane armée à Acacia Raddiana. En terrain un peu plus lourd mais encore relativement sec, c'est Indigofera oblongifolia ou une Rubiacées : Borreria verticillata qui peuvent dominer. Enfin dans les stations plus humides, Acacia scorpioides et Myragyna inerms, s'élèvent au dessus de vastes peuplements d'une graminée vivace : Vetiveria nigritana et ceinturent les cuvettes où prospère une héliophyte ≠ Oryza Barthii. Dans les dépressions marécageuses les Cypéracées sont nombreuses.

LES SOLS SALES

Définition et terminologie

Les SOLS SALES diffèrent des sols normaux parce qu'ils contiennent ou ont contenu un excès de sels solubles et que pour leur mise en valeur ils exigent des aménagements et des traitements spéciaux.

Les effets nuisibles de l'excès de sels solubles se traduisent d'abord par un rôle direct sur la croissance des plantes : le principal facteur de dépression est l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol qui réduit le taux d'absorption d'eau par les racines ; les ions ont aussi un effet spécifique : à pression osmotique égale, les chlorures paraissent généralement plus toxiques que les sulfates, excepté pour la luzerne et le coton, le chlorure de magnésium plus toxique que le chlorure de sodium. La proportion des différents ions en présence a aussi une importance ; ainsi, Miyake a trouvé que les sels de potassium, de magnésium ou de calcium sont toxiques pour le riz lorsqu'ils sont utilisés séparément, mais que, lorsqu'ils sont mêlés en proportion convenable, l'effet toxique disparaît plus ou moins complètement.

Dans le cas très général où le constituant soluble comporte une forte proportion de sodium, l'excès de sel s'inscrit sur le sol par l'accroissement du taux de sodium, échangeable dans le complexe absorbant, il en résulte une structure physique défavorable qui réduit la perméabilité du sol à l'eau, parfois un pH élevé qui a pour conséquence l'inassimilabilité d'éléments essentiels.

A ceux deux effets principaux se rapportent les termes de SOL SALIN et de SOL à ALCALI, le premier désignant l'excès de sel, tandis que le second désigne l'excès de sodium échangeable. Un sol à ALCALI peut renfermer une forte proportion de sels solubles ; il est alors appelé SOL SALIN à ALCALI ou bien les sels solubles peuvent avoir été éliminés par lessivage, c'est alors un SOL NON SALIN à ALCALI.

Morphologie

Dans le " delta " du Sénégal, les SOLS SALES ont comme caractère commun avec les SOLS HYDROMORPHES, les taches, les bigarrures, les formations spéciales du profil telles qu'elles ont été décrites dans le chapitre précédent. La roche mère est constituée de couches minces et effilées de sable et d'argile superposées et peu étendues, comme il en existe partout où un cours d'eau s'étend en éventail ou serpente à travers une plaine. Cette particularité stratigraphique entraîne une grande variété des conditions de salinisation et se traduit par de très grandes variations dans les caractères de ces sols.

Aspect des SOLS SALES en surface

Au premier coup d'oeil, on est frappé par la distribution excessivement complexe et le macro-relief prononcé qui se développe sous l'effet de l'érosion différentielle : les SOLS SALES présentent une surface inégale, une succession de petites étendues, les unes déprimées, d'autres bosselées, d'autres planes et lisses avec des touffes de végétation éparses ou groupées. Après le retrait des eaux superficielles, la masse boueuse se dessèche, très irrégulièrement même sur les surfaces rigoureusement planes, et l'on voit une multitude de taches sèches au milieu d'étendues humides, puis des taches humides dans des étendues sèches. Les parties humides correspondant aux points où la concentration saline est particulièrement élevée, on peut donner comme explication à cette observation qu'une solution fortement concentrée, en raison de sa tension de vapeur plus basse, s'évapore plus lentement qu'une solution diluée.

L'évaporation laisse à la surface une croûte de sels qui brille au soleil, mais elle disparaît assez rapidement, détruite par le vent, de sorte que si la présence visible de sels permet de diagnostiquer à coup sûr un SOL SALIN, leur absence apparente ne permet pas d'en écarter l'éventualité. Le goût, salé ou amer, des efflorescences permet de savoir si c'est ou non le chlorure de sodium qui domine. On pourrait confondre à première vue, les croûtes salines avec certains dépôts blanchâtres de nature organique assez communs dans les sols inondés.

En de rares endroits, d'importants dégagements de gaz dus aux fermentations anaérobies soulèvent une mince couche de quelques millimètres d'épaisseur, très plastique et imperméable et donne naissance à de petits hémisphères de quelques centimètres de diamètre ; ceux dont la paroi est percée ont l'aspect de petits ballons dégonflés, d'autres plus petits et groupés donnent à la surface un aspect boursoufflé.

Structure

Comme les SOLS SALES du " delta " sont, soit des SOLS SALINS, soit
.../...

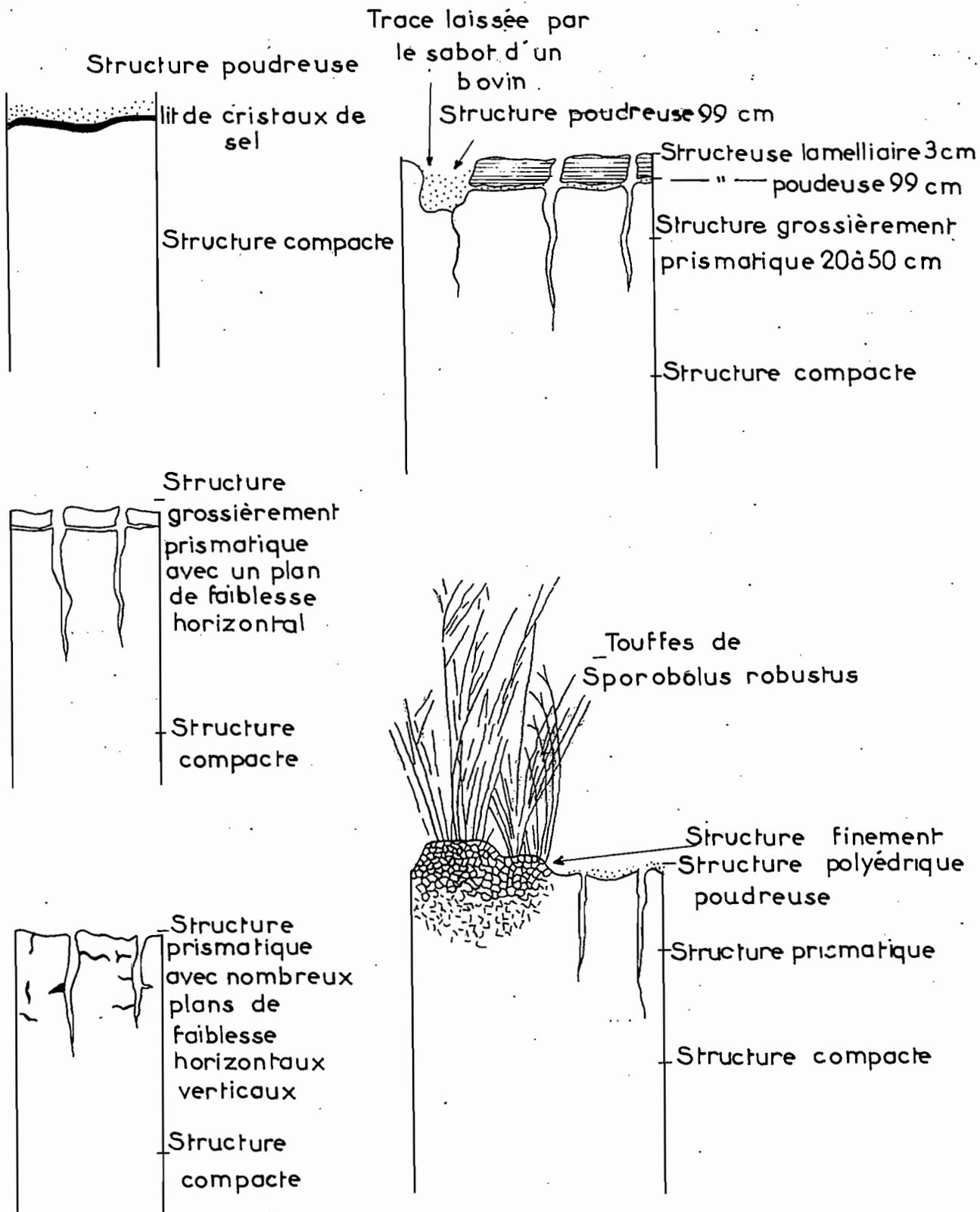


Fig.11.- Quelques structures fréquentes dans les sols salés.

Nombre de
cas

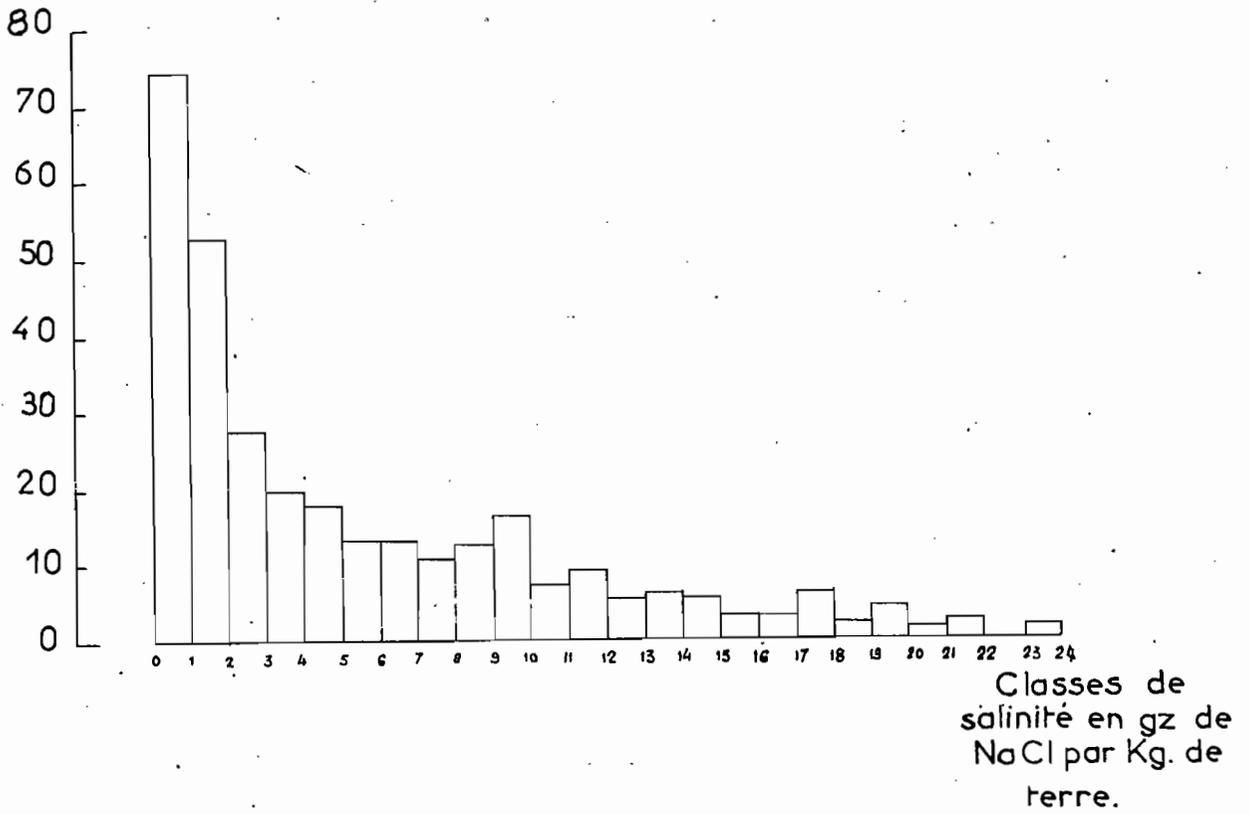


Fig.12 - Distribution de fréquence de la salinité

des SOLS SALINS à ALCALI, la structure en colonnettes propre au solonetz ne s'y trouve pas, bien que les types de structure soient assez variés ainsi qu'en font état les descriptions suivantes :

1) Absence de structure -

Elle est toujours en relation avec une faible teneur en éléments fins et en matière organique. Très sableux, le sol peut manquer de cohérence sans être toutefois aussi fluent que sur les dunes car les particules sont plus fines et moins bien calibrés. Avec un peu d'argile ou d'oxyde de fer, la structure devient massive. Dans les deux cas, immédiatement après le retrait des eaux d'inondation la partie supérieure est un peu tassée et surmontée d'une fine pellicule de limon, glacée, stratifiée, parfois un peu feutrée, qui en séchant se brise en fragments dont les bords s'enroulent (structure squamoneuse).

2) Structure grossièrement prismatique -

La mauvaise nature physique des SOLS SALES est très souvent révélée par les larges fentes de retrait que cause la dessiccation. Les grands agrégats sont presque toujours prismatiques, irréguliers, de 10 à 40 cm dans leur dimension horizontale, séparés par des fentes qui peuvent atteindre 5 cm ; leur dimension verticale dépend de la profondeur de dessiccation, l'horizon grossièrement prismatique passant progressivement à l'horizon humide et compact sous-jacent. La structure peut être simple, si les prismes ainsi formés sont durs et massifs, ou bien composée si les prismes eux mêmes sont formés d'agrégats, plus petits. Ainsi dans les dépressions longtemps marécageuses et dépourvues de végétation, un plan de faiblesse horizontal très net se manifeste souvent, délimitant des plaquettes un peu concaves à la partie supérieure. De même d'autres types de structure (lamellaire, poudreuse) apparaissent parfois, associés à la structure prismatique ; on peut d'ailleurs les trouver seuls.

3) La structure lamellaire implique l'arrangement des particules selon des plans horizontaux. L'aspect feuilleté qui en résulte peut être confondu avec les effets de la micro-stratification.

4) La structure poudreuse est la plus typique ; elle résulte de l'effet combiné d'un excès de sel et d'une modification du complexe absorbant ; elle indique toujours un SOL à ALCALI. La partie supérieure du sol ou des mottes foisonne et se transforme en poudre ou en petites miettes, très légères, très dissociées. Ce matériau renferme toujours une proportion élevée de sels et se change à la moindre pluie en une couche visqueuse, collante, très imperméable. La structure poudreuse est particulièrement fréquente sur les bourrelôts de berge du Sénégal et des marigots, et elle se rencontre un peu partout sous forme de taches disséminées. C'est la condition la plus défavorable à la croissance des plantes.

.../...

Structures finement polyédrique, à tendance nuciforme ou même assez grumelleuse -

Ces différentes structures paraissent liées à la présence d'une végétation relativement abondante ; ainsi à un important développement de graminées correspondent presque toujours des agrégats fins ou moyens, polyédriques ou spéroïdaux, assez stables à l'eau. La coexistence de ces deux faits est assez nette, mais l'occasion n'a pas été donnée de trouver lequel est la conséquence de l'autre. Cependant dans d'autres pays, au cours de la récupération de SOLS SALES, plusieurs auteurs ont remarqué que le lessivage seul n'améliorait pas la structure mais que la croissance des plantes amenait un état granulaire ; ce qu'ils attribuent d'une part au rôle purement mécanique des racines, d'autre part à leur rôle chimique, car en pourrissant, elles fournissent l'humate calcique nécessaire pour lier l'argile en agrégats.

Ainsi, dans les prairies à Sporobolus robustus, la structure du sol est finement polyédrique ou même à tendance nuciforme, alors même que la teneur en sodium du complexe absorbant est voisine de 15 %. Dans les sols faiblement salins qui portent un mélange d'halophytes et d'ubiquistes, une structure assez grumelleuse peut être observée, lorsque argile, limon et sables se trouvent en proportions convenables.

Caractéristiques chimiques (1)

Appréciation globale de la salinité

Les variations de salinité ont une grande amplitude ; aussi la précision des déterminations n'a pas besoin d'être grande. Mesurer une salinité absolue, à un moment donné ; en un point donné, ne présente qu'un faible intérêt. Il importe bien plus d'apprécier la salinité d'une façon globale et de multiplier les déterminations dans l'espace et dans le temps. Pour cela, le moyen d'investigation doit être simple et rapide : le dosage de l'ion Cl dans une solution provenant du lavage jusqu'à épuisement d'un échantillon de sol répond bien à ces deux conditions. Comme les dosages plus complets indiquent que Cl et Na sont bien les ions dominants, l'expression de la salinité en NaCl est acceptable.

Les valeurs largement différentes qu'on trouve sur une petite surface dépendant de facteurs eux mêmes très variables comme la salinité et le niveau de la nappe, la texture des différentes couches, ou de facteurs difficilement appréciables comme le rôle de la végétation ou de la submersion. La distribution sporadique des différentes classes de salinité, la complexité et l'interaction de leurs causes qui rendent les corrélations difficiles à établir, justifient l'utilisation d'un diagramme de fréquence, mode d'exposé le plus complet et le plus parlant. La figure 12 résume les résultats de l'analyse de plus de 300 échantillons. A choisir un paramètre de position pour caractériser la distribution de fréquence, c'est à la médiane que nous donnerons la préférence ; elle est égale à 4, puisqu'il

.../...

Il y a à peu près, un même nombre d'observations supérieures et inférieures à cette valeur. La moyenne arithmétique (9 pour mille) est beaucoup trop influencée par les valeurs extrêmes (non présentées sur le diagramme) alors que ces valeurs n'intéressent que des points particuliers. La zone où la fréquence des valeurs supérieures à 4 pour mille est la plus grande, est celle voisine de Saint-Louis et du fleuve. Elle correspond à la bande côtière où la nappe phréatique est très salée et très proche de la surface.

Variations du taux de salinité au cours de l'année

La valeur n'est pas un caractère constant et pour savoir quel intérêt présente la connaissance d'une teneur en sel à un moment donné, il faut savoir dans quelle mesure cette teneur est susceptible de varier au cours de l'année.

(1) La répartition très inégale des sels rend nécessaire un échantillonnage très soigné. Il semble préférable de prélever à part les zones de très forte accumulation comme les croûtes salines ou les horizons poudreux de surface ainsi que les couches de texture différente. Les échantillons humides doivent être séchés à l'air avant d'être stockés, sinon les sels s'accumulent dans la toile et à la surface extérieure des sacs ; les fermentations peuvent détruire ces derniers ainsi que les fiches d'identification qu'ils contiennent. Les échantillons riches en sels hygroscopiques sont de toute façon difficiles à conserver.

.../...

Les valeurs extrêmes se situent, pour les plus faibles immédiatement après le retrait des eaux de surface, pour les plus fortes à la fin de la saison sèche. Les données utilisées se rapportent aux années 1950-1951. Elles sont peut être un peu faussées par la pluviosité et la crue exceptionnelle de 1950.

Tableau 5 -

Variations du taux de salinité au cours de l'année

Profondeur	Texture	NaCl pour mille	
		immédiatement après le retrait des eaux de surface	à la fin de la saison sèche
a) Sols faiblement salins		le 25/1/51	le 7/6/51
0 à 25 cm	argilo-sableux	traces	1,4
25 à 47 cm	sablo-argileux	traces	1,1
47 à 65 cm	sable gros un peu argileux	1,0	0,8
65 à 135 cm	sableux	1,0	1,1
		le 25/1/51	le 7/6/51
0 à 20 cm	sablo-argileux	0,5	2,7
20 à 55 cm	sablo-argileux	1,5	1,0
55 à 115 cm	sable assez grossier	3,1	2,8
		le 3/1/51	le 7/6/51
0 à 10 cm	finement sableux	0	1,8
10 à 30 cm	sablo-limoneux	0	1,1
30 à 90 cm	sableux	0	0,5
b) Sols moyennement salins		le 9/1/51	le 7/6/51
0 à 10 cm	sableux	4,7	4,7
20 à 25 cm	sablo-argileux	2,6	9,9
25 à 55 cm	argileux	2,6	5,9
55 à 85 cm	sableux	2,3	1,1
		le 10/1/51	le 9/6/51
0 à 20 cm	argilo-sableux	4,2	7,6
20 à 50 cm	argilo-sableux	13,6	8,2
.../...			

c) <u>Sols très salés</u>		1e 3/1/51	1e 9/6/51
0 à 20 cm	sablo-argileux	8,1	53,3
20 à 50 cm	finement sableux	4,3	8,9
50 à 80 cm	finement sableux	5,7	6,1
		1e 14/2/51	1e 15/6/51
0 à 18 cm	argileux	25,5	29,3
18 à 40 cm	argileux	17,7	20,9
40 à 87 cm	argileux	4,2	17,4
87 à 97 cm	sablo-argileux	8,8	8,8

Le tableau 5 indique que les variations dans le temps sont relativement faibles ; exceptionnellement, pour des sols très salés à croûtes ou efflorescences salines en surface, elles peuvent avoir une très grande amplitude; mais, d'une façon générale, elles sont beaucoup moins importantes que les variations dans l'espace. On voit encore que les sels sont très inégalement distribués dans le profil.

Composition de la solution saine du sol

Le tableau suivant donne le rapport entre les principaux ions de solutions salines. Les trois premiers cas se rapportent à des sols généralement peu salés, éloignés de la mer d'une trentaine de kilomètres, les trois derniers à des sols de la zone côtière fortement salée, sillonnée par des chenaux que remontent les marées. On a exprimé la composition de l'eau de mer d'une façon identique pour faciliter la comparaison :

- Tableau 6 -

Pourcentage des principaux ions (en meq.) de la solution du sol

Sol n°	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	Ca + Mg + K +
							Na + Cl + SO ₄
1	5,66	6,18	1,47	28,4	29,35	28,93	100
2	6,75	7,45	1,78	21,42	33,13	29,47	100
3	8,47	5,70	0,70	26,14	30,23	28,75	100
4	1,85	4,63	0,61	33,33	45,15	14,43	100
5	1,35	1,77	0,84	37,38	46,11	12,55	100
6	1,51	3,62	0,68	35,47	45,00	13,71	100
eau de mer	1,7	8,35	0,54	39,37	45,32	4,72	100

On constate que la composition de la solution saline du sol est assez voisine de celle de l'eau de mer dans les zones fortement salées, malgré une augmentation nette du taux de SO₄. Dans les régions où le degré de salure est plus faible, l'augmentation du taux de SO₄ est encore plus net et les taux de Ca et de K augmentent aussi sensiblement au détriment de celui de Mg.

Répartition des cations dans le complexe absorbant est important puisqu'il conditionne un certain nombre de propriétés fondamentales en relation avec les colloïdes. Les bases échangeables sont généralement exprimées en milli-équivalents pour 100 grammes de sol, mais lorsqu'on considère les proportions relatives, il est plus commode d'exprimer en pour cent de leur somme le rapport des différents éléments. Dans les sols normaux du monde entier, le taux de calcium est de l'ordre de 60 à 85%, celui du magnésium de 10 à 25%, ceux du potassium et du sodium de 1 à 10%.

Voici d'abord pour six SOLS SALES, (ceux pour lesquels la composition de la solution du sol a été donnée dans le tableau 6) les proportions des différents cations absorbés :

Tableau 7 -

Pourcentage des différents cations échangeables de SOLS SALES

Sol n°	Ca	Mg	K	Na	Ca + Mg + K + Na meq. pour 100 gr.
1	36,8	52,9	9,2	5,1	16,31
2	32,3	61,3	4,5	1,9	12,13
3	73,6	20,5	3,7	2,2	12,51
4	24,8	52,7	8,4	14,1	9,32
5	13,4	57,4	8,6	20,6	10,36
6	16,7	51,6	9,6	22,1	10,66

Ce tableau met en évidence le mauvais balancement des cations dans le complexe absorbant. Si le taux de sodium échangeable n'est réellement trop élevé que dans les SOLS très SALINS, c'est surtout celui de magnésium qui dans tous les cas paraît excessif (le sol n° 3 fait exception parce qu'il est très riche en gypse). Dans le delta du Sénégal on a donc surtout affaire à des sols à alcalis magnésiens comme il en a déjà été signalé au Canada, en Russie, en Hongrie.

La carence en calcium se manifeste d'ailleurs, mais à un degré moindre, dans les autres types de sols de cette même région ; les chiffres suivant qui se rapportent aux sols de la chaîne décrite à la suite de la figure 8 en rendent compte :

.../...

Tableau 8

Pourcentage des différents cations échangeables des sols d'une séquence

	Ca	Mg	K	Na	Ca + Mg + K + Na meq. pour 100 gr.
Sol ocre	53,5	21,6	10,6	14,3	2,73
Sol brun	58,6	21,2	9,5	10,7	3,07
Sol hydromorphe	46,7	37,7	8,6	7,0	5,91
Sol sale	37,1	42,1	9,5	11,3	11,31

La répartition des cations dans les sols non salés est assez surprenante ; peut-être faut-il l'attribuer à l'action du vent qui transporte les éléments des sols très salins (zone de déflation) aux sols normaux couverts de végétation (zone de dépôt).

Sols salés et végétation

La flore des SOLS SALES est très particulière. Elle ne comporte qu'un nombre réduit d'espèces. Les peuplements, très localisés dans l'espace, sont parfois monophytes, plus souvent mixtes mais avec une dominance nette, de telle sorte qu'on peut penser que chacun d'eux traduit fidèlement les effets combinés des facteurs édaphiques. Plutôt que de rechercher des espèces aux exigences strictes qui, trop rares, ne permettraient pas de préciser les limites d'une carte, on a préféré étudier pour les espèces dominantes, l'amplitude de leurs besoins et surtout leur tolérance au sel.

Comme il n'y a pas de limite tranchée entre les concentrations salines qui permettent une bonne croissance et celles qui entraînent la mort, la présence d'une espèce végétale n'est pas sa seule donnée à envisager ; il faut tenir compte aussi de sa puissance de végétation et de la pénétration d'espèces étrangères ; parmi ces dernières, certaines n'ont aucune valeur indicatrice : elles tolèrent des quantités appréciables de sel et peuvent aussi croître en leur absence : exemple : Heleochloa schoenoides ; d'autres thérophytes non halophiles, ubiquistes des stations marécageuses, peuvent croître très rapidement dans un sol très salin, avec un système racinaire réduit, à la faveur d'un dessalement superficiel et passager : c'est le cas de Echinochloa colona et de Ammania senegalensis ; d'autres enfin, caractéristiques de conditions différentes indiquent une tendance.

En fait le degré d'assujettissement aux facteurs édaphiques n'est jamais assez élevé pour dispenser de l'étude des profils et de l'analyse des échantillons de sol, mais il est suffisant pour rendre de grands services en cartographie dans la détermination des limites.

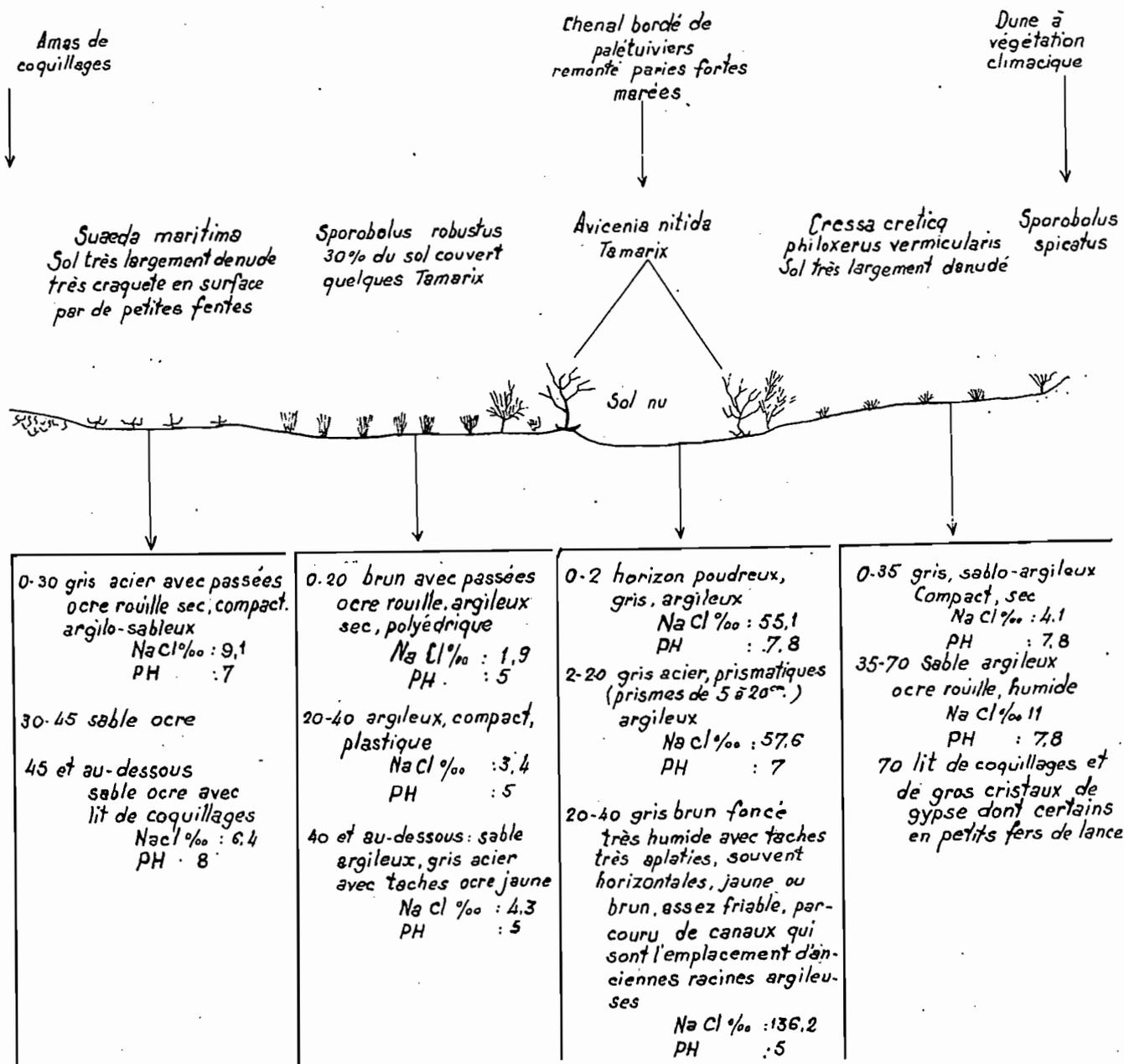


Fig. 13 - Succession des sols et des groupements végétaux au voisinage d'un marigot, de la zone côtière (au sud du terrain d'aviation de Saint-Louis).

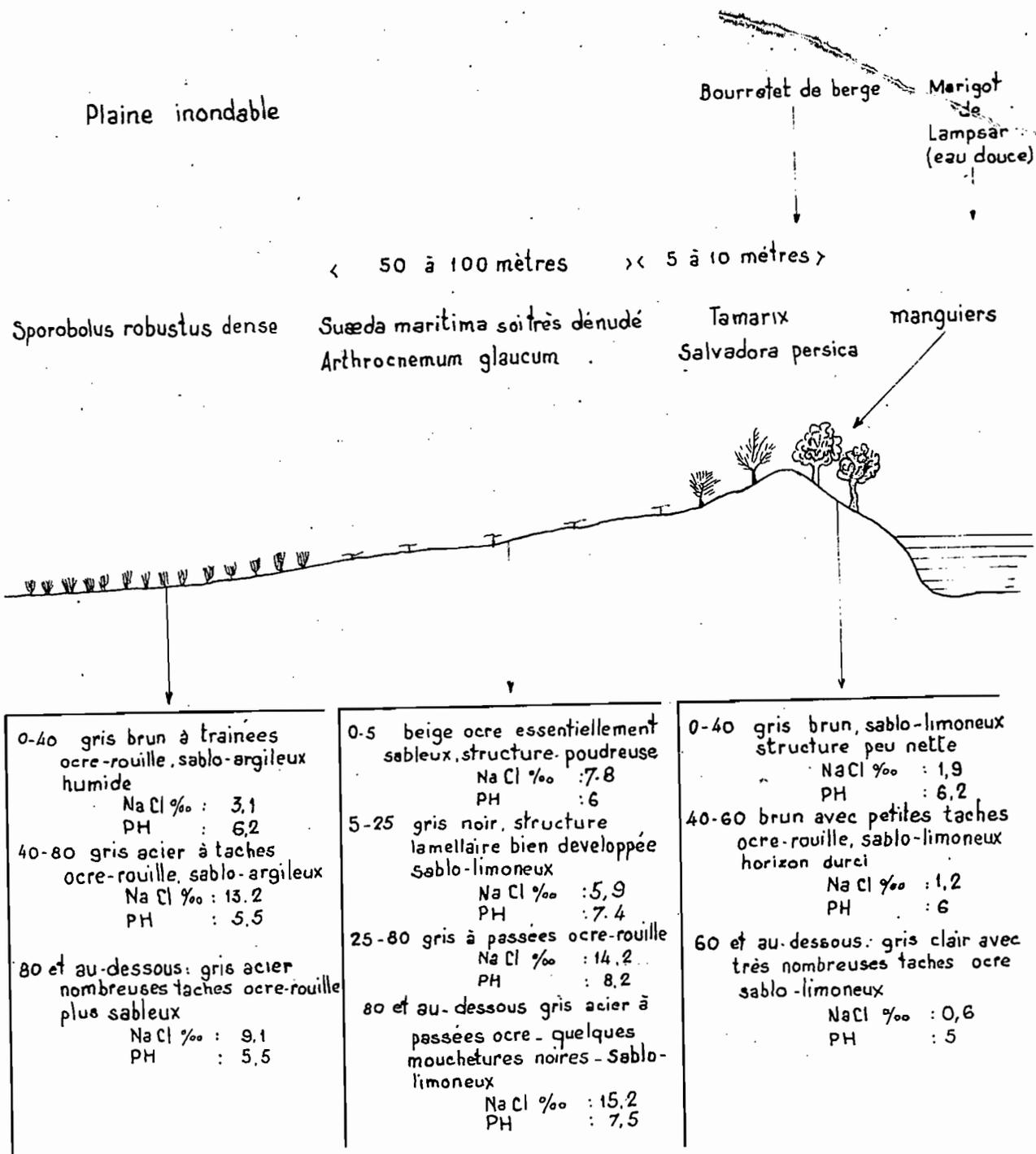


Fig. 14 - Succession des sols et des groupements végétaux au voisinage d'un marigot d'eau douce (marigot de Lampsar à Lampsar).

Au point de vue physiognomique, trois formations végétales se partagent les SOLS SALES du " delta " du Sénégal. Ce sont :

- la mangrove
- la pseudosteppe suffrutescence à Chénopodiacées
- la prairie plus ou moins marécageuse à Graminées, Joncacées, Cypéracées.

La répartition de ces types de végétation est dans certaine mesure en relation avec les conditions hydrographiques et le micro-relief. 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 côte, 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 dessalé.

Les sols de mangrove

Cette forêt des rivages plats et vaseux et des estuaires des régions tropicales, atteint ici la limite septentrionale de son aire. Aussi est-elle représentée et ne comporte-t-elle que deux espèces qui dans cette région ne dépassent pas 5 mètres de hauteur. Elle n'existe pas sur la côte, mais sur les berges basses et marécageuses du fleuve et des marigots. Les derniers palétuviers se trouvent à une vingtaine de kilomètres au Nord de Saint-Louis, sur la rive Est de l'île de Diankel, et un peu avant cette île en remontant le fleuve sur sa rive Ouest. Ils ne forment pas un liseré continu le long des berges, mais sont plutôt situés dans la partie convexe des coudes du fleuve. La mangrove est assez développée dans la zone marécageuse comprise entre le marigot de Loll et le Sénégal dans l'île aux Bois qui lui doit son nom bien que les deux tiers en soient occupés par une prairie à *Sporobolus robustus*, dans l'île de Roup. Sur le marigot de Djeuss, quelques rares *Rhizophora* arrivent presque au barrage de Makhana. Au bord des marigots qui au Nord de Saint-Louis longent la Langue de Barbarie, la mangrove ne s'étend guère au delà de la latitude du village de Thiong.

Rhizophora racemosa croît dans les vases presque toujours recouvertes par les eaux et l'enchevêtrement de ses racines constitue un obstacle infranchissable ; aussi la prospection des sols n'y est pas facile et l'observation rapportée ci-dessous est la seule que nous ayons pu faire. Elle est donnée seulement à titre d'indication et non comme un exemple illustrant une série d'observations :

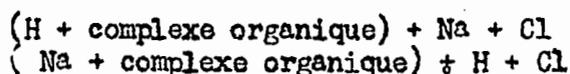
- Berge Est du Sénégal non loin du confluent avec le marigot de Djeuss.
Rhizophora racemosa et *Phragmites vulgaris*.

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

	Analyse mécanique				Matière organique				Anions sol. par less. sur filtre		pH du sol : 3mois frais après	
	Ar.	Lim	S.	S. tot%	C%	N%	C/N	Cl%	SO4%			
0-5	38	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

Avicennia nitida croît sur un terrain plus ferme. L'horizon supérieur, épais de quelques décimètres est souvent soumis à la dessiccation ; sa couleur varie du brun au gris, sa réaction est assez variable (pH 5 à 7,6) elle est évidemment affectée par le pH des eaux qui éventuellement viennent l'imbriser (eau des fortes marées à pH = 7,8). La salinité du sol en surface, de l'ordre de 4 pour mille pendant la submersion par les eaux de crue, augmente considérablement au fur et à mesure qu'on s'avance dans la saison sèche, et la couche poudreuse qui se forme par place peut renfermer 10 pour mille de NaCl, tandis que les prismes desséchés par la dessiccation peuvent en contenir 25 pour mille. L'horizon profond, humide, est gris acier ou jaune ou bigarré de ces deux teintes. La salinité élevée (10 à 20 pour mille de NaCl) ne paraît guère affectée par les submersions. Une bonne partie de cet horizon est baignée par la nappe phréatique qui dose en moyenne 40 grammes de NaCl par litre. Il devient généralement plus sableux en profondeur. Un point intéressant est la très forte acidité de cet horizon puisque ce caractère est constant dans la région et semblerait pouvoir être étendu à beaucoup de sols marécageux salés. Ainsi Doyère et al. à Sierra Leone, trouvent des valeurs de pH inférieures à 3 dans les sols de mangrove ; ils en cherchent l'explication dans la formation d'HCl par le processus schématisé, comme suit :



Van Wijk pour les sols marécageux du Sud de Bornéo, voit le rôle de la mer dans l'acidité des horizons argileux de profondeur diverses réactions chimiques ou biochimiques aboutiraient à la formation de CO₂H⁺ par réduction de SO₄Ca.

Nous décrivons un cas un peu particulier puisqu'il est situé dans la portion du marigot de Djeuss coupée de toute communication avec la mer par le barrage de Dakar-Bango et le seuil du pont de Diaoudoum. Mais ces aménagements n'ont pas encore suffisamment modifié les caractéristiques du sol pour que cette observation perde sa valeur d'exemple.

- Région marécageuse entre les marigots de Djeuss et des Fours à Chaux, Diaoudoum et Makhana ; Avicennia nitida sans pneumatophores, tapis herbacé très discontinu d'Heliochloa schoenoides.

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 ocre-jaune, nombreuses petites racines, argileux finement sableux.

Analyse mécanique	Matière organique										pH du sol frais
	Arg.	lim.	S.F.	S.G.	tot. %	C %	N %	C/N	Cl %	S ₀₄ %	
0-20	50	25	27	0	3,1	1,8	1,1	16	2,8	0,7	7,6

Nappe phréatique à 80 cm de profondeur en avril 1951, renferme 43 gr. de NaCl par litre, pH = 4.

Une graminée vivace, Paspalum vaginatum, et une chénopodiacée annuelle Salicornia europaea, se mêlent parfois à la mangrove ou forment des peuplements purs à son voisinage sur des sols analogues. Le groupement éphémère à Salicornia europaea apparaît en mai dans les cuvettes légèrement inondées à marée haute ; l'eau dans laquelle il baigne dose 32 grammes de NaCl par litre et la vase où se développent les racines a un pH voisin de 7,8 et renferme 17,6 pour mille de NaCl.

Tous ces sols côtiers, plus ou moins occupés par la mangrove, qui se sont développés sur des alluvions fluvi-marines, argileuses, et qui restent humides et salés sont désignés sous le nom de POTO-POTO.

Les sols des pseudosteppes à chénopodiacées

Arthrocnemum glaucum est un sous-arbrisseau articulé, sans feuilles, qui forme, souvent associé à Suaeda maritima, des pseudosteppes très ouvertes. Ce groupement végétal est le plus halophile de la région ; il ne craint ni les zones où les sels affleurent en surface, ni les SOLS à ALCALI à horizon poudreux ; la salinité optima se situe entre 10 et 20 pour mille de NaCl ; au dessous de cette teneur, il cède la place à des groupements moins halophiles. Sa valeur indicatrice pour le niveau de

.../...

de salinité est satisfaisante ; mais il supporte par ailleurs des conditions assez variées : la texture du sol est argilo-sableuse à sablo-argileuse, la gamme de pH est très large : 5 à 9. Arthrocnemum glaucum ne craint pas la submersion saisonnière, mais se trouve plutôt sur les terrains secs, au moins en surface, une longue partie de l'année. Les bourrelets de berge sont un de ses lieux d'élection. Il ne s'éloigne guère du littoral : un peuplement près du marigot de Borbof à 27 kilomètres de la côte est à notre connaissance un des plus avancés vers l'intérieur.

Voici quelques descriptions de profils et les résultats analytiques correspondants, se rapportant à des sols qui supportent ce type de végétation :

- Près du barrage de Makhana sur le marigot de Lampar ; végétation: Arthrocnemum glaucum et Suaeda maritima

0 à 1 cm horizon poudreux gris-ocre clair, sablo-argileux
 1 à 90 cm horizon gris acier avec passées ocre-rouille, argilo sableux en surface, de plus en plus sableux en profondeur, compact, encore humide.

	Analyse mécanique				Matière organique				Lo. hum. %	pH	NaCl %	meq %
	Arg.	Lim.	S.f;	S.g tot%	C%	N%	C/N					
0-1	10,5	13,5	76	0	1,0	0,6	0,4	14	0,28	5	22,6	38,6
1-20	25	18,8	56,2	0	0,5	0,3	0,2	15		7,7	17,9	30,6
80-90	10,8	6,5	82,7	0	0,17	0,1	0,1	10		7,7	22,4	32,3

Echantillon de 1 à 20 cm										
Eléments sol. méq. p.100 gr						Bases échang. méq.p.100 gr.				
Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
1,03	2,46	0,46	24,13	30,6	9,32	1,78	5,5	1,02	2,36	

Pourcentage de sodium échangeable = 22,14

- Rive Est du Sénégal un peu au Nord de l'île Dou ou N'ban; zone assez dénudée avec Suaeda maritima, Arthrocnemum glaucum, Frankenia pulverulenta.

0 à 1 cm horizon poudreux avec nombreux cristaux de sel, gris-ocre clair
 1 à 18 cm gris-noir à petites taches rouille, plus nombreuses à la base, structure à tendance cubique, quelques efflorescences salines à la surface des agrégats.

18 à 36 cm brun-ocre à passées blanches plus sableuses, nombreuses taches ocre-rouille et petites concrétions faiblement durées traînées noires, finement sableux-argileux

36 à 100 cm gris-bleuté à larges taches ocre-rouille et petites taches un peu durcies noires (manganèse); argileux finement sableux, avec des zones plus sableuses.

	Argile	Limon	Sable fin	Sable gros	pH	NaCl pour mille	
0 à 1	11,5	10,2	78,3	0	5,5	83,4	142,7
5 à 15	28,7	13,7	57,6	0	5,5	9,6	16,4
20 à 30	20,5	8,0	71,5	0	5,5	9,0	15,4
50 à 60	24,8	16,7	58,5	0	7	20,6	

- Rive Ouest du Sénégal, au Sud du marigot de Tiallakt. 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.

Prélèvement de 0 à 20 cm

Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
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

La plupart des sols qui supportent Arthrocnemum glaucum et Suaeda maritima sont des SOLS très SALINS à ALCALI, argilo-sableux à sablo-argileux.

Salsola tetrandra s'ajoute parfois aux chénopodiacées de la zone sud-côtière, et plus à l'Est subsiste seule, se répandant largement elle y forme des groupements monophytes très ouverts ou bien se mêle à la prairie à Schoenefeldia gracillis et Chloris Prieurii. C'est encore une halophyte obligatoire mais qui n'implique pas nécessairement une forte teneur en sels du substratum ou un haut pourcentage de sodium échangeable. En peuplement pur, elle traduit des salinités de l'ordre de 5 à 15 pour mille de NaCl. Sa présence est surtout intéressante à noter dans les prairies non halophiles qui précèdent la savane arbustive; elle prévient alors du danger de l'ascension des sels toxiques car dans ce cas l'excès de sel soluble ne peut être mis en évidence que par place ou en profondeur. Salsola tetrandra fuit les marécages et redoute la submersion prolongée. Ainsi de nombreux pieds se desséchèrent après la forte crue de 1950, dans des zones qui subissent ordinairement l'inondation mais beaucoup moins longtemps. Les sols où on la rencontre sont plus fréquemment sablo-argileux qu'argilo-sableux et plutôt à pH légèrement alcalin.

- A l'Est de Tound ou Rhone, Salsola tetrandra, Frankenia pulverulenta, Suaeda maritima

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

	Analyse mécanique				pH du Sol frais	NaCl	
	Argile	Limon	S. fin	S. gros		1000	SO ₄
de 0 à 25 cm	21,5	8,2	70,3	0	7,4	5,4	12 +
vers 40 cm	20,7	13,7	65,6	0	7,6	10,8	13,5 +
vers 70 cm	2,5	1,7	95,8	0	8	6,0	10,2 +

- A 800 mètres au Nord-Ouest de Tlène ; sol très dénudé 1/50 environ est couvert de Salsola tetrandra

0 à 20 cm horizon gris-ocre avec quelques efflorescences blanches (surtout de sulfate de calcium) à la surface des agrégats prismatiques, argilo-sableux
 20 à 40 cm horizon ocre-rouille, argilo-sableux, avec quelques petits cristaux de gypse
 40 à 90 cm horizon gris-bleuté avec très nombreuses passées ocre-rouille et taches noires, petits cristaux de gypse sablo-argileux

	Analyse mécanique				Matière organique				pH sol 3m.		
	Ar.	Lim	S.f.	S.g.	tot. %	C %	N %	C/N	Ac. hum.	sol NaCl 50	frais après
0-20	39,4	8,3	52,3	0	0,57	3,3	0,24	14	0,24	9,8	6,75,7
20-40	19,8	19,2	60,6	0,4						14,2	7 5,9

Echantillons de 0 à 20 cm

Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
4,71	3,17	0,39	14,58	16,8	15,98	9,21	2,56	0,47	0,27

²²⁻²³ Les sols des prairies plus ou moins marécageuses _{s = 32,4}

Sporobolus robustus est une graminée vivace, pourvue de stolons traçants qui colonise les terrains salés, inondables mais envahis seulement par l'eau douce. Elle s'égaré assez fréquemment dans les pseudosteppes à Chénopodiacées mais ne prospère vraiment bien que dans les lieux un peu plus déprimés, où

l'eau séjourne plus longtemps, un peu argileux. Sa valeur indicatrice est bonne à condition de tenir compte de sa puissance de végétation et des pénétrations étrangères :

- Des touffes éparses et surélevées sur un sol très dénudé, implique une salinité de l'ordre de 6 à 15 pour mille de NaCl et la mauvaise structure des SOLS à ALCALI.

- Des touffes frêles, mêlées à Cyperus bulbosus et à Phloxerus vermicularis indiquent un substratum plus sableux.

- A un peuplement dense et presque pur, correspond un horizon supérieur gris foncé ou brun, assez riche en matière organique mal décomposée, à structure assez granulaire, stable à l'eau, moyennement salé (2 à 5 pour mille de NaCl) et pH plutôt acide.

Enfin l'interpénétration du groupement à Sporobolus robustus avec des groupements non halophiles comme celui à Vetiveria nigritana, indique à coup sûr la présence d'un faible excès de sels solubles (salinité inférieure à 2 pour mille dans l'horizon supérieur). Exemple :

- au km 35 de la route de Saint-Louis à Rosso, près du marigot de Iampsar ; végétation : Sporobolus robustus et Vetiveria nigritana

0 à 55 cm	horizon brun avec passées ocre-rouille, plus abondantes de 30 à 55 cm, argilo-sableux
55 à 95 cm	et au delà horizon gris assez foncé, argileux, humide, très plastique, devenant très dur par dessiccation, avec taches jaunes de 1 cm de diamètre qui se transforment une fois sèches en un matériau très pulvérulent, quelques cristaux de gypse de 0,5 cm dans leur plus grande dimension. A 85 cm, niveau de la nappe phréatique le 20/1/51. Cette eau renferme 19,9 gr. de NaCl par litre.

	NaCl pour mille		pH
de 0 à 20 cm	traces	mg %	5
vers 60 cm	6,2	10,6	5
vers 90 cm	8,4	14,4	5

A l'opposé l'exemple suivant situe les limites de l'expansion de Sporobolus robustus vers le milieu électif de la mangrove :

- Près du barrage de Dakar-Bango, sur le marigot de Djeuss

0 à 25 cm horizon gris acier avec taches et traînées ocre-rouille, argileux, sec, grossièrement polyédrique.

.../...

25 à 80 cm horizon gris-bleuté, avec petites concrétions ocre-rouille
faiblement durcies
80 à 130 cm argile noire plastique

	Analyse mécanique				Matière organique				pHs.			
	Arg.	Lim.	S.f.	S.g.	tot. %	C%	N%	C/N	Ac. hum%	NaCl%	meq/l	
0-25	48,8	25	26,2	0	2,9	17	1	17	10,43	6	13,8	23,8
à 50	50,8	27	22,2	0						7,6	8,5	14,5
à 100	37,3	24,5	38,2	0						8	12,2	20,9

Eléments solubles méq. p.100 gr						Bases échang. méq. 100 gr.			
Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
0,97	2,42	0,32	17,42	23,6	7,54	2,31	4,91	0,78	1,32

Pourcentage de sodium échangeable = 14,17%

Juncus maritimus est assez peu répandu et ne domine réellement que dans une station à l'est de Tound ou Rhone. C'est une vaste dépression marécageuse où la nappe phréatique est proche de la surface même à la fin de la saison sèche. Le profil relevé est le suivant :

0 à 30 cm horizon noir argilo-limoneux, structure à tendance micro-polyédrique ou nuciforme
30 à 90 cm horizon gris-bleuté avec taches rouges et jaunes argileux.
90 cm niveau hydrostatique le 29/6/51

	NaCl pour mille		pH
de 0 à 30 cm	4,8	8,2	7
vers 60 cm	7,8	13,3	5,4

Tolérance au sel et à l'alcali de la flore non halophile

Diverses plantes non halophiles sont capables de supporter une légère salure du sol. C'est le cas de Vetiveria nigritana et d'Oryza Barthii. Ce riz vivace, héliophyte caractéristique, ne se trouve que dans les dépressions régulièrement inondées à chaque crue et sur les berges en pente douce des marigots très peu salés. Il se dessèche rapidement, presque en même temps que le sol, mais subsiste par ses rhizomes et repart de sa souche au moment de la crue, ce qui lui assure une grande puissance de végétation. Avec un peu moins d'eau et généralement un sol moins lourd, c'est Vetiveria nigritana, graminée toujours verte, qui lui succède et précède la savane arbustive.

- kilomètre 31 de la route de Saint-Louis à Rosso, près du marigot de Sosso ; végétation : Vetiveria nigritana et Cypéracées.

0 à 50 cm horizon noir avec quelques traînées ocre-rouille le long des racines, argilo-sableux, encore humide
 50 à 90 cm horizon gris-bleuté avec taches ocre-rouille diffuses, sablo-argileux, nombreux cristaux de gypse
 90 cm nappe phréatique avec 4,2 gr de NaCl par litre

de 0 à 20 cm	NaCl pour mille	pH
de 80 à 90 cm	traces	6,6
	0,9	8

Matière organique					Bases échang. méq. pour 100 gr.			
tot. %	C%	N%	C/N	Ac. hum. %	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
0,5	2,9	0,36	8	0,26	4,2	4,76	1,07	1,28

Pourcentage de sodium échangeable = 11,32

- Au bord du marigot de Go, Dryza Barthii en ceinture

0 à 50 cm horizon gris foncé avec passées ocre-rouille, humide, nombreux rhizomes enchevêtrés
 50 cm nappe phréatique

Echantillon de 0 à 20 cm

Analyse mécanique					Matière organique				
Arg.	Lim.	S.f.	S.G.	tot. %	C%	N%	C/N	Ac. hum. %	pH
68	11	21	0	2,7	16	1	16	0,32	5,3
Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
0,54	0,59	0,14	2,71	2,8	2,76	0	8,63	0,85	0,83
				3,44		5,56			

Pourcentage de sodium échangeable = 5,1

De même, des boisements plus ou moins denses, pénètrent parfois sur des terrains faiblement salés : le fait est assez rare, mais un nombre suffisant de cas a été observé pour que l'on puisse conclure que les principales essences arbustives du pays tolèrent une teneur en sel inférieure à 2 pour mille. Parmi les exemples les plus faciles à localiser, on peut citer :

- Extrémité Nord-Est du marigot de Khant, Acacia Stenocarpa, Acacia Senegal :

NaCl	= 0,8 p.mille	SO ₄ Ca	= 0,2 p.mille
Argile	= 6%	limon	= 2%
Sable fin	= 76%	Sable grossier	= 16%
Matière organique totale	= 0,29%	C	= 1,7 p.mille
N	= 0,21 p.mille	C/N	= 8
CO ₃ Ca	= néant	pH	= 7,0 en surface 7,8 en profondeur

- Entre les marigots de Khant et de Mengueye, à hauteur de Ndiaouta dépression avec Acacia Stenocarpa et Tamarix senegalensis :

ClNa	= 1,9 p.mille	SO ₄ Ca	= 3 p.mille
Argile	= 10%	limon	= 3,5 %
Sable fin	= 62,5%	Sable grossier	= 24 %
Matière organique totale	= 0,21 %	C	= 1,2 p.mille
N	= 0,16% p.mille	C/N	= 7,5
CO ₃ Ca	= néant	pH	= 6 en surface 7,6 en profondeur

Au kilomètre 34 de la route de Saint-Louis à Rosso, Acacia Senegal et Acacia Raddiana :

NaCl	= 1,5 p.mille	SO ₄ Ca	= 4,7 p.mille
Argile	= 7,5 %	limon	= 2,7 %
Sable fin	= 73,3 %	Sable grossier	= 16,5%
Matière organique totale	= 0,24 %	C	= 1,4 p.mille
N	= 0,16 p.mille	C/N	= 9
CO ₃ Ca	= 0	pH	= 7,2 en surface 7,6 en profondeur

Dans de telles formations les indices qui peuvent faire soupçonner la présence du sel sont, en plus d'une surface topographique concave ou de la proximité de terrains franchement salés, l'existence de Tamarix et l'aspect inaccoutumé du tapis herbacé où s'insinuent des halophytes obligatoires : Salsola tetrandra, Cressa cretica, Frankenia pulverulenta.

Ces boisements sont-ils en train de gagner du terrain sur une végétation halophile ou bien sont-ils arrivés au stade qui précède leur disparition ? leur aspect est celui d'un peuplement jeune et en plein essor qui étouffe de vieux Tamarix incapables de se régénérer. Dans ce cas, le sens de l'évolution ne peut être mis en doute, mais en déduire un dessalement naturel généralisé serait peut être une conclusion trop hâtive.

Le pays ne se prête guère à l'étude de la tolérance à l'alcali seul, car dans cette région, les SOLS NON SALINS à ALCALI n'existent pratiquement pas. On peut cependant rapprocher de ce type le cas observé au bord du marigot de Lampsar, vers le kilomètre 49 :

- 0 à 10 horizon gris, sablo-limoneux
le 3/1/51 : NaCl = 0 pH = 7
le 7/6/51 : NaCl = 1,2 pour mille pH = 7
- 10 à 30 horizon brun avec taches ocre-rouille, argilo-sableux
le 3/1/51 : NaCl = 0 pH = 9
le 7/6/51 : NaCl = 0,8 pH = 9
- 30 à 90 sable blanc avec taches rouges dans la partie supérieure, puis taches ocre-rouille et noires à la partie inférieure, quelques concrétions tubulaires.
le 3/1/51 : NaCl = 0 pH = 10
le 7/6/51 : NaCl = 0,5 pour mille pH = 10

Sur ce sol prospèrent Acacia scorpioides, Acacia Sieberiana, Tamarindus indica qui paraissent ainsi ne pas souffrir du pH élevé, peut être grâce à la bonne alimentation en eau qu'assure le marigot de Lampsar. Malgré la faible teneur en sel, des halophytes : Tamarix senegalensis, Cressa cretica, y sont également représentées.

Dans des cas analogues à pH élevé, la végétation ne comporte le plus souvent que des plantes halophiles.

On n'a donc pu mettre clairement en évidence la tolérance de la flore aux conditions distinctes du sel et de l'alcali. Si ces deux conditions exercent sur les plantes des actions physiologiques différentes, elles paraissent agir dans le même sens pour la sélection des espèces végétales du " delta " du Sénégal et leurs effets se renforcent.

Alors que pour les autres sols de la région, les rapports entre la morphologie et la genèse ont servi de cadre à l'exposé, pour les SOLS SALES les observations ont été groupées autour de la végétation. Ce choix n'est pas arbitraire, la plante tenant compte de la multitude des facteurs qui donnent à une station son individualité ; ainsi, qu'on a pu le voir, des corrélations assez satisfaisantes ont pu être établies entre les conditions stationnelles et les groupements végétaux.

Troisième partie

CONCLUSION D'ORDRE AGRONOMIQUE

Les projets d'aménagements hydrauliques du fleuve Sénégal, ouvrent la possibilité d'étendre les zones de terrains cultivables. Cette étude des sols, effectuée dans un but utilitaire, permet de tirer les conclusions pratiques suivantes :

En raison de leur position topographique, de leur texture trop sableuse, de leur pauvreté en éléments fertilisants, les SOLS OCREs ne peuvent convenir à la culture irriguée.

Les SOLS BRUNS couvrent de si faibles étendues, qu'il est inutile d'en parler ici.

Les SOLS SALES ne seront rendus cultivables qu'après des améliorations coûteuses : leur teneur en sel est trop souvent supérieure à celles compatibles avec la croissance des plantes les plus tolérantes. Le dessalement, surtout dans la zone côtière, où la nappe phréatique est à faible profondeur et très salée, nécessiterait un réseau de drainage perfectionné : l'établissement de nombreux canaux puisque les nappes sont cloisonnées, et l'évacuation des eaux par pompage puisque la topographie et l'amplitude des marées ne permettront pas d'effectuer la vidange à marée basse.

Quelques 8.000 hectares au maximum de SOLS HYDROMORPHES, situés à l'Est de la zone prospectée, entre les marigots de Lampsar et de Gorum, semblent seuls pouvoir être cultivés économiquement. Il ne faudra cependant pas perdre de vue qu'ils sont parsemés de taches salées et que l'irrigation peut, en élevant le niveau de la nappe phréatique, faire apparaître le salant dans des parcelles jusque là indemnes.

Ces sols sont par ailleurs riches en bases nutritives dès qu'ils sont suffisamment pourvus en argile ; mais au point de vue chimique ils présentent quelque analogie avec les SOLS à ALCALI : le calcium en quantité insuffisante ne peut assurer une bonne structure, d'autant plus que la matière organique, ou trop peu abondante, ou mal décomposée, ne corrige pas ce défaut. Il sera donc prudent d'éviter les cultures de plantes comme le cotonnier, exigeantes vis à vis de la structure. Par contre ces terres peuvent convenir au riz.

Beaucoup de parcelles sont un peu trop sableuses, mais lorsqu'il s'agit de sable très fin et un peu argileux, il ne semble pas indispensable de les exclure systématiquement des périmètres d'irrigation.

Il est probable que les travaux de planage, en amenant à l'air des zones de concentration en fer, détermineront la formation de concrétions ferrugineuses ; le phénomène ne peut avoir une importance suffisante pour gêner la culture.

---:---:---:---:---:---:---:---