

AGL:SF/REG 61

Rapport technique 1

DRAFT

ETUDE HYDRO-AGRICOLE DU BASSIN DU
FLEUVE SENEGAL

Organisation des Etats Riverains du
Sénégal (GUINEE, MALI, MAURITANIE,
SENEGAL)

ETUDE PEDOLOGIQUE

5 - MILIEU NATUREL

SEDAGRI

Paris, 1970

5 - FORMATION DES SOLS

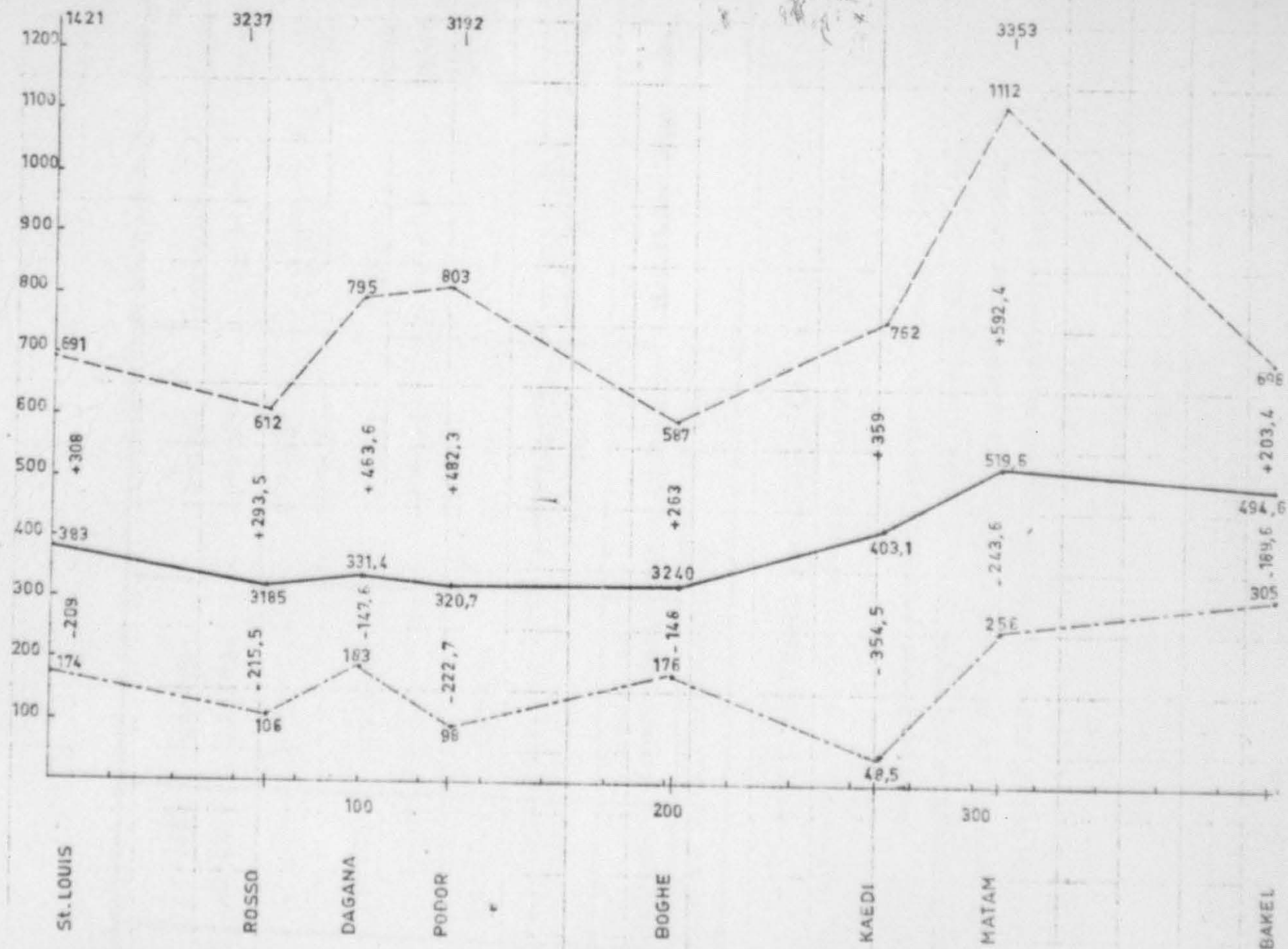
Dans ce chapitre seront examinés les facteurs qui pourraient avoir une action sur la formation des sols et ce dans cette seule optique. La conclusion traitera de la pédogénèse telle qu'elle se manifeste dans cette zone.

La connaissance de certains de ces facteurs pourra être utile pour l'agriculture.

5 - FORMATION DES SOLS

Dans ce chapitre seront examinés les facteurs qui pourraient avoir une action sur la formation des sols et ce dans cette seule optique. La conclusion traitera de la pédogénèse telle qu'elle se manifeste dans cette zone.

La connaissance de certains de ces facteurs pourra être utile pour l'agriculture.



Figⁿ 5 - Répartition de la hauteur de pluie moyenne, maximum et minimum en fonction de la distance de la station à la mer, mesurée le long du parallèle de la station.

5.1. - LE CLIMAT -

Le climat n'est étudié ici qu'en fonction de l'influence qu'il peut avoir sur la formation des sols ou sur leur classification. Les phénomènes qui seront examinés sont :

- les précipitations,
- la température,
- le vent,
- l'évaporation.

La Vallée du Sénégal, dans la partie étudiée, ne possède pas un très grand nombre de postes météorologiques, certains n'ont pas un équipement complet. Le tableau n° 8 donne la liste de ces postes, de l'amont vers l'aval avec les phénomènes observés par chacun d'eux, et la période des observations.

Tableau n° 8 - Postes météorologiques de la vallée du Sénégal et phénomènes observés.

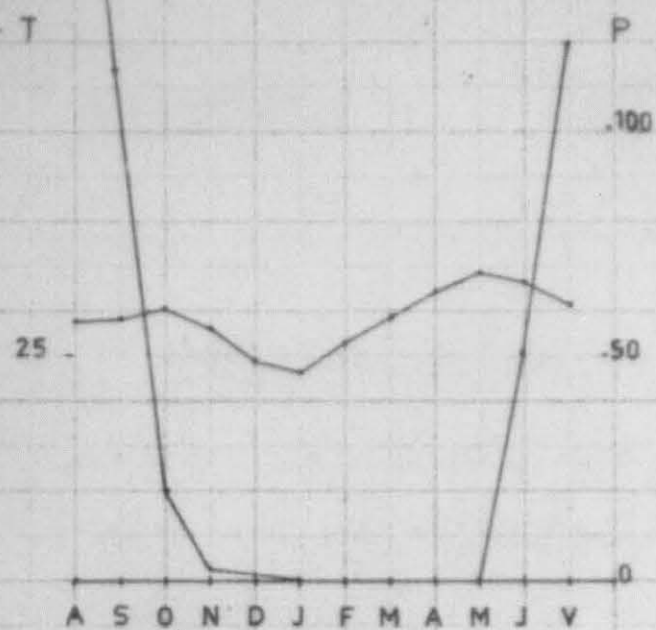
Poste météorologique	Phénomènes observés et période			
	Précipitations	Température de l'air	Vent	Evaporation
BAKEL (Sénégal)	(1920-49 { 1951-56			
MATAM (Sénégal)	1920-57	1939-57	1951-57	1950-57
KAEDI (R.I.M.)	1920-57			
BOGUE (R.I.M.)	1921-57			
PODOR (Sénégal)	1920-57	1939-57	1951-57	1950-57
DAGANA (Sénégal)	(1920-49 { 1951-56			
ROSSO (R.I.M.)	1934-57	1942-57	1951-57	1951-57
SAINT-LOUIS (Sénégal)	1920-57	1926-57	1951-57	1950-57

5.1.1. - Précipitations - Tableau n° 9.

En moyenne la hauteur de pluie, dans la vallée du Sénégal est relativement faible. Elle est de 383 m/m à Saint-Louis, s'abaisse vers l'amont jusqu'à 318,5 m/m à Rosso, et se maintient entre 320 et 330 m/m jusqu'au delà de Bogue à 200 km de la mer. A Kaédi elle atteint 430 m/m et passe par un maximum de 520 m/m à Matam pour s'abaisser un peu à Bakel 495 m/m, à 400 km de la mer.

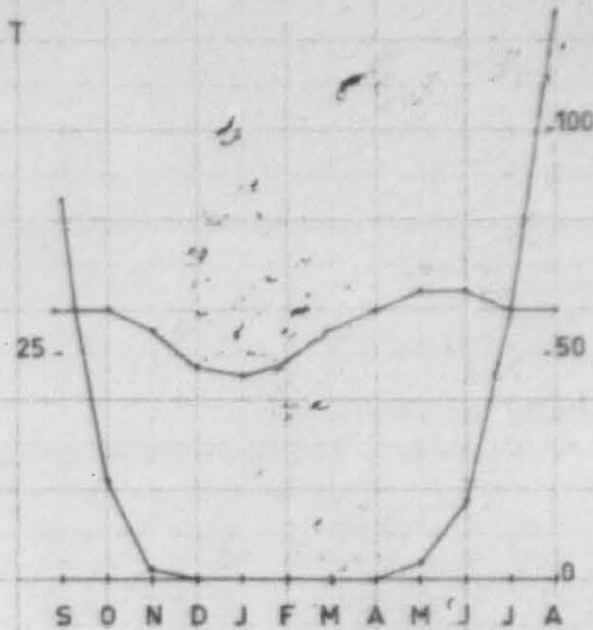
S'il est possible d'attribuer, au moins en partie, la plus forte pluviométrie de Saint-Louis à l'influence maritime, celles de Kaédi, Matam et Bakel sont attribuables à l'effet de la latitude, en effet Kaédi est déjà à 50 km au sud de Bogue, Matam à 104 km et Bakel à 186 km.

Un caractère de ces précipitations est leur grande variation annuelle ; en effet, leurs maximums peut atteindre des valeurs plus de deux fois supérieures à la moyenne tandis que les minimums peuvent être extrêmement bas, près du dixième de la moyenne pour Kaédi. Les courbes de la figure n° 5 qui donnent la pluviométrie moyenne, minimum et maximum des différentes stations en fonction de leur éloignement de la mer sont extrêmement parlantes. Mais le principal caractère est que les précipitations sont très limitées dans l'année. Pour les stations de Bakel, Matam, Kaédi, Bogue et Podor, 97 % des pluies tombent de Juin à Octobre, pour Rosso il en tombe 94 % et pour Saint-Louis 96 %.



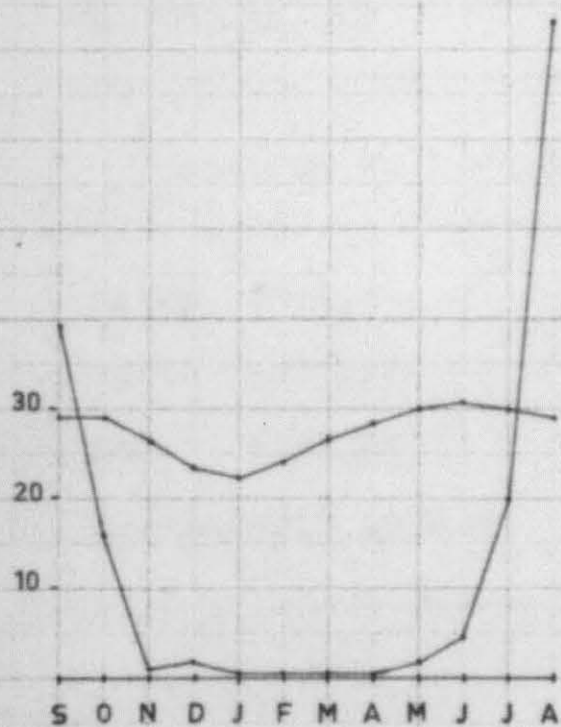
MATAM

Mois secs Octobre à Juillet



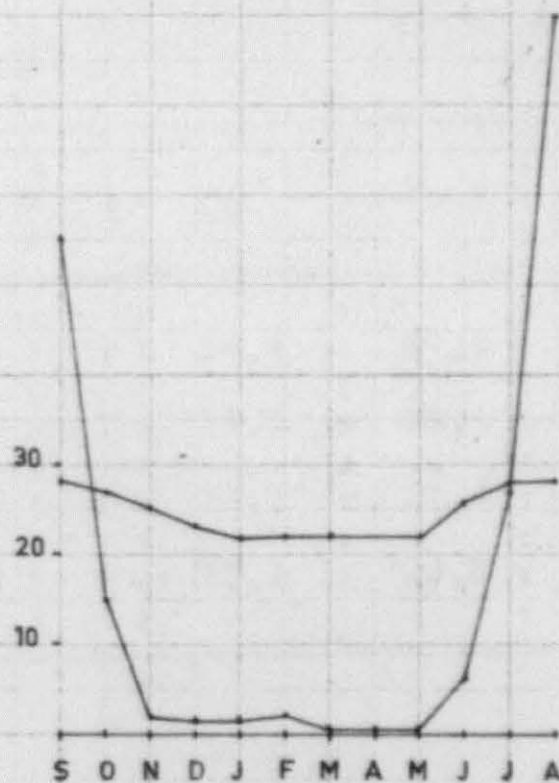
PODOR

Octobre à Juillet



ROSSO

Mois secs Octobre à Juillet



St LOUIS

Octobre à Juillet

Figon° 6 - DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES DE GAUSSEN

TABLEAU N° 9 - PRECIPITATION

station et période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL		
													moyen.	mini.	maxi.
BAKEL 1920-49, 1951-56	1,3	0,1	0,1	0,1	6,7	46,0	114,8	186,0	106,8	26,7	3,5	2,5	494,6	305,0	698,0
MATAM 1920-57,	0,9	0,7	0,3	0,1	4,0	51,7	119,7	202,1	113,8	22,5	1,9	1,9	519,6	256,0	1112,0
KAEDI 1920-57	0,5	1,2	0,2	0,2	4,6	30,5	86,4	166,9	88,1	18,5	4,9	1,1	403,1	48,5	762,0
BOGHE 1921-57	2,0	0,9	0,3	0,2	2,8	16,6	73,4	124,1	76,5	22,2	4,0	1,0	324,0	176,0	587,0
PODOR 1920-57	1,4	1,5	0,8	0,1	3,0	16,9	59,9	127,5	84,1	22,1	2,6	0,8	320,7	98,0	803,4
DAGANA 1920-49, 1951-56	0,5	1,2	0,1	0,1	3,7	21,9	53,0	141,0	83,1	22,3	2,4	2,1	331,4	183,0	795,0
ROSSO 1934-57	0,2	1,1	0,2	0,1	2,4	9,0	40,7	147,5	79,7	31,7	2,6	3,3	318,5	106,0	612,0
SAINT-LOUIS 1920-57	2,4	3,7	0,1	0,2	1,5	12,4	54,5	159,4	110,7	31,0	4,0	3,1	383,0	174,0	691,0

TABLEAU N° 10 - TEMPERATURE DE L'AIR EN DEGRES CELSIUS

station et période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	mini.	maxi.
														abs.	abs.
MATAM 1939-57	23,5	26,4	29,2	32,0	34,3	33,3	30,7	28,8	29,0	30,2	28,2	24,4	29,1	6,8	48,0
PODOR 1939-57	22,8	24,3	27,6	29,9	32,2	32,1	30,8	29,7	29,9	30,4	27,4	23,5	28,4	6,1	46,5
ROSSO 1942-57	22,3	24,2	26,9	28,5	29,9	30,1	29,7	28,9	29,2	29,1	26,9	23,1	27,4	5,5	47,0
SAINT-LOUIS 1926-57	22,0	22,1	22,0	21,5	22,1	25,9	27,5	27,9	28,3	27,8	25,4	23,1	24,6	10,0	42,5

5.1.2. - Températures -

Le tableau n° 10 qui donne ces températures, montre la faible variation de ce phénomène dont la moyenne annuelle augmente régulièrement de Saint-Louis à Matam de 24°6 à 29°1 avec des amplitudes qui, comme la moyenne annuelle augmentent de Saint-Louis à Matam (tableau n° 11).

Tableau n° 11 - Températures moyennes maximums et minimums annuelles et amplitudes.

Stations	Moyennes	Maximum	Mois	Minimum	Mois	Amplitude
SAINT-LOUIS	24,6	28,3	Sept.	22,0	Janv. et Févr.	6,3
ROSSO	27,4	30,1	Juin	22,3	Janv.	7,8
PODOR	28,4	32,2	Mai	22,8	Janv.	9,4
MATAM	29,1	34,3	Mai	23,5	Janv.	10,8

Comparées aux précipitations sous forme de diagrammes ombrothermiques de Gaussen (figure n° 6), dont l'intérêt principal est de permettre une classification des climats, elles montrent encore l'existence d'un léger fléchissement de la température au début de la saison des pluies qui atteint 1°2 pour Rosso, 2°4 pour Podor, 5°5 pour Matam alors qu'à Saint-Louis la température continue à s'élever jusqu'à son maximum de 28°3.

Tableau - TEMPERATURES DU SOL - (Renseignements dus à l'obligeance des Services de l'ASSECNA de DAKAR et de NOUAKCHOTT).

N° 12

S T A T I O N S			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne	
SAINT-LOUIS																
moyenne 1966-67 et 1968 1968	10 cm 20 cm 50 cm 1 m	6 h	19,75	21,01	22,41	22,71	24,05	25,48	25,47	28,03	27,81	27,73	25,31	21,83	24,29	(27,79
		12 h	22,71	24,26	26,21	27,02	27,70	29,52	31,11	32,45	32,07	31,30	28,17	24,08	27,21	
		18 h	28,92	30,66	35,23	32,11	32,33	33,61	35,04	35,03	33,94	34,12	31,34	28,82	31,87	
		12 h	24,08	26,02	26,44	26,79	28,24	28,49	30,02	30,36	29,96	29,92	27,62	25,17	27,67	
		12 h	24,66	25,32	25,77	26,79	27,54	28,32	29,85	30,49	30,25	30,34	28,64	26,30	27,85	
		12 h	25	25	25,75	26	27	27,75	29,5	30,5	30,25	31	29,5	27,75	27,9	
PODOR																
moyenne 1966-67 et 1968 1968	10 cm 20 cm 50 cm 1 m	6 h	20,34	23,64	26,77	29,57	32,20	32,62	31,89	34,31	30,52	30,10	27,62	23,05	28,55	(32,24
		12 h	22,34	25,35	28,07	31,71	34,77	34,56	33,73	33,06	32,67	31,99	29,38	24,75	30,28	
		18 h	29,41	33,66	37,22	41,05	44,01	43,54	42,02	40,80	39,32	37,93	35,94	30,85	37,98	
		12 h	24,33	26,76	28,29	32,42	34,58	35,25	34,73	34,39	33,32	32,78	30,29	27,55	31,16	
		12 h	26,32	28,00	30,28	33,26	35,07	36,14	35,90	35,66	34,31	34,14	37,71	28,92	32,78	
		12 h	26	27,25	29,75	32	33,75	34,75	34,75	34,75	34,8	34,5	33	30,5	32,10	
NATAM																
moyenne 1966-67 et 1968 1968	10 cm 20 cm 50 cm 1 m	6 h	23,72	24,46	24,46	32,20	37,25	32,64	30,62	30,87	29,76	21,31	30,27	26,91	30,11	(33,09
		12 h	25,75	28,33	32,87	35,49	36,85	35,08	32,38	32,48	31,78	37,03	32,96	28,70	32,48	
		18 h	32,30	34,34	36,15	41,25	40,64	38,03	35,75	35,86	35,04	37,74	37,87	34,24	36,68	
		12 h	27,06	28,45	32,24	34,62	32,52	34,94	33,31	33,18	32,25	33,72	33,24	29,70	32,19	
		12 h	28,39	30,39	32,39	34,45	35,63	35,16	34,00	33,64	32,25	33,98	30,89	33,00		
		12 h	29,65	31,2	32	33,7	34,7	34,55	33,65	34,2	34,5	34,5	32	33,20		
ROSSO (R.I.M.)																
moyenne 1966-67 1968	5 cm 10 cm	6 h	15,71	18,20	19,45	20,89	22,78	24,55	29,07	26,19	26,14	24,98	22,22	17,16	22,27	(30,40
		12 h	26,38	28,65	31,79	34,14	36,09	36,14	36,10	36,91	36,9	37,17	33,00	28,27	33,29	
		18 h	28,39	32,80	36,78	39,31	40,53	43,01	38,65	36,06	35,53	32,86	28,61	35,66		

Les diagrammes ombrothermiques (Bagnouls et Gaussen - 1953) permettent de définir la saison sèche en fonction des précipitations et de la température. Un mois sec est un mois où les précipitations totales sont inférieures à deux fois la température moyenne. Il suffit donc de construire les courbes des températures et des hauteurs de pluies en adoptant pour les températures une échelle double de celle des hauteurs de pluie (fig. n° 2). Ces diagrammes donnent pour Saint-Louis, Rosso et Podor une saison sèche comprenant les mois d'octobre à mai pour Matam cette saison est plus courte et va du mois de juillet au mois de juin. A partir de ces données, il est possible de calculer l'indice xérothermique qui est le rapport de la température moyenne au cours de la saison sèche sur la hauteur de pluie au cours de la saison sèche. Cet indice est :

294 pour Saint-Louis

293 pour Rosso

290 pour Podor

263 pour Matam

Il diminue de Saint-Louis à Matam et il est possible de classer ces stations en climat subdésertique à très longue saison sèche.

La température du sol est mesurée par les soins de l'ASSECNA, sur les aérodromes de la vallée du Sénégal, aux profondeurs de : 10, 20, 50 et 100 m. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau n° 12. Malheureusement ces mesures ne portent que sur 3 ans et les moyennes peuvent encore paraître suspectes. Elles sont cependant comparables aux résultats calculés suivant les normes du Service de Conservation des Sols des Etats-Unis (SMITH - 1954) en ajoutant 2° à la température moyenne annuelle, cette valeur correspondant à la température du sol, à 60 cm. Les moyennes annuelles calculées et observées sont les suivantes :

.../

Tableau n° 13 - Températures du sol calculées et observées.

Profondeur	Valeurs calculées (1939-1964) à 50 cm	Températures observées moyennes 1966 - 67 - 68			1968
		10 cm	20 cm	50 cm	
<u>Stations</u>					
Saint-Louis	26°6	27°79	27°67	27°85	27°9
Rosso	29°4	30°40	non observées		
Podor	30°4	32°24	31°16	32°78	32°10
Matam	31°1	33°09	32°19	33°00	33°20

La comparaison des valeurs obtenues par le calcul et les observations à 50 cm ne diffèrent que de 5 à 10 %. Elles sont suffisantes pour être utilisées pour la classification américaine des sols.

5.1.3. - Vent -

Les résultats du tableau n° 14 permettent de constater :

1°/ que les périodes calmes où le vent ne souffle pas augmentent de Saint-Louis à Matam où elles occupent plus de la moitié du temps ;

2°/ que les directions préférentielles sont :

- à Saint-Louis le secteur N et NNW ;
- à Rosso le N et le NE ;
- à Podor aucune direction préférentielle ;
- à Matam le NW.

TABLEAU N°14 - NOUVEAU DE FOIS, POUR 100, AU COURS DE LA PERIODE D'OBSERVATION, DUS LE VENT A CHAQUE DES DIRECTIONS

	N	NE	E	SE	S	SW	W	WN	NW	NN	Calme	Vitesse maxi. en m / sec						
MATAM 1951-57	3,2	1,8	5,8	3,0	3,8	0,7	4,0	0,3	1,4	0,1	3,3	0,2	8,9	11,6	0,3	54,3	7 à 14	
PODOR 1951-57	4,8	3,2	8,0	2,6	5,6	2,8	2,3	0,7	2,9	2,3	6,4	2,8	8,4	5,4	2,0	37,7	7, à 14	
ROSSO 1951-57	16,8	0,2	16,9	1,6	7,3	0,3	0,8	0,0	3,2	0,0	0,7	0,4	11,8	0,5	0,6	22,4	7 à 14	
SAINT-LOUIS 1951-57	9,4	7,9	6,1	3,6	1,6	0,4	0,8	0,5	0,8	2,3	3,0	4,5	5,7	9,8	18,6	19,2	6,4	7, à 14

5 N.

TABLEAU N° 15 -- EVAPORATION - MOYENNE MENSUELLE POUR LA PERIODE EN m/m

station et période	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
SAINT-LOUIS													
1950-57	183,5	140,6	136,4	101,4	75,3	82,2	107,8	106,0	115,4	114,5	137,5	119,7	1 421,4
ROSSO	277,6	292,2	361,5	366,5	384,7	325,7	235,7	199,3	158,4	198,3	201,2	234,2	3 237,3
PODOR	252,7	262,3	361,1	390,0	438,9	363,4	264,9	185,4	130,5	170,3	185,0	186,9	3 192,3
MATAM	270,5	281,6	390,6	426,1	464,0	400,1	230,6	147,9	124,0	169,0	199,6	240,5	3 353,5

Le vent d'E, chaud et sec, n'est pas très fréquent, il se manifeste surtout à Rosso, un peu moins à Podor, encore moins à Matam et disparaît presque à Saint-Louis. Lorsqu'il souffle, la température s'élève beaucoup et il provoque le transport de sables.

3°/que la vitesse maximum du vent ne dépasse pas 14 m/sec, c'est-à-dire environ 55 km/h, c'est un vent déjà érosif dont les effets sont surtout sensibles dans les zones à faible végétation. Ces effets se compliquent de la formation de tourbillons dans les zones surchauffées, pendant les heures de forte chaleur, dont le pouvoir d'érosion est très net. Il y a donc coexistence de deux phénomènes :

- a/ - le transport au ras du sol d'éléments relativement grossiers qui vont s'accumuler dans les zones abritées et former des amas d'apparence allongée, appelés reboub au Sahara, des voiles éoliens ou encore des lunettes autour des cuvettes salées ;
- b/ - l'arrachement des poussières fines par les tourbillons et leur transport lointain par le vent.

Ces phénomènes sont aggravés par le piétinement des troupeaux.

5.1.4. - Evaporation (tableau n° 15)

L'évaporation annuelle qui atteint 1.421 m/m à Saint-Louis dépasse 3.000 m/m dans toute la vallée, elle n'est donc pas compensée par la pluie.

Au cours de l'année cette évaporation subit un fléchissement pendant la saison des pluies, mais ce n'est qu'au mois d'août et seulement pour Saint-Louis et Matam qu'elle est compensée par les précipitations.

La conséquence climatique est donc que la pluie ne pourra guère s'infiltrer dans le sol et y produire des mouvements de substances dissoutes. Actuellement la preuve en est donnée par l'existence dans les sols de la vallée de teneurs en sels appréciables non encore lessivés depuis le dépôt en milieu marin des sédiments postnouakchottiens, âgés de 5.000 ans environ.

La seule possibilité d'évolution de sols se rencontre dans les cuvettes inondées par la crue ou les marées et dans les zones où une nappe peu profonde peut exister.

5.1.5. - Conclusions pour les sols -

Les conclusions des constatations précédentes sont :

1°/ l'influence extrêmement faible du climat actuel sur la formation des sols, et plus particulièrement sur les phénomènes biochimiques qui y participent, les sols évolués ne pouvant se développer que dans les parties inondées de la vallée.

2°/ l'influence des facteurs physiques, tels que le vent, sur le déplacement des particules solides et la formation de sols éoliens.

3°/ l'influence de l'évaporation sur la formation des sols halomorphes et sur la dynamique de l'eau du sol.

Enfin la connaissance de la température du sol, permet l'utilisation du système américain de classification des sols.

5.2 - La végétation (TROCHAIN 1940)

La végétation de la vallée du Sénégal en aval de Bakel est, au moins en partie sous la dominance de la crue annuelle. C'est une végétation sahélienne. Dans le delta elle appartient aux stations parhaliennes.

5.2.1 - Végétation des cuvettes et des terrains inondé

Cette végétation représente un pseudoclimax (TROCHAIN, 1940), un changement de région des crues sur un colmatage suffisant à la modifier.

Elle consiste en un boisement à *Acacia nilotica* dont le défrichement provoque le développement d'une savane à *Vetiveria*. En général, le boisement comprend les espèces suivantes :

<i>Acacia nilotica</i>	dominant
<i>Mitragyna inermis</i>	présent
<i>Panicum Sp.</i>	rare
<i>Mimosa asperata</i>	présent
<i>Acacia siberiana</i>	présent
<i>Bauhinia rufescens</i>	rare
<i>Faidherbia albida</i>	ça et là
<i>Ziziphus jujuba</i>	rare
<i>Ipoméa sulphurea</i>	rare
Quelques graminées des terrophytes des mares temporaires.	

Cette végétation occupe les terres recouvertes chaque année par les crues.

Les berges du fleuve possèdent une végétation particulière.

Sur les berges en pente douce, les apports annuels de limons acides, compacts, ne permettent l'installation que d'un tapis clair de térophytes non amphibies à évolution rapide progressant vers le lit mineur à mesure de la décrue. Ces plantes se comportant comme les éphémères du désert.

L'espèce pionnier est le *Cyperus radiatus* accompagné de *Gnaphalium niliacum*, *Polygorium plebeium* et *Ammania senegalensis* avec des compagnes dont *Heleochloa schoenoides* et *Eragrostis aegyptiaca*.

Sur les berges abruptes, la végétation est très fournie et formée de phanérophytes adaptées à une submersion temporaire. Elle commence au niveau d'étiage par un rideau continu de *Salix cotuloides* avec quelques individus d'autres espèces. Au-dessus apparaissent des buissons de *Mimosa asperata*, du vetiver et des lianes. Au sommet est installé un boisement à *Acacia nilotica* accompagné d'*Acacia sieberiana*, *Ziziphus mucronata*, etc.

Salix cotuloides est un saule qui se retrouve le long des cours d'eau du domaine soudanien, il perd ses feuilles peu avant la crue qui le submerge complètement.

5.2.2 - Végétation des terrains non régulièrement inondés

Ce sont les terrains appelés fondé.

La végétation la plus hydrophile est formée par la pseudostappe à *Bergia suffruticosa* et *Indigofera oblongifolia* elle apparaît lors du défrichement de la savane à *Acacia nilotica* et Vétiver. Elle occupe de vastes étendues plates et les touffes qui la constituent ne sont jamais en contact, laissant apparaître la surface du sol.

Le *Borreria verticillata* y est presque toujours présent avec diverses compagnes plus ou moins occasionnelles telles que *Capparis decidua*, *Bauhinia rufescens*, *Faidherbia albida*, *Chrozophora brocchiana*, etc...

Balanites aegyptiaca ainsi que d'autres essences peuvent apparaître par suite de colmatage.

La végétation de transition des terrains rarement inondés est, encore un pseudoclimax, à base d'*Acacia stenocarpa* avec d'autres acacias et *Balanites*, *Bauhinia*, *Ziziphus*, *Capparis*, etc...

Divers faciés de ce groupement existent, dont le plus important est celui à *Balanites aegyptiaca* dominant qui joue un rôle de transition dans la reconstitution du pseudoclimax primitif.

5.2.3 - Végétation des terrains jamais atteints par la crue

Ces terrains sont colonisés par une végétation identique à celle qui s'observe dans les mêmes conditions édaphiques, hors de la vallée du Sénégal. C'est une savane armée à *Acacia raddiana* qui en constitue la pseudoclimax avec *Tamarindus indica*.

5.2.4 - Végétation des sols salins

3 principaux groupements ont été observés :

A - Groupement à *Arthrocnemum glaucum* qui comprend outre l'*Arthrocnemum glaucum*, *Suaeda fruticosa*, *Cressa cretica*, *Tamarix senegalensis*.

Ce groupement qui ne s'éloigne guère de la cote, présente un faciés à *Salsola tetrandra* qui pénètre jusqu'à Richard-Toll.

Ces halophytes ne caractérisent pas le climat mais les terrains salés

B - Groupement à *Paspalum vaginatum*

Le *Paspalum vaginatum* est une plante d'origine probablement américaine qui se retrouve jusque sur le littoral des Landes (FRANCE) et dans toutes les tropiques.

Elle peut constituer des peuplements purs, ou être mélangée à des plantes diverses et même atteindre la mangrove. Elle supporte bien l'acidité, mais le groupement à *Paspalum vaginatum*, limité à des stations parhalie mes prospère dans les sols à salinité élevée mais bien tamponnés.

C - Groupement à *Sporobolus robustus*

Ce groupement est localisé au littoral.

Sporobolus robustus est une plante très vivace qui s'observe en peuplements purs ou en touffes éparses.

Il comprend outre le sporobolus : *Tamarix senegalensis*, *Cressa cretica*, *Philoxerus vernicularis* et de nombreuses compagnes ubiquistes des stations marécageuses, ou, des plantes d'autres groupements.

Le *Sporobolus robustus* peut-être submergé sans dommages.

Le groupement halophile à *Sporobolus* est moins aquatique que celui à *Paspalum vaginatum*.

5.2.5 - Mangrove

Le mangrove est la forêt tropicale à palétuviers de l'étage littoral des pays tropicaux.

Au Sénégal, la mangrove atteint, la partie septentrionale de son aire. Elle ne dépasse que très peu la région de Saint-Louis où elle n'est représentée que par des fragments incomplets du groupement.

Elle comporte essentiellement deux espèces : *Rhizophora racemosa* et *Avicennia nitida*. Ces deux espèces peuvent co-exister mais l'espèce pionnière est *Rhizophora racemosa*.

5.2.6 - Sols et végétation

Des considérations précédentes il apparaît que le rôle de la végétation sur la pédogénèse ne peut-être que restreint d'une part à cause de sa faible densité qui se traduit par une faible teneur en matières organiques des sols, d'autre part en raison de la faible humidité résiduelle des terrains après le passage de la cure.

Il est possible, dans une certaine mesure, d'admettre que le rôle de la végétation est principalement un rôle indicateur de l'inondation d'une part, de la salinité d'autre part.

Cependant ce rôle est limité en raison de la plasticité des végétaux et il est difficile pour un non spécialiste de reconnaître la durée d'inondation des terrains par leur flore, de même qu'il est difficile de reconnaître le degré de salinité d'un sol par les plantes qui le colonisent. Seule la mangrove paraît indiquer nettement que les terrains qu'elle occupe sont engorgés par l'eau et fortement salée.

Dans ces conditions il faut garder à la végétation un rôle indicateur de la présence des sels dans le sol, plus qu'un rôle indicateur stricte de sa nature ou de son degré de salinité.

5.3 - Hydrologie

Ce chapitre traite de la crue du Sénégal, de l'inondation de la vallée et des nappes alluviales permanentes ayant une action sur la formation ou l'utilisation des sols.

5.3.1 - La crue du Sénégal

Il ne sera question ici que de l'allure de la crue et de sa conséquence sur l'inondation de la vallée (HENRY -1918).

La crue du Sénégal est alimentée par les précipitations qui commencent en avril dans le Fouta Djalon, deviennent abondantes en Mai dans le massif de Timbis et amorcent la crue de la Falémé et du Bafing puis du Bakhoy. Ces eaux ruissellent rapidement et atteignent la vallée alluviale à Bakel. Fin Mai, début Juin, la crue du Baoulé, puis en Juillet, celle du Kaoulou apportent leurs eaux à la crue générale du fleuve, conduite par bonds successifs à son maximum.

Dans la partie haute de la vallée alluviale, à Bakel en particulier la crue est très irrégulière, elle se propage jusqu'à Matam où ces irrégularités commencent à s'atténuer, pour disparaître vers l'aval avec quelques accidents dus aux apports des affluents du fleuve qui perturbent cette régularité principalement à Kaédi où il reçoit le Gorgol.

Très vite, pendant la montée de la crue, les eaux quittent le lit mineur, envahissent les marigots et finissent par submerger l'ensemble de la vallée. Seules émergent les quelques parties hautes du relief sur lesquelles se sont installés des villages.

Les tableaux n° 16 à 18 donnent un certain nombre de renseignements, accessoires pour la pédogénèse, donnés ici à titre indicatif (ROCHETTE et TOUCHEBOEUF - 1964).

A Bakel la décrue est très rapide, les eaux abandonnent le lit majeur et s'écoulent par le lit mineur, en même temps les biefs d'amont se vident peu à peu et régularisent le débit et contribuent à ralentir la baisse des eaux vers l'aval.

Une fois la crue écoulée, la marée se fait sentir jusqu'au seuil de Diouldé Diabé.

Tableau n° 16 - Amplitude maximale de la crue en année moyenne.

(altitudes absolues I.G.N. en m.), maximum et minimum observés au maximum de la crue.

	BAKEL	MATAM	KAEDI	BOGUE	PODOR	DAGANA	ST-LOUIS
Maxim.	22.11	15.10	12.05	8.05	5.35	3.20	1.05
Etiage absolu	11.56	6.25	3.40	0.40	0.05	0	0
Amplitude	10.55	8.85	8.65	7.65	5.30	3.20	1.05
Maxim. observé	1922/ 24.36	1922/ 16.37	1936/ 13.25	1922/ 10.17	1936/ 8.24	1936/ 5.39	- -
Minim. observé	1913 16.96	1913/ 12.22	1913/ 9.65	1913/ 6.57	1913/ 3.94	1913/ 2.69	- -

Tableau n° 17 - Dates du maximum de la crue (1935-1959)

	Dates extrêmes		Intervalle minimal englobant 67% des hauteurs maximums		Intervalle minimal englobant 33% des hauteurs maximums	
BAKEL	22.8	9.10	28.8	21.9	9.9	18.9
MATAM	23.8	17.10	7.9	25.9	13.9	19.9
KAEDI	29.8	23.10	10.9	26.9	18.9	24.9
BOGUE	3.9	5.11	23.9	13.10	23.9	28.9
PODOR	15.9	16.11	30.9	19.10	11.10	15.10
DAGANA	16.9	23.11	3.10	25.10	16.10	23.10

Tableau n° 18 - Vitesse de propagation :
Temps de propagation en jours de Bakel à :

	MATAM	KAEDI	BOGUE	PODOR	DAGANA
Valeur maxim.	23	27	36	47	55
Valeur de :					
25 %	8	17	27	40	48
50 %	5,5	11	23	34	38
75 %	3	8,5	17	26	33
Valeur minim.	1	4	6,5	11	12

A l'étiage, le débit du Sénégal ne suffit plus à alimenter l'évaporation et l'eau de mer pénètre dans l'estuaire du fleuve et le remonte jusqu'à Dagana et dépasse, en général, Fanaye.

De ces considérations, il faut retenir :

- 1) que les terrains de la vallée du Sénégal sont submergés chaque année et que cette submersion s'étend sur une période qui peut varier de un à trois mois suivant la cote des terrains considérés et l'importance de la crue.

- 2) que l'eau salée envahit la basse vallée du fleuve dès la fin de la crue et remonte au moins jusqu'à Dagana. Cette eau salée va jouer un grand rôle dans la pédogénèse de la zone du delta. En effet, le marnage dû aux marées est de 1m à St Louis et est encore de 50 cm à Dagana. Il s'en suit que certains chenaux qui parcourent le delta sont alimentés périodiquement par l'eau salée. D'autre part, au moment de l'arrivée de la crue, l'inertie opposée par l'eau salée à la propagation de l'eau douce va élever son niveau et cette eau envahira les cuvettes ayant un seuil à une cote suffisamment basse, elle y sera piégée tout le temps du passage de la crue, qui ne fera que la diluer, et ne pourra s'évacuer qu'à l'étiage.

5.3.2 - L'inondation des cuvettes du delta

Cette inondation a été observée par les services de la M.A.S. pour le Sénégal et a fait l'objet d'une étude particulière de la S.O.G.R.E.A.H. (1964) pour la partie du delta située en Mauritanie.

A - Régime d'inondation des cuvettes du delta, en rive sénégalaise, avant la construction de la digue (1964).

Les cuvettes de cette rive seront examinées successivement - carte n° 7 - Cuvette de N'Thiagar alimentée par un seuil situé à la cote + 1,86 m I.G.N., cette cuvette ne reçoit que de l'eau douce de la crue du Sénégal.

Cuvettes de Djeuleuss et de Diambar, ces cuvettes recevaient de l'eau salée par un parigot, le Gorom, alimenté par un seuil situé à la cote - 2,29 m I.G.N..

En 1900, afin de constituer une réserve d'eau douce pour alimenter la ville de Saint-Louis, un barrage a été construit à Rong, afin que seule l'eau douce de la crue du fleuve puisse entrer. Depuis cette époque les cuvettes du Djeuleuss et de Diambar ne reçoivent plus que de l'eau douce.

CARTE DU CHEMINEMENT DES EAUX DES CRUES STATIQUE ET DYNAMIQUE DANS LE DELTA DU SENEGAL



Le Gorom se poursuit par le Lampsar qui reçoit le Kassak, continuation du Diévol. L'ensemble de ces marigots constitue la réserve en eau de St-Louis et les cuvettes qui en sont tributaires ne reçoivent plus depuis la construction du barrage de Boundoum sur le Gorom et celui de Rong que de l'eau douce. Ce sont les cuvettes de Kassak nord, Kassak sud, grande digue, Tellel, Lampsar, Savoigne et du pont du gendarme.

Cuvette de Boundoum nord - Tous les ans, en début de crue elle est alimentée par une invasion modérée d'eau salée en provenance du Gorom aval, refoulée par la crue dans Gafla. Ensuite, elle est alimentée en eau douce par un seuil situé entre les villages de Diaouar et Ouassoul à la cote + 0,54 m I.G.N.. A la décrue il y a reflux de toute l'eau de la cuvette qui ne fonctionne pas comme piège à sels.

Cuvette de Boundoum ouest - Alimentée en début de crue par l'eau salée du Gorom aval qui y pénètre par le marigot de M'Bawar. Cette eau salée franchit le seuil formé par les levées du marigot du Djeuss et envahit la partie est de la cuvette et ne peut en ressortir. Cette zone fonctionne comme un piège à sels malgré les quelques apports d'eau douce qui se produisent quand la crue est bien établie.

Cuvette de Debi - Alimentée en eau par le marigot de N'Depelout. En début de crue cette eau est salée ; mais compte tenu de la cote de la cuvette, de l'ordre de 1 m, cette eau n'y pénètre qu'en petite quantité alors que l'absence de seuil permet, à chaque crue, une pénétration abondante d'eau douce. Les eaux salées du début de la crue sont diluées par l'eau douce qui est en grande partie évacuée au moment de la décrue.

Cuvette du Djondj - cette grande cuvette est alimentée en eau salée en début de crue par le marigot du Djondj dont le seuil est à la cote - 3 m I.G.N.. Elle reçoit en outre les eaux des marigots de Diar et de Knor, défluent du Gorom aval, qui y apportent de l'eau très salée. Enfin, elle reçoit encore des débordements du Sénégal entre Debi et le Gorom. L'eau douce y arrive plus tard, quand la crue est bien établie par deux petits marigots situés à l'est de l'île au Caïman dont les seuils

sont aux cotes 1,68 et 1,18 m I.G.N..

Cuvette du Djeuss, subdivisée en Djeuss, amont I, Djeuss amont II et Djeuss aval qui ont des alimentations en eau très différentes.

Le Djeuss amont I est alimenté en eau salée, en début de crue, par le marigot de Dieg dont le seuil est à la cote 0,5 I.G.N., il reçoit en outre les déversements en nappe du Gorom au nord de Tounde Rone et dans la partie est de la cuvette. L'eau salée y est piégée.

Le Djeuss amont II, situé entre les digues de Maraye et de Samba Sow, est alimenté par l'aval. En début de crue lorsque le lampsar commence à apporter de l'eau douce, le barrage de Dakar Bango construit en 1939, étant fermé, l'eau saunâtre du Djeuss aval est refoulée dans le Djeuss amont II dont les digues sont ouvertes à cet effet quinze jours par an. Cette cuvette fonctionne donc comme piège à sels et l'eau y est extrêmement salée.

Le Djeuss aval fait partie de la réserve d'eau douce de St-Louis et les sels en ont été lessivés par les eaux venant des barrages de Dakar Bango et de Diaoudoum qui restent ouverts pendant toute la durée de la cure.

Cuvette de N'Diael, reste alimentée en eau salée depuis le barrage de Diaoudoum, les marigots de N'Guine et de N'Diasseou qui la rejoignent par le Mengaye et le Haf. Elle fonctionne comme piège à sels.

Depuis 1964, une digue de ceinture isole toutes les cuvettes, à l'exception des cuvettes de Djeuss amont II et de N'Diael. Un jeu de vannes permet de n'y admettre que de l'eau douce et si de l'eau salée y pénètre, ce n'est plus qu'accidentellement. L'eau qui a séjourné dans ces cuvettes est évacués après le passage de la crue dans l'espoir d'entraîner les sels qui ont pu être dissouts.

sont aux cotes 1,68 et 1,18 m I.G.N..

Cuvette du Djeuss, subdivisée en Djeuss, amont I, Djeuss amont II et Djeuss aval qui ont des alimentations en eau très différentes.

Le Djeuss amont I est alimenté en eau salée, en début de crue, par le marigot de Dieg dont le seuil est à la cote 0,5 I.G.N., il reçoit en outre les déversements en nappe du Gorom au nord de Tounde Rone et dans la partie est de la cuvette. L'eau salée y est piégée.

Le Djeuss amont II, situé entre les digues de Maraye et de Samba Sow, est alimenté par l'aval. En début de crue lorsque le lampsar commence à apporter de l'eau douce, le barrage de Dakar Bango construit en 1939, étant fermé, l'eau saumâtre du Djeuss aval est refoulée dans le Djeuss amont II dont les digues sont ouvertes à cet effet quinze jours par an. Cette cuvette fonctionne donc comme piège à sels et l'eau y est extrêmement salée.

Le Djeuss aval fait partie de la réserve d'eau douce de St-Louis et les sels en ont été lessivés par les eaux venant des barrages de Dakar Bango et de Diaoudoum qui restent ouverts pendant toute la durée de la cure.

Cuvette de N'Diael, reste alimentée en eau salée depuis le barrage de Diaoudoum, les marigots de N'Guine et de N'Diasseou qui la rejoignent par le Mengaye et le Haf. Elle fonctionne comme piège à sels.

Depuis 1964, une digue de ceinture isole toutes les cuvettes, à l'exception des cuvettes de Djeuss amont II et de N'Diael. Un jeu de vannes permet de n'y admettre que de l'eau douce et si de l'eau salée y pénètre, ce n'est plus qu'accidentellement. L'eau qui a séjourné dans ces cuvettes est évacués après le passage de la crue dans l'espoir d'entraîner les sels qui ont pu être dissouts.

B - Régime d'inondation des cuvettes du delta en rive Mauritanienne.

Aucun ouvrage n'a été construit pour empêcher l'inondation de ces cuvettes, elles restent donc dans leur état naturel. En général leur alimentation commence par l'aval, le flot d'eau qui les envahit circule en sens inverse du courant du fleuve, puis d'autres alimentations apparaissent complétant l'inondation et enfin une alimentation par l'amont se produit au moment de l'établissement généralisé, ou la crue.

Cuvette de M'Pourie - Cette cuvette, en réalité formée d'un système de levées actuelles et subactuelles, est alimentée dans une premier temps par un petit marigot situé à l'est de B'Diac qui lui apporte des eaux relativement salées auxquelles s'ajoutent des eaux de crue qui passent par des ruptures de berge et plus tard des eaux qui ruissellent en nappe par les ouvrages de la route Rosso-Nouakchott en provenance du Garak. Elle n'est pas salée.

Cuvette de Seylat - Formée de levées alluviales actuelles ou subactuelles comme la précédente, elle est alimentée par un marigot situé en aval. Elle reçoit des eaux salées, puis des eaux douces de la crue.

Cuvettes tributaires du Gouère. Le Gouère est un marigot alimenté en eau salée prise située au PK 109. Il s'écoule ensuite vers l'est jusqu'à la cuvette du Bakh et vers l'ouest et participe à l'alimentation de la cuvette de Lakhmar.

Il fournit les premières eaux très salées de la cuvette du Bakh qui reçoit ensuite des eaux de la crue non salées par un écoulement de brèche du droit de B'Diac et enfin les eaux du Garak : l'alimentation de la cuvette qui se produisait par l'aval s'inverse alors.

Dans son cours vers l'est le Gouère participera à l'alimentation de la cuvette de Guien qui reçoit directement les eaux du fleuve par l'aval, où des brèches, largement ouvertes, permettent le passage des eaux.

Le réseau des écoulements comprend ;

Le N'Diadier dont la prise au PK 70 est menacée d'obstruction par les sédiments du fleuve : sa rive ouest est dominée par un important bourrelet éolien. Il n'est alimenté par le Diallo qu'en forte crue. Le lit du N'Diadier disparaît au bout de 12 - 13 km, son ancien cours, le Sorong, complètement désorganisé, se poursuit jusqu'aux Maringouins. Un nouveau cours relais le N'Diadier à l'aval, il traverse en nappe le bief de Tamiat et débouche dans l'Aftout es Sanel à Tiabaran. L'écoulement en nappe est la règle et atteint, en année moyenne, une largeur de 2 km.

Les eaux de la première onde de crue sont salées et sont situées ensuite.

La dépression de Chemama, non lessivée par la crue, est fortement salée.

La cuvette de Mohdad - L'ensemble de cette zone est au dessous du niveau marin moyen. En forte ou faible crue l'écoulement se fait toujours sud-Nord par le marigot Hassi Baba, alimenté par la grande dépression de Diouling. Quelques apports viennent du N' Diadier à l'extrémité du Sorong. Cette cuvette est un piège à sels caractérisé.

Cuvette tributaires du Tiallakt - La première cuvette, la plus au sud est la zone de Tiallakt formés à l'ouest par une plage lagunaire recouverte d'argile de Slikkes anciens en limite de submersion, bordée à l'est par des levées anciennes du fleuve et comprenant le marigot de Tiallakt avec quelques levées récentes, en rive, convexe, envahies par les eaux marines.

Au nord de cette zone déprimée, le Tiallakt se subdivise en deux marigots le N'Dioule et le Bell.

La dépression de Gadianguer, pénétrée par le N'Dioule comprend en bordure du marigot des slikkes anciens et des accumulations éoliennes insubmersibles. La mangrove obstrue le chenal du N'Dioule dans sa partie sud. Les eaux salines piégées en début de crue y maintiennent une salinité élevée pendant la période de submersion par crue moyenne ou faible.

Le bas fond de M'Zeifira a un caractère estuarien très net, il est inondé par les eaux marines de l'étiage. La première onde de crue vient du sud puis s'y ajoutent des eaux de débordement du fleuve et des ruissellements en provenance de la zone de Gadianguer. Il est traversé par le Bell qui participe à son alimentation et en fait ainsi un tributaire secondaire du Tiallakt.

La zone de Diaouling est facilement alimentée par l'aval par le Tiallakt et le Bell et par des écoulements directs, à partir du fleuve, qui empruntent le marigot de Oualalan, le seuil de Seylat et le Marigot de Touigueurt.

Les apports aux dépressions de Diaouling sont limités, à l'étiage, aux marées de vives eaux et au début de la crue. Ils proviennent du Bell jusqu'à la cote 0,60 I.G.N., puis sont relayées par les apports des marigots de Touigueurt et sont complétés par les apports du Oualalan et du seuil de Seylat.

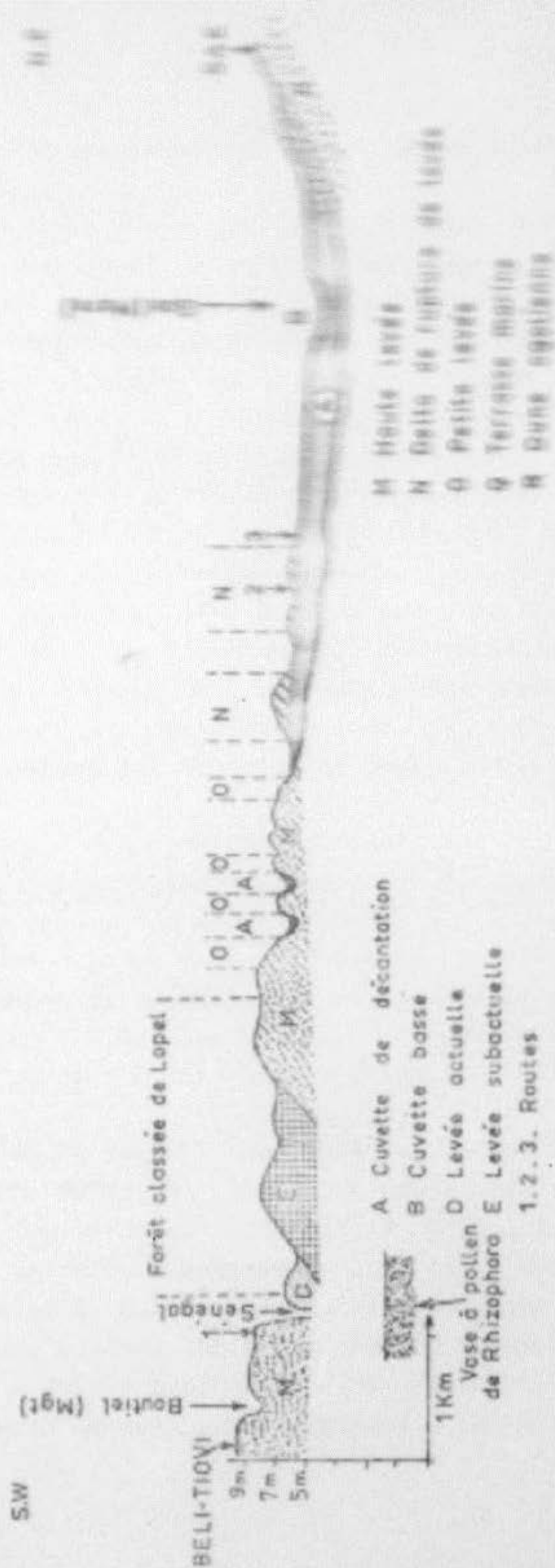
Enfin il s'ajoute à cette alimentation des débordements du fleuve par ses levées lorsque la crue atteint 1,60 m I.G.N..

Cet ensemble Tiallakt - Bell et N'Diouli permet de capturer un maximum de sels au fleuve en un minimum de temps. Pendant la période d'accumulation qui va du 15 juin au 15 août des eaux à 180 g de sels par litre ont été observés, la teneur moyenne des eaux de Diaouling étant de 80 g par litre. Lorsque la montée des eaux de la crue est rapide, les eaux très salines sont repoussées vers le Nord et rejoignent finalement l'Aftout es Sahel où les sels s'accumulent sans retour à l'Océan. La dilution se produit mais la salinité résiduelle reste relativement forte : 1 à 5 g/l.

Cuvette du Reou. Le fond de cette cuvette isolée du fleuve est très plat et la submersion y est brutale. Le fond situé à la cote 0,60 m I.G.N. fonctionne comme piège à sels.

Cuvette de Berete - Dépression argileuse entre les terrasses marines accolées à la dune à l'Est et les levées récentes du fleuve à l'Ouest. Elle comprend au sud un remblayage récent avec cuvettes. Le bas fond de sa partie nord piège les

Figure n°4 COUPE DE LA PLAINE DE BOGUE (R.I.M)
DE BELTIOVI (Sénégal) A SAE (R.I.M)



cette eau est de l'eau de mer piégée au post nouakchottien et concentrée sur place.

Toujours dans cette plaine, un certain nombre de puits, des dunes de l'Ogolien ont permis d'observer des nappes qui alimentent, en bordure de la plaine de Bogué, des oglats, points d'eau plus profonds, creusés dans la terrasse marine dans laquelle ils provoquent une certaine hydromorphose (DURAND, 1964). La figure n° 4 donne une idée de la disposition des terrains et de la circulation des nappes de la plaine de Bogué.

Une étude hydrogéologique de la nappe phréatique du haut delta du fleuve Sénégal a été faite par le B.R.G.M. (LALEYE, 1964). Elle a conclu que le Sénégal paraît suspendu au dessus de la nappe des alluvions, même pendant ses plus basses eaux, et qu'il ne l'alimente pas directement. L'alimentation principale de la nappe se ferait par l'inondation des terrains et son drainage par évaporation. Dans cette zone, la nappe est suffisamment profonde pour ne pas avoir d'influence sur les sols.

L'étude des nappes des cuvettes de Diouloutou et N'Degoundiac a confirmé l'alimentation par les eaux d'inondation avec participation faible des eaux des dunes qui entourent ces cuvettes. Le drainage ne peut se faire que par évaporation, la côte de la nappe descendant dans les deux cas, nettement au dessous de zéro I.G.N.. Par contre, la nappe, très salée, a une nette influence sur les sols. (DURAND et COUTINET, 1968).

Au cours de l'étude des sols des cuvettes du delta du Sénégal (BEYE, DURAND, MUTSAARS, 1967), une nappe très salée a été repérée dans les cuvettes du Djoudj, Boundoum, Djeuss, N'Diaël et Débi, à une profondeur maximum de 1 m. Cette nappe est dangereuse pour les sols, surtout lorsqu'elle imprègne des argiles comme à Boundoum, ou dans les points bas du Djoudj. La nappe qui se rencontre à faible profondeur dans les cuvettes de Tellel, Grande Digue et Kassak, peu minéralisée, est moins gênante.

5.3.4 - Hydrochimie

Les analyses d'eaux de la vallée ou du delta du Sénégal ne permettent pas d'avoir une idée complète de leurs caractères chimiques, mais elles peuvent orienter les idées. Leurs résultats ne constituent qu'une information supplémentaire pour la mise en valeur des sols.

L'examen de ces analyses sera subdivisée d'après l'origine des eaux : eaux de surface : fleuve et mares, eau des nappes.

A - Eaux superficielles

a) Sénégal et affluents -

Les analyses des eaux du Sénégal et de ses affluents sont groupées dans le tableau n° 19.

Ces analyses révèlent la faible minéralisation du Sénégal dans sa partie amont, minéralisation qui augmente vers l'embouchure. Le Gorgol est nettement plus minéralisé que le Sénégal, mais cette minéralisation reste faible. Vers l'aval, la minéralisation augmente et atteint à son embouchure, à hauteur du phare de Gandiole une valeur voisine de celle de la mer. Les marigots qui dépendent du fleuve sont nettement plus minéralisés que lui en particulier le Bourouage qui joue le rôle d'une vaste zone d'évaporation, alimentée par des eaux déjà très salines.

Tableau n.° 19 - Analyses des eaux du Sénégal et de quelques affluents

Origine	Ce 25°C	pH	Résid. sec g/l	Mat. organ. mgO ₂ /l	m.é./litre							
					Ca	Mg	K	Na	CO ³ H	Cl	SO ⁴	SO ⁴ Cl
SENEGAL à												
Kaédi 19.03.54	79	7.6	0.069	-	0.27	0.46	0.03	0.08	0.90	0.24	néant	0
M'Bagué- Bodj 21.02.54	82	9.6	0.059	-	0.23	0.31	0.03	0.14	0.55	0.38	0.15	0.35
5.03.54	63	7.35	0.057	-	0.28	0.24	0.02	0.08	0.08	0.05	0.19	4.0
Bakao Akibé 10.03.54	56	7.25	trouble	-	0.24	0.39	0.04	0.09	0.80	0.32	néant	0
Diaga 25.03.59	21 830	-	-	-	7.4	44.1	5.69	186.0	1.5	217.8	22.59	0.1
Diaga 03.03.59	47 500	6.6	27.7	26.0	25	60	9	275	15	350	0.9	0.002
Diaga 03.03.54	168	6.9	trouble	-	0.57	0.63	0.25	0.31	0.70	0.37	0.23	0.62
N'dallam 8.03.59	6 757	-	-	-	3.08	11.72	1.12	50.0	2.59	54.45	4.45	0.8
Leybar 6.03.63	40 000	6.2	23.2	25.5	15	60	7	240	7	295	20	0.06
Bourouage 6.03.63	60 500	6.4	43.0	37.5	25	75	10	325	15	405	1.2	0.003
Mer à N'Diogo 20.03.65	47 573	7.8	39.25	-	21.01	114.9	12.8	521.7	3.07	605.6	59.05	0.002

Le rapport $\text{SO}_4^{4-}/\text{Cl}$, voisin de 0,1 pour la mer est très variable. Il est de 0,1 pour le Sénégal à Diama, de 0,8 dans le N'Gallam et diminue dans le Leybar et surtout dans le Bourouage où il est de 0,003, indiquant une réduction et une précipitation des sulfates. Ce rapport s'annule dans la partie amont du Sénégal pour la même raison, en même temps que les ions bicarbonates augmentent.

Il n'est pas question d'utiliser les eaux fortement salines de la basse vallée du Sénégal pour l'irrigation normale. Celles de la vallée poseront certains problèmes, en raison de leur faible minéralisation, si elles doivent être utilisées pour l'irrigation. A ces risques s'ajouteront les dangers d'alcalinisation qu'elles pourraient présenter, pour les sols, en raison de leur teneur en ions CO_3^{3-}H . Les eaux du Gorgol, plus minéralisées paraissent meilleures.

b) - Eaux de mares -

Quelques eaux des mares de la vallée ont été analysées à l'occasion de prospections antérieures. Les résultats de ces analyses confirment la faible minéralisation des eaux du fleuve en amont de Dagana. Le tableau n° 20 donne les quelques résultats disponibles.

Tableau n° 20 - Eaux de quelques mares de la vallée. Mars - Avril 1964

Origine	CE 25°C en micro- mhos	pH	Rési- du sec mg/l	m.é. par litre							$\frac{SO_4}{Cl}$
				Ca	Mg	Na	K	CO_3H	Cl	SO_4	
<u>DAR EL BARKA :</u>											
Grande Mare	191	7.3	trou- ble	0.52	0.44	0.90	0.22	1.27	1.02	0.46	0.45
Siou	65	7.6	72	0.29	0.25	0.09	0.05	0.82	0.24	néant	0
<u>BOGUE :</u>											
Vindou à l'ouest de l'escale	68	7.2	trou- ble	0.26	0.37	0.16	0.09	0.47	0.32	0.09	0.28
Marigot de Bogué	78	7.2	trou- ble	0.29	0.33	0.28	0.09	0.90	0.37	néant	0
S A E	110	7.8	289	0.36	0.42	0.33	0.09	0.33	0.54	0.57	1.09

Ici encore la disparition totale des sulfates de certaines eaux est le signe d'activités biologiques certaines. Ce phénomène s'accompagne d'une élévation des ions CO_3H pouvant rendre dangereuse l'emploi de ces eaux pour l'irrigation en raison du danger possible de formation de carbonate de soude qui pourrait s'accumuler dans le sol.

Ces eaux superficielles n'influencent la pédogénèse que sur les terrains qu'elles inondent.

Dans le delta il existe des marigots ne contenant que de l'eau douce tels que le Natchié, d'autres comme le Diovol sont un peu salé, mais les mares ou marais sont très salés. Le tableau n° 21 donne quelques exemples d'analyses de ces eaux.

Tableau n° 21 - Eaux du delta - Marigots - mares -
(Novembre 1964)

Origine	CE 25°C en micro mhos	pH	Rési du sec mg/l	Mat org 0,2% en mg	m.é par litre							SO ₄ Cl
					Ca	Mg	Na	K	CO ₃ H	Cl	SO ₄	
Mare 4è centre	19000	7.2	15800	42.5	34.3	51.9	105.0	1.1	1.5	182.5	7.2	0.03
Mare Diovol S.	18552	7.55			40	32	153.0	0.81	28	188	13	0.06
Diovol	2450	7.8	1240	22.0	2.4	5.2	13.0	0.1	2.2	20.5	0.1	0.004
Natchié	126	7.7	100	5.60	0.3	0.5	0.4	0.1	0.8	0.4	0.1	0.25
Taouey	218	8.1			0.72	0.91	0.72	0.26	2.5	0.4	0	-
Lac de Guiers au N.	267	7.95			1.20	0.41	0.94	0.13	1.12	0.89	0.12	0.13
Marais de Guem beul mars 1969	231400	-	-	-	12	10.4	3.847	99.4	10.6	4.722	364	0.07

Ici encore la teneur relative en sulfates est variable et témoigne de l'existence de phénomènes biologiques de réduction. L'analyse des eaux du marais de Guemboul révèle leur forte minéralisation et montre le rôle de machine évaporatoire de ce marais.

Ces eaux salées jouent un rôle sur la pédogénèse des terrains voisins des mares qu'elles forment en leur fournissant des sels solubles.

Certains marigots, tels que le Gorom et le Lampsar servent actuellement de réserve d'eau douce pour Saint-Louis, cette eau sera peut-être un jour disponible pour l'irrigation.

Tableau n° 21 - Eaux du delta - Marigots - mares -
(Novembre 1964)

Origine	CE 25°C en micro mhos	pH	Rési du sec mg/l	Mat org O ₂ /l efi mg	m.é par litre							SO ₄ Cl
					Ca	Mg	Na	K	CO ₃ H	Cl	SO ₄	
Mare 4è centre	19000	7.2	15800	42.5	34.3	51.9	105.0	1.1	1.5	182.5	7.2	0.03
Mare Diovol S.	18552	7.55			40	32	153.0	0.81	28	188	13	0.06
Diovol	2450	7.8	1240	22.0	2.4	5.2	13.0	0.1	2.2	20.5	0.1	0.004
Natchié	126	7.7	100	5.60	0.3	0.5	0.4	0.1	0.8	0.4	0.1	0.25
Taouey	218	8.1			0.72	0.91	0.72	0.26	2.5	0.30		-
Lac de Guiers au N.	267	7.95			1.20	0.41	0.94	0.13	1.12	0.89	0.12	0.13
Marais de Guem beul mars 1969	231400	-	-	-	12	10.4	3.847	99.4	10.6	4.722	364	0.07

Ici encore la teneur relative en sulfates est variable et témoigne de l'existence de phénomènes biologiques de réduction. L'analyse des eaux du marais de Guemboul révèle leur forte minéralisation et montre le rôle de machine évaporatoire de ce marais.

Ces eaux salées jouent un rôle sur la pédogénèse des terrains voisins des mares qu'elles forment en leur fournissant des sels solubles.

Certains marigots, tels que le Gorom et le Lampsar servent actuellement de réserve d'eau douce pour Saint-Louis, cette eau sera peut-être un jour disponible pour l'irrigation.

B - Eaux des nappes -

L'examen de ces eaux comprendra une revue rapide des eaux des puits et oglats et de celles des nappes rencontrées dans l'étude des sols.

a) Eaux des puits et oglats

Ces eaux ont été observées principalement à l'occasion de la prospection de la plaine de Bogué (DURAND, 1964). Elles sont subdivisées en eaux des puits et eaux des oglats. Les puits exploitent la nappe du diéri ou dunes rouges ou, à Diama, de la base du cordon littoral. Les puits sont matérialisés par des constructions permettant le puisage de l'eau qui se trouve à une certaine profondeur. Les oglats au contraire exploitent la nappe de la terrasse marine proche de la surface, venant des eaux des dunes voisines et concentrées par rapport à elles. Le tableau 22 donne quelques analyses de ces eaux.

Tableau n° 22 - Analyses d'eaux de quelques puits et oglats

Origine	CE 25°C en micro. mhos	pH	Rési du sec mg/l	m.é. par litre							$\frac{SO^4}{Cl}$
				Ca	Mg	Na	K	CO ³ H	Cl	SO ⁻⁴	
<u>Puits :</u>											
<u>Région de</u>											
<u>Bogué :</u>											
SAE	559	7.6	372	1.64	3.03	1.30	0.03	3.98	0.97	0.02	0.02
Bondiéri	397	7.95	264	3.15	0.53	0.50	0.07	3.65	0.37	néant	0
Saré N'											
dogou Ba-	130	7.7	110	0.5	0.34	0.16	0.40	0.23	0.61	0.41	0.67
babé											
Saré N'											
dogou	349	7.5	250	3.33	0.21	0.11	0.10	2.41	0.40	0.26	0.65
Diadia-											
bé											
Douboun	126	8.15	252	0.13	0.94	0.33	0.22	1.49	0.67	0.64	0.92
gué											
Tialgou	674	7.25	476	4.75	1.18	1.0	0.11	3.79	1.56	0.39	0.25
<u>Oglats</u>											
Saré N'											
dogou											
Babacé	152	7.3	194	0.58	0.38	0.48	0.12	0.84	0.40	0.15	0.35
W. de											
Douboun-											
gué	339	7.9	214	2.36	0.98	0.29	0.02	2.56	0.40	0.17	0.4
Nioli	419	8.05	280	3.26	0.82	0.37	0.09	3.92	0.65	0.11	0.17
<u>Puits à</u>											
<u>l'ouest</u>											
<u>de Diama</u>											
Mars 1969	925			1.84	1.2	5.6	0.27	0.47	6.23	1.64	0.26

Les mêmes phénomènes de réduction des sulfates s'observent dans ces eaux, peut être plus intenses que dans les autres cas puisque le rapport SO^4/Cl est, en général, bien plus élevé.

Le rôle des eaux des oglats sur la pédogénèse est important, elles permettent l'hydromorphose des horizons qui en sont imprégnés.

L'eau des puits, est, dans la région de Bogué moins minéralisée que celle des oglats, les puits étant plus profonds et étant alimentés par la pluie de l'hivernage. Le puits de Diama est nettement plus salé, il reçoit des sels d'origine éolienne entraînés dans le sol par la pluie ou est contaminé par le contact des terrains salifères voisins.

b) Eaux des nappes du delta

Les analyses des eaux du delta du Sénégal ont été faites à l'occasion :

- 1) - d'une étude de l'hydrogéologie des cuvettes de N'Diogo et de Diouloutou (DURAND et COUTINET, 1968);
- 2) - de l'étude des cuvettes du delta du Sénégal en rive sénégalaise (BEYE et al., 1968);
- 3) - de la présente étude des sols .

Toutes les eaux analysées au cours de ces études ont une très grande importance par le rôle qu'elles jouent dans la pédogénèse, à laquelle elles fournissent une alimentation permanente de sels solubles.

Le réseau d'observation de ces nappes est trop lâche et les prélèvements en ont été faits à des époques trop variées pour qu'il soit possible de faire une étude hydrologique qui serait hors de propos ici.

Pour l'ensemble il suffit de savoir que 75 % des nappes prélevées ont une salinité supérieure à 20 000 micromhos à 25° C; 9 % ont une salinité comprise entre 9 000 et 20 000 micromhos, 8 % entre 750 et 5 000 micromhos et 8 % ont une salinité inférieure à 750 micromhos. Alors qu'il n'est pas rare d'observer des eaux superficielles sans sulfates, il n'en existe pas dans les eaux de nappes analysées et rares sont les eaux présentant un pH très inférieur à 7.

Quelques nappes de profils sont étudiées ici pour examiner leur influence sur la salinité des sols. La description de ces profils est donnée en annexe ou dans le chapitre des sols.

I - Nappes à salinité inférieure à 10 000 micromhos.

Ces nappes ont été rencontrées dans les profils BL 9, MSL 20 et T 9. Leurs analyses sont données dans le tableau n° 23.

Tableau n° 23 - Analyses des eaux des nappes des profils
BL 9 - MSL 20 et T 9.

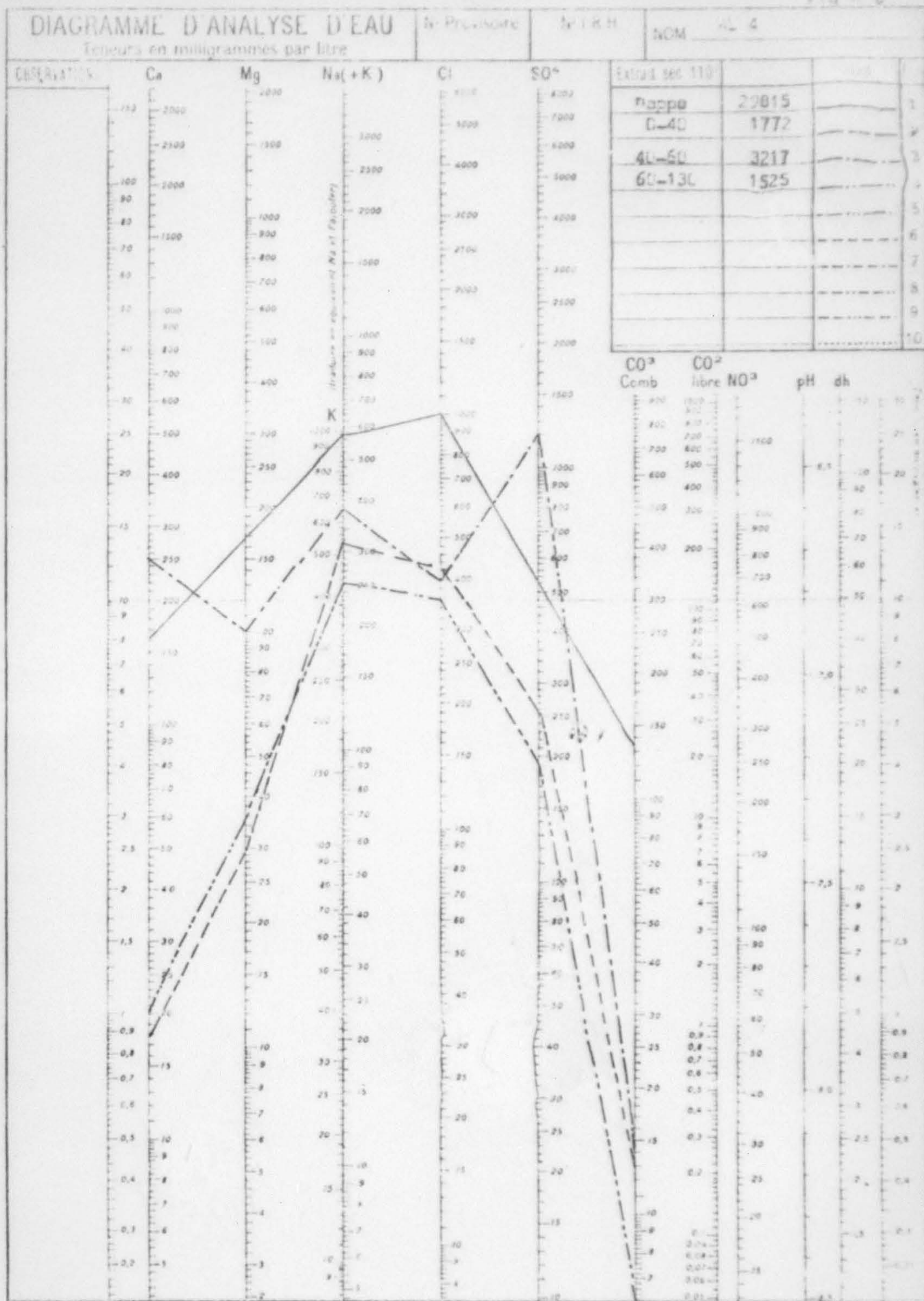
Origine	pH	CE 25°C en micro- mhos	m.é. par litre							$\frac{SO_4}{Cl}$	$\frac{Ca}{Mg}$
			Ca	Mg	K	Na	CO_3H	Cl	SO_4		
BL 9	6.75	6981	30.8	13.6	1.3	39.1	1.0	37.4	48.4	1.3	2.3
MSL 20	7.6	5097	2.4	5.3	2.8	39.6	5.8	37.4	3.5	0.9	0.45
T 9	3.55	1988	4.2	14.1	1.1	7.3	-	44.0	17.2	4.3	0.30

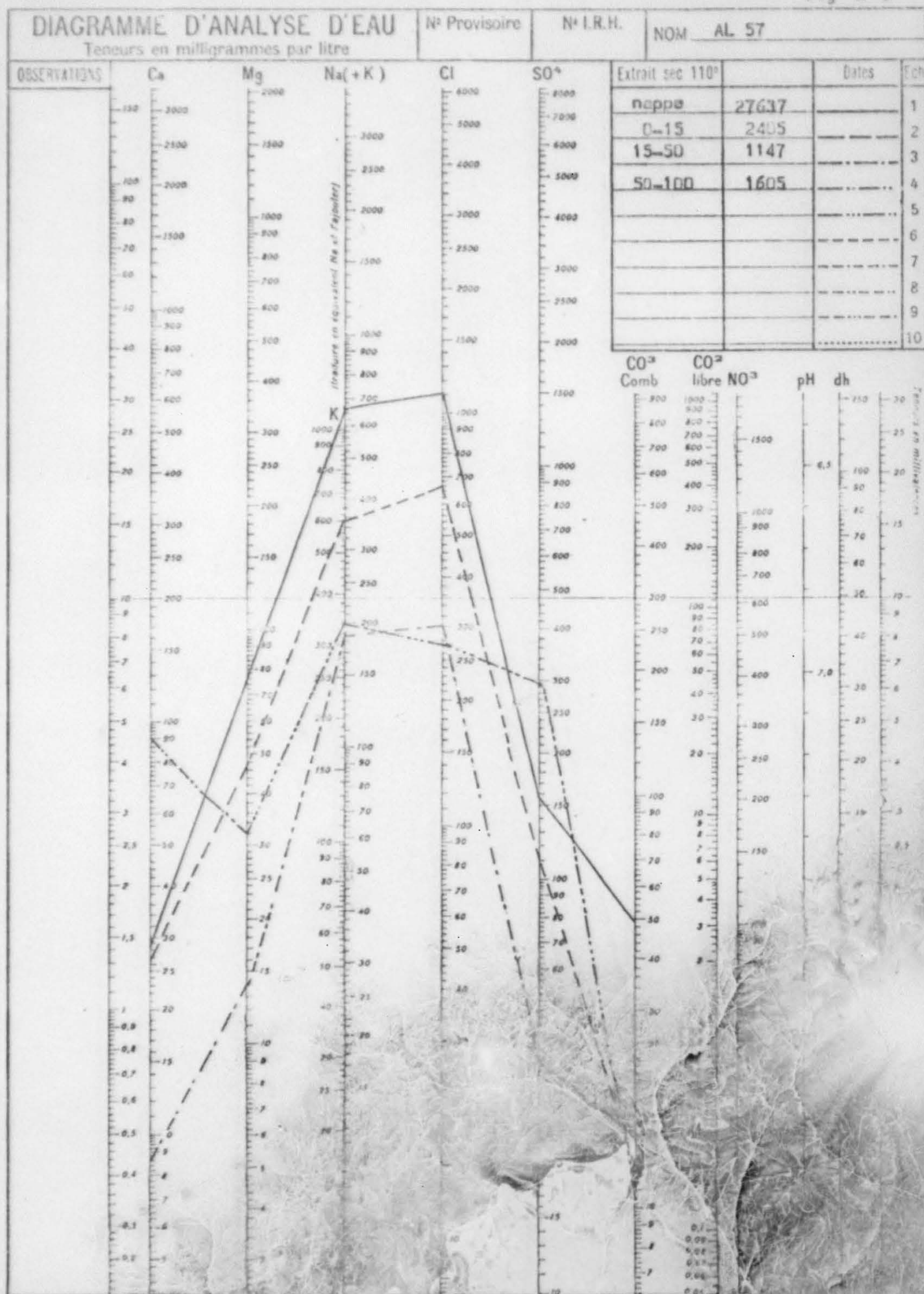
Le faible pH de l'échantillon de T 9 est dû à l'abondance relative des ions SO_4 qui dans les trois cas sont relativement plus abondants que dans la mer dont ils proviennent très vraisemblablement.

Le tableau 24 donne la salinité de ces sols.

Tableau n° 24 - Salinité des sols BL 9 - MSL 20 et T 9

BL 9		MSL 20		T 9	
Prof.	CE 25°C	Prof.	CE 25°C	Prof.	CE 25°C
0-33	136	0-5	3 740	0-19	71
33-73	203	5-20	506	19-36	121
73-110	380	20-40	260	36-110	70
		40-110	140		





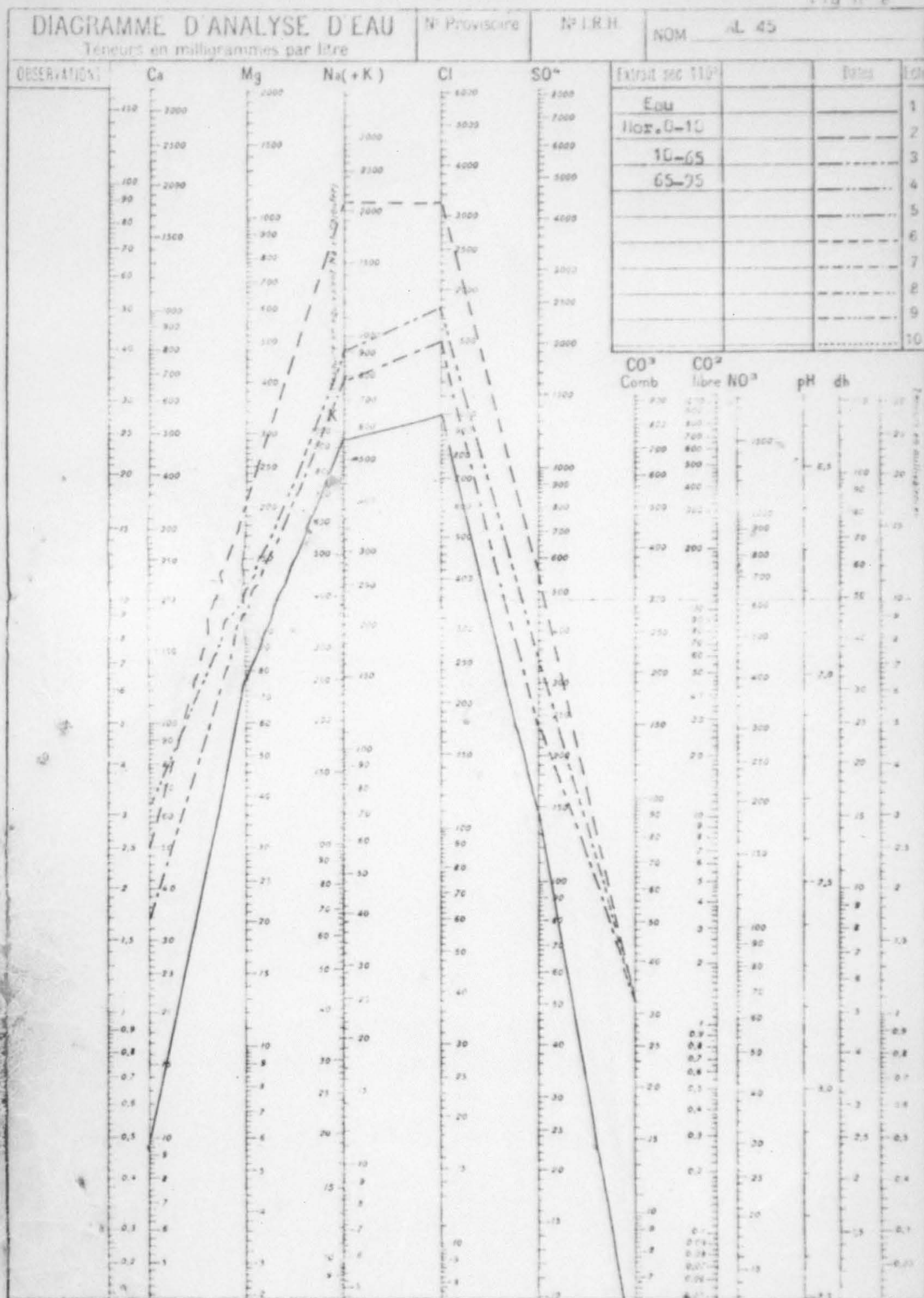


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

Teneurs en milligrammes par litre

N° Provisoire

N° I.R.H.

NOM L D 7

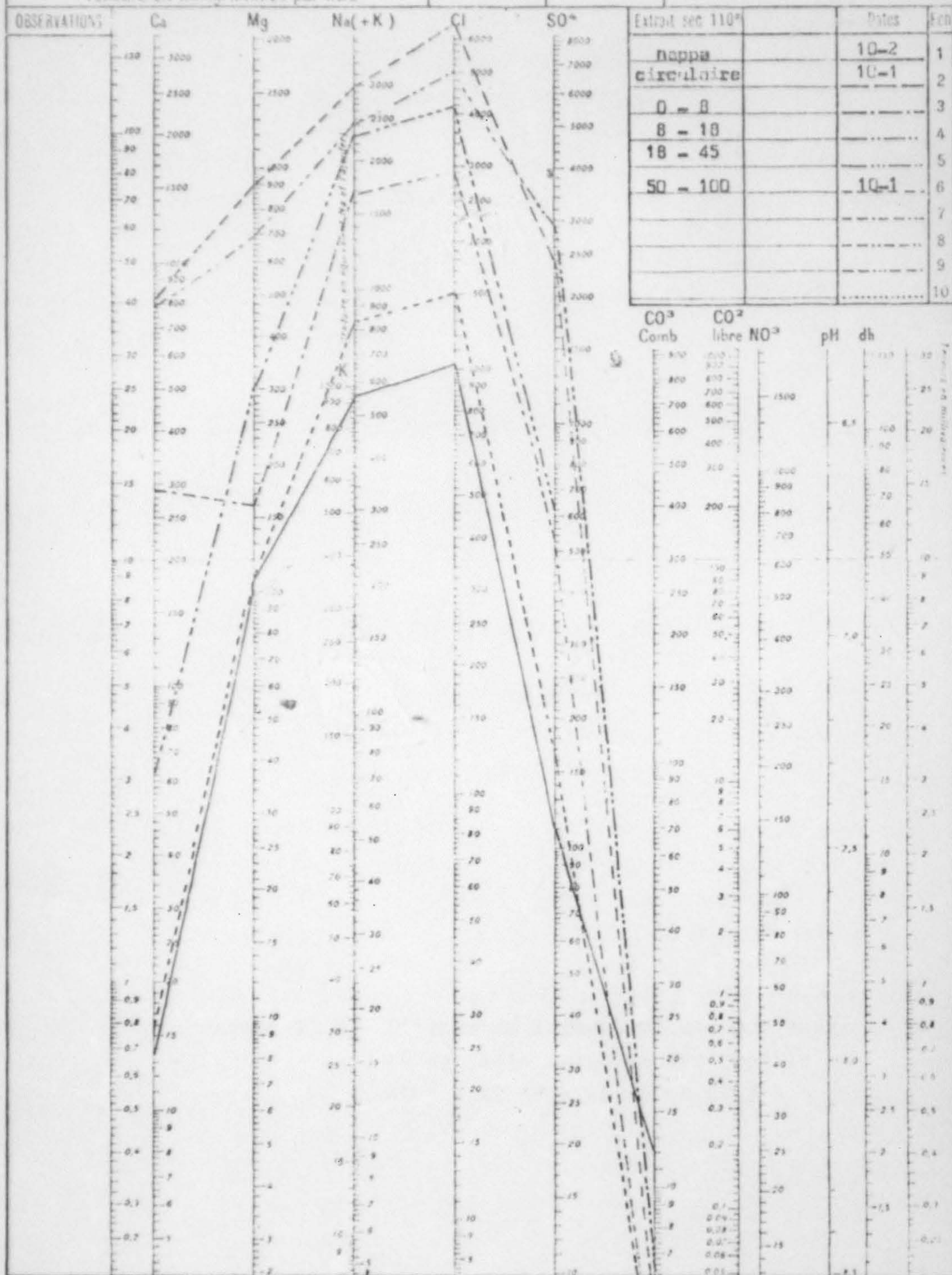




Figure N° 8 - Diagrammes logarithmiques des eaux
et des sels solubles des profils :
AL 4 - AL 57 - AL 45 et LD 7 -

Les profils RL 9 et T 9 sont inondés chaque année par de l'eau douce et les sels ne remontent pas vers la surface la nappe étant dans des sédiments grossiers recouverts d'argile. Dans MSL 20 au contraire les sels s'accumulent en surface, ou ils remontent par capillarité, le terrain n'étant que rarement inondé à l'eau douce.

II - Nappes à salinité comprises entre 10000 et 45 000 micromhos.

La valeur de 45 000 micromhos est environ celle de la mer à N'Diogo (R.I.M.).

Deux nappes rencontrées dans les profils AL 4 et AL 57 ont été retenues. La nappe du profil AL 4 est très acide, celle du profil AL 57 à un pH voisin de 7 (tableau n° 25).

Tableau n° 25 - Analyses des nappes des profils AL 4 et AL 57.

Origine	pH	CE 25°C en micro- mhos	m.é. par litre								$\frac{SO^4}{Cl}$	$\frac{Ca}{Mg}$
			Ca	Mg	K	Na	CO ₃ H	Cl	SO ⁴			
AL 4	3.6	29815	82	142	8	240	22	285	109	0.38	0.58	
AL 57	7.2	27637	14.5	58	7.5	270	8.1	315	32	0.11	0.25	

Avec les bilans ioniques des 2 profils (voir annexes et paragraphe 6.5) et les analyses d'eau il a été possible de construire deux diagrammes logarithmiques (fig. n° 8).

Le diagramme du profil AL 4 montre que la courbe représentative de l'eau de la nappe située à 125 cm est différente de celles qui représentent les horizons du sol dont 2 horizons, l'horizon inférieur et l'horizon supérieur, ont des courbes semblables et l'horizon moyen une courbe nettement différente de celle des autres. L'horizon 40-60 est nettement plus riche en gypse que les 2 autres horizons et que l'eau cette richesse apparaît en valeur absolue et dans les rapports $\frac{SO_4}{Cl}$ et $\frac{Ca}{Mg}$ qui sont nettement plus forts et même dans la

description du profil qui signale de nombreux cristaux de gypse. La salinité des trois horizons de ce profil paraît indiquer qu'il y a alternativement lessivage et remontée capillaire des sels qui s'accumulent dans l'horizon moyen.

Le sol est salin acidifié, mais les pH des divers horizons sont plus élevés que celui de la nappe. Les courbes des horizons inférieurs et supérieurs sont semblables, indiquant une origine des sels semblables qu'il est difficile de chercher ailleurs que dans la nappe malgré la forme différente de sa courbe représentative.

Le diagramme du profil AL 57 est plus simple et mise à part la courbe représentative de l'horizon inférieur, les trois autres courbes sont semblables et il est facile de faire dériver les 2 courbes du sol de celle de l'eau. Ici encore les différences de la courbe de l'horizon 50-100 sont attribuables à une concentration de sulfate de chaux au sein même de la nappe rencontrée dès 50 cm. L'acidité de l'horizon 50-100 cm est due à son oxydation au cours du séchage de l'échantillon, la nappe qu'il contient étant restée neutre. La répartition de la salinité dans le profil indique une remontée capillaire de l'eau qui dépose ses sels en surface, l'horizon 15-50 étant un horizon de transit où les sels ne s'accumulent que peu. Bien que situé dans une vasière actuelle, par conséquent submergée périodiquement aucun lessivage ne se produit, le sol étant humide dès la surface. D'après les analyses ce sol est un sol salin acidifié.

III - Nappe à très forte salinité, supérieure à 45 000 micromhos.

Comme pour le cas précédent 2 nappes seulement ont été retenues, celles des profils AL 45 et ID 7, (paragraphe 551 A)

La nappe du profil AL 45 a été observée. Elle est neutre.

Celle du profil ID 7 est très acide. Leurs analyses sont

Tableau n° 26 - Analyses des eaux des profils AL 45 et LD 7

Origines	pH	CE 25°C	m.é. par litre							$\frac{SO_4}{Cl}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Cl}{Na+K}$
			Ca	Mg	K	Na	CO ₃ H	Cl	SO ₄			
AL 45	7.0	135929	46.9	650.6	7.1	2500	3.57	2941	312	0.105	0.265	1.18
LD 7	2.7	173919	168	851	27	2330	20.6	2828	230	0.082	0.071	1.20

Le diagramme logarithmique (fig. n°8) de l'eau et des sels solubles du profil AL 45 donne des courbes tout à fait semblables montrant bien que les sels de ce sol viennent de la nappe, les sels de l'horizon 0-10 du profil étant enrichis en Cl, Na, le rapport Cl/Na passant de 1.18 dans l'eau, à 1.20 dans les 2 horizons inférieurs et à 1 dans l'horizon superficiel. Le pH du sol restant légèrement basique.

Pour le profil LD 7, les choses sont un peu plus compliquées, si dans le diagramme les courbes représentatives de la nappe et des sels des horizons 18-45 et 50-100 sont tout à fait semblables, dans l'horizon 8-18 il y a augmentation simultanée de SO₄ et Ca qui tend à rattraper Mg tandis que dans l'horizon 0-8, Ca dépasse Mg sans que SO₄ augmente de la même façon. La courbe de l'horizon 0-8 se rapproche des trois courbes citées, alors que la courbe de l'horizon 8-18 devient semblable à celle de la croute saline. Ces différences sont dues à la disparition d'une partie des sulfates précipités sous forme de gypse ou de soufre métalloïdique. Le sol excessivement salé peut-être classé comme salin acidifié ou comme sol à croute saline de surface.

Ces comparaisons montrent le parti qu'il est possible de tirer des analyses des eaux des nappes et du bilan ionique des sols ainsi que l'importance des nappes dans la pédogénèse des sols halomorphes. Elles expliquent l'abondance de ces sols dans le delta du fleuve Sénégal.

5.4 - Formation des sols

La pédogénèse est conditionnée par 5 facteurs (JENNY, 1941) :

- le climat,
- la roche mère,
- la physiographie,
- la biologie,
- le temps.

Dans la vallée et le delta du Sénégal le climat ne présente que de faibles variations et n'a pas une action déterminante sur la formation des sols; par contre, le climat du sol, conditionné par la roche mère et la physiographie du terrain, permettra aux pédogénèses de se diversifier. L'étude de la végétation a montré que son rôle était restreint à celui d'indicateur de la salinité ou de la durée d'inondation des terres. Le temps, enfin, ne joue aucun rôle de différenciation des sols du fait des conditions de climat qui ont régné sur la zone étudiée depuis la formation de la vallée alluviale et du delta du Sénégal. Il n'y a donc que les roches mères et la physiographie qui permettent et influencent l'évolution des sols. Les roches mères, toutes alluviales, subiront des pédogénèses variées qui dépendront de la physiographie à laquelle elles participent, qui conditionnera l'importance et la durée de leur inondation par l'eau douce dans la vallée, par l'eau salée dans le delta.

En fait la pédogénèse n'a que rarement atteint un stade d'agressivité suffisant pour provoquer la destruction des édifices minéraux qui la subissaient. Par contre, elle a été largement influencée par les propriétés physiques des sédiments mis en cause.

5.4.1 - Roches mères

Les alluvions déposées dans la vallée du Sénégal peuvent se distinguer par leurs propriétés physiques et par leur composition minéralogique.

A - Propriétés physiques -

La plus importante par son rôle pédogénétique est la capacité du sédiment pour l'eau qui conditionne son drainage. Cette capacité pour l'eau est une fonction de la granulométrie du matériau ; elle dépend aussi, lorsque la pédogénèse a commencé, mais dans une moindre mesure, de la teneur en matières organiques et de la stabilité de la structure. La composition minéralogique des argiles et leur teneur peuvent jouer un rôle, mais surtout aux potentiels capillaires élevés. Le facteur physique dominant reste donc la granulométrie.

Il est possible de classer les formations géomorphologiques en fonction de cet élément.

- a) formations très grossières : dunes rouges de l'Ogolien, dunes remaniées subactuelles et dunes rouges arasées, formées de sables quartzeux recouvert d'une mince couche d'oxyde de fer leur donnant leur couleur rouge ; dunes vives actuelles et dunes subactuelles semi fixées formées de sables quartzeux blanc ; cordons littoraux arasés ou non formés de sable de plage : dépôts sableux du lit mineur souvent enrichis en ilménite.
- b) formations grossières : terrasse marine ; premier remblai sablo-argileux arasé ou non ; glacis sableux de l'Ichirien. Les parties basses de ces formations peuvent être atteintes par les fortes crues du fleuve et enrichies en éléments fins.
- c) formations moyennes : hautes levées et fluvio-deltaïque du post nouakchottien ; delta de rupture de levée de granulométrie un peu plus fine ; deuxième remblai sablo argileux du nouakchottien ; les petites levées, points bas de ces reliefs ou bordure des cuvettes, auxquelles correspondent les

parties basses du fluvio deltaïque dans le delta, les points hauts des levées actuelles et subactuelles.

d) formations fines : petites levées et fluvio-deltaïque bas en partie, zone déprimée des hautes levées, fluvio-deltaïque et même remblai sablo argileux, points bas des levées actuelles et subactuelles.

e) formations très fines : cuvettes de dépression, cuvette basses, certaines petites levées, certains bas des levées actuelles et subactuelles, vasières et marais.

B Composition minéralogique des argiles

Cette étude a été faite en partie au laboratoire de minéralogie du Muséum National d'Histoire Naturelle, en partie au laboratoire de l'I.R.S.T.O.M.

Une étude minéralogique des argiles entrant dans la composition des divers sols rencontrés sur les diverses unités géomorphologiques a été entreprise pour essayer de préciser les caractères des sols et leurs propriétés. Les différences qui ont pu être mises en évidence n'ont pas été pédologiques mais géographiques. En effet, les minéraux argileux sont toujours la Kaolinite, l'Illite et la Montmorillonite en proportions variées ; il a été possible de reconnaître 4 provinces dans la zone étudiée :

- 1) la province du Sénégal Oriental comprenant les sédiments déposés entre Bakel et Kaédi dans lesquels l'argile est formée d'un mélange de kaolinite, montmorillonite et illite avec nette dominance de la kaolinite,
- 2) la province du Gorgol où les sédiments contiennent un mélange d'illite, kaolinite et montmorillonite avec dominance de l'illite,
- 3) la province du Sénégal Occidental ou moyen de Kaédi à Dagana où se retrouve le même mélange mais où la montmorillonite domine nettement,
- 4) le delta où la kaolinite est presque pure avec un peu d'illite, de montmorillonite ou de micas rescapés de la pédogénèse des sols salés où ces minéraux ont été rencontrés.

Les limites entre ces deux dernières provinces s'interpénètrent largement, conséquences de leurs histoire géologique.

La composition de ces mélanges d'argile reflètent la composition minéralogique des sols qui dominent dans le bassin versant de la province considérée et les conditions de pédogénèse qui régnaient dans le fleuve au moment du dépôt. La kaolinite, qui domine de Bakel à Kaédi, vient de l'érosion des sols de Guinée et du Mali, l'illite qui domine dans le Gorgol vient probablement des terrains schisteux qu'il traverse, la montmorillonite peut s'être formée ou s'être conservée (PAQUET, 1967) dans les conditions lagunaires ou estuariennes qui ont régné en aval de Kaédi, enfin la kaolinite du delta est le produit de la destruction des argiles qui s'y sont déposées par la pédogénèse particulière des zones deltaïques.

5.4.2 - Physiographie

La pédogénèse dans la vallée du Sénégal est fonction de la fréquence et de la durée de l'inondation par la crue du fleuve dont l'eau est douce, tandis que dans le delta, où elle dépend encore de l'inondation, l'invasion d'eau salée précède l'inondation par la crue du fleuve. Il en résulte une différence essentielle de pédogénèse.

A - La pédogénèse dans la vallée

Fonction de l'inondation, la pédogénèse est gouvernée par la cote relative des unités géomorphologiques. Leur classement par cote décroissante donne

a) unités jamais inondées -

Les dunes rouges et les dunes rouges arasées, jamais inondées sont occupées par des sols brun rouge subarides, formés dès l'Ogolien et ayant évolué depuis, suivant les mêmes processus ou n'ayant plus évolué.

b) unités rarement ou jamais submergées -

Ce sont les hautes levées, les parties hautes des deltas de rupture de levées, le fluvio-deltaïque non salé, le premier remblai sablo-argileux et le 2ème remblai sableux. Si la formation n'est jamais inondée, ou inondée seulement au maximum des crues exceptionnelles, l'hydromorphose ne joue aucun rôle et le sol formé est un SOL PEU EVOLUE D'APPORT MODAL qui apparaît surtout sur les points hauts des hautes levées.

Si la formation n'est inondée qu'aux crues moyennes ou fortes, étant donné la texture moyenne ou grossière des matériaux qui la constitue, le sol se ressuie rapidement après le retrait de la crue et ses horizons supérieurs ne subissent pas les phénomènes d'oxydo-réduction dus à l'hydromorphose ; dans les horizons sous-jacents où l'eau, dont l'évacuation est gênée par la présence d'eau dans les canaux de drainage (fleuve ou grands marigots), séjourne plus longtemps les phénomènes d'oxydo-réduction apparaissent, les horizons sont tachetés, il se forme un SOL PEU EVOLUE D'APPORT HYDROMORPHE. Ces sols sont les plus fréquents dans ces formations.

Si au contraire, la submersion est annuelle, cas des parties basses de ces formations, l'hydromorphose se généralise et les taches apparaissent dès la surface en raison de la granulométrie des matériaux, le sol formé est un SOL A PSEUDOGLEY A TACHES ET CONCRETIONS.

c) unités inondées chaque année-

Ce sont les petites levées, les parties basses des deltas de rupture de levées, le 1er remblai argileux. Dans ces unités, l'eau du sol est difficilement évacuée ; les phénomènes d'oxydo-réduction se généralisent. Étant donné la texture ^{des} sédiments, il se forme un SOL A PSEUDOGLEY A TACHES ET CONCRETIONS. Les parties basses constituent des parties basses des deltas et peuvent fonctionner en cuvette de décantation et les argiles peuvent s'y déposer ; le sol formé alors est un vertisol, plus rarement un SOL PEU EVOLUE D'APPORT VERTIQUE.

Aux unités
subactuelles et
l'inondation différencie
la formation de SOL A
rides et de SOL A PSE
me dans certains cas de
d) Unités longtemps inondées chaque année -

Ce sont les cuvettes de décantation et les parties basses de ces cuvettes. Il s'y décante des sédiments très argileux, formés d'un mélange de Kaolinite, Illite et Montmorillonite, la Montmorillonite leur conférant des propriétés de gonflement et de retrait importantes. Dans le cas général où l'eau est évacuée rapidement, ces sédiments ne sont soumis, en raison de leur finesse, qu'à faible hydromorphose se traduisant par la présence éventuelle de tâches grisâtres, petites et peu contrastées, des sols qui se forment sont des VERTISOLS TOPOMORPHES NON GRUMOSOLIFORMES, dans les parties basses où l'eau séjourne très longtemps, l'hydromorphose se manifeste au maximum et à cause de l'extrême finesse des alluvions, les phénomènes de réduction dominent, les sols qui apparaissent sont des SOLS A GLEY DE SURFACE ET D'ENSEMBLE. Des intermédiaires entre les deux sols peuvent exister.

e) Dépôts sableux du lit mineur -

Ces sédiments sont drainés immédiatement et le sol qui apparaît est un SOL A GLEY D'APPORT FLUVIATILE.

Sols à pH 6-7
En fait, quelques profils présentant des pH très élevés ont été observés. Ce s'accompagnait d'une élévation de la salinité, ou bien la recherche du sodium par l'acide chlorhydrique dilué était possible, mais il soit resté indosable. Cette élévation du pH est probablement due à la formation de carbonate de soude en faible quantité qui peut d'ailleurs être

enlevé par lessivage lorsque le drainage est facile.

Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer la formation de carbonate de soude des sols.

Le carbonate de soude apparaîtrait dans le sol par décomposition hydrolytique du sodium du complexe absorbant et fixation sur du gaz carbonique dissout dans l'eau (GEDROIZ in de SIGMOND, 1938).

Il pourrait apparaître par précipitation de carbonate de calcium contenu dans l'eau d'irrigation (ou d'inondation), libérant une molécule de gaz carbonique pouvant agir sur le sodium absorbé (EATON, 1950, KELLEY, 1962).

La réduction du sulfate de soude pourrait ainsi fournir du sodium fixé ensuite par le gaz carbonique du sol (TIMAR, 1964). Cette source de carbonate de soude serait peu importante pour les sols des Etats-Unis (KELLEY, 1962).

L'une ou l'autre de ces diverses sources de carbonate de soude peut intervenir dans l'alcalinisation des sols de la vallée du Sénégal, ce qui est important, c'est que l'alcalinisation affecte, en général, les horizons profonds de sols à drainage interne satisfaisant ; elle est probablement fugace et disparaît quand, le niveau du fleuve baissant, la circulation de l'eau des alluvions devient plus rapide.

Ce phénomène, relativement exceptionnel, sera examiné au cours de l'étude des sols pour chacun des cas observés.

B - La pédogénèse dans le delta

Le phénomène essentiel de cette pédogénèse est dû à la présence de sels d'origine marine dans l'eau d'inondation.

Au cours de la saison sèche, les eaux du Sénégal n'arrivent plus à compenser l'évaporation et les eaux marines envahissent son cours inférieur jusqu'à Dagana qu'elles peuvent même dépasser en année très sèche. A la crue suivante, ces eaux salées sont repoussées, mais par suite d'une certaine inertie des eaux de l'aval, leur niveau s'élève d'abord et elles envahissent la plupart des cuvettes du delta. (5.3).

En saison sèche, certaines zones subissent l'influence des marées de vives eaux et sont encore inondées à l'eau salée (paragraphe 5.3).

Le delta du Sénégal est donc périodiquement envahi par l'eau salée dans certains chenaux de marées, les vasières, les slikkes, les schorres et les cuvettes, que cette invasion soit due à la marée ou à la crue.

Les sels qui imprègnent ces alluvions ont donc pour origine la mer dans laquelle elles se sont déposées ou l'inondation périodique par les eaux salées. La composition de ces sels est donc voisine de celle des sels de l'eau de mer, ils renferment du chlorure de sodium et des sulfates, ces derniers en quantités relativement élevées. Ces sulfates et le soufre organique des composés d'origine végétale ou animale vont subir des transformations biochimiques qui caractérisent les sols de ce delta et plus généralement des bassins paraliques.

Le soufre d'origine organique est minéralisé par de nombreuses bactéries hétérotrophes non spécialisées. En général, l'hydrogène sulfuré domine, accompagné de mercaptans, de soufre métalloïdique et de soufre plus ou moins oxydé dont les sulfates en aérobiose. En anaérobiose l'hydrogène sulfuré domine nettement.

La principale source du soufre est formée par les sulfates apportés par la mer.

Ces sulfates sont réduits à l'état de sulfures par des bactéries autotrophes suivant la réaction :



avec comme stades intermédiaires les sulfites, thiosulfates, tatrathionates et le soufre. En présence de matières organiques les hétérotrophes agissent plus rapidement en donnant les mêmes produits. Enfin, un champignon peut donner des mercaptans comme stade intermédiaire.

Les sulfures produits vont alors s'oxyder. Le premier stade est un phénomène plutôt chimique que biologique bien que certaines bactéries puissent parfois intervenir dans un deuxième stade :

Stade chimique :

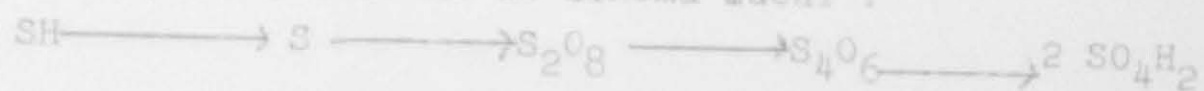


Stade biologique, S se fixe dans les cellules et est oxydé.



Ces phénomènes sont limités.

Les thiobacillus, groupe de bactéries autotrophes spécialisés, peuvent oxyder les sulfures en sulfates, avec un meilleur rendement, suivant le schéma idéal :



Le sol devient alors très acide.

A ce stade, intervient un certain nombre de réactions secondaires dues à la présence simultanée d'acide sulfurique et de sulfures ou de soufre peu oxydé.

Avec les sulfures solubles dans l'eau, il peut y avoir dégagement d'hydrogène sulfuré. Si l'acide sulfurique est assez concentré, il peut en outre y avoir dégagement d'anhydride sulfureux et précipité de soufre colloïdal blanc.

Avec les sulfites il y a un dégagement d'anhydride sulfureux caractéristique, tandis qu'avec les hyposulfites il y a en outre précipité de soufre jaune.

Ces réactions peuvent être simultanées dans un même profil et il est fréquent d'avoir des dégagements d'hydrogène sulfuré, d'anhydride sulfureux ou des deux ensembles, tandis que les tubes laissés par les racines se tapissent de produits blancs ou jaunes et que le fer donne des produits rouges.

Enfin, l'acidification de ces sols, dont le pH peut s'abaisser largement au-dessous de 3 (des pH inférieurs à 2 sont fréquents). S'accompagne de la libération d'alumine très toxique pour les cultures.

Cette acidification a des conséquences pédologiques. Des réactions différentes vont se produire suivant que les sédiments contiennent ou non du calcaire.

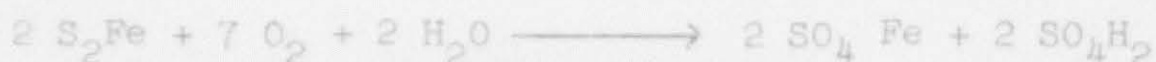
En présence de calcaire, les acides formés sont neutralisés et les réactions se compliquent du fait de la présence de fer et d'argile, l'un et l'autre attaqués par les acides.

En présence de fer, les sulfures se forment par la réaction :



le sol est alors noir, peu ou pas acide.

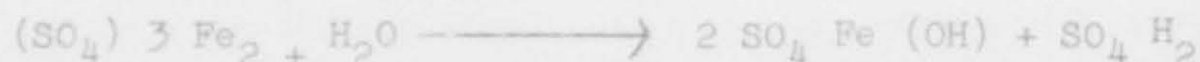
Par oxydation, la réaction suivante se produit :



Avec $\text{SO}_4 \text{ H}_2$, $\text{SO}_4 \text{ Fe}$ donne du sulfate ferrique :



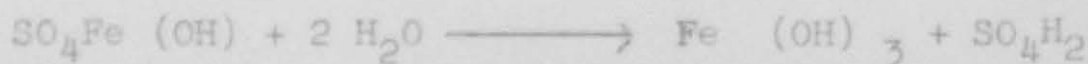
Ce sulfate ferrique s'hydrolyse alors :



et il apparaît des accumulations de sulfates de la forme $x \text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot y \text{ SO}_4 \cdot z \text{ H}_2\text{O}$,

qui se localisent dans les anciens chenaux des racines et les faces des agrégats et caractérisent les sols sulfatés (ou terres alunées). Ces sols présentent à ce stade des trainées jaune paille formées de ces sulfates et de soufre blanc colloïdal et souvent des points jaune vif de soufre métalloïdique.

L'hydrolyse peut alors se poursuivre, de l'acide sulfurique est libéré.



Les taches jaunes disparaissent, le sol devient très acide.

L'acide sulfurique ainsi libéré provoque ensuite l'enlèvement des bases du complexe absorbant et réagit sur les minéraux argileux du sol suivant le schéma général (MOORMAN, 1963).



En se combinant aux sulfates du sol, le sulfate d'Alumine donne de l'alun, cet alun constituant le stade final d'un processus complexe.

Les conditions acides qui apparaissent dans cette pédogénèse peuvent provoquer la destruction des édifices cristallins des minéraux phylliteux et donner naissance à de la Kaolinite (HORN et al. 1967) et même des sesquioxydes libres (DURAND J.H. et COUTINET, 1966).

Un essai de classification de ces sols a été tenté.

Les sols salés du delta du Sénégal appartiennent à 2 groupes :

- les sols de bassins paraliques,
- les sols de bordure de bassin paralique,

ce dernier groupe formant un terme de passage vers les solonchaks et comprenant les mêmes subdivisions que le premier.

Les valeurs des rapports $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$ et $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$ permettent d'en faire 4 sous groupes :

sous_groupe_1 - Modal $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}} > 0.1$

subdivisé en deux familles.

1.1 - sols sulfatés non calcaires $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}} < 1$ pH > 5
formés sur matériau non calcaire ;

1.2 - sols sulfatés calcaires $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}} > 1$ pH > 7 formés sur
matériau calcaire.

Sous_groupe_2 - Réduit : La pédogénèse s'est exercée sur les sulfates et les a transformés en sulfures insolubles $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}} < 0.1$, il peut même s'annuler si tous les sulfures ont été réduits.

Il se subdivise en deux familles :

2.1 - sols sulfatés réduits $\frac{Ca}{Mg} < 1$ $pH > 5$

2.2 - sols sulfatés calcaires réduits $\frac{Ca}{Mg} > 1$ $pH > 7$

Sous_groupe_3 - Réoxydé - $\frac{SO_4}{Cl}$ 0.1, qui comprend théoriquement 4 familles :

- une famille de sols sulfatés à $pH > 5$, si l'acide sulfurique formé est éliminé, c'est la famille des sols sulfatés non calcaires qui font déjà partie du sous groupe 1.

3.1 - sols sulfatés acides $\frac{Ca}{Mg} < 1$ $pH < 5$ pouvant descendre à 2 et même moins par formation d'acide sulfurique libre.

3.2 - sols sulfatés acides décalcifiés avec $\frac{Ca}{Mg} > 1$ indiquant la présence de calcaire dans le matériau original et $pH < 5$.

3.3 - sols sulfatés décalcifiés avec $\frac{Ca}{Mg} > 1$ $pH \neq 7$ avec présence d'un peu de calcaire.

Sous_groupe_4 - Polygénique - les sols de ce sous groupe ont subi plusieurs cycles de réduction et d'oxydation qui en fin de compte donnent des sols qui peuvent être classés dans les 3 premiers sous groupes. Il n'est pas reconnaissable normalement, aussi bien par l'analyse que sur le terrain.

Les diverses unités géomorphologiques subissent des Pédogénèses différentes suivant leur degré d'inondation compliquée par la présence de sels solubles (GAUCHER, 1967).

a) -unités jamais inondées -

Ce sont les dunes vives littorales et les dunes sub-actuelles semi-fixées les dunes rouges remaniées et les cordons littoraux. Ces unités ne sont pas modifiées actuellement par la pédogénèse, elles gardent leurs caractères acquis ou restent sans modification pour les formations les plus récentes.

Les dunes rouges remaniées conservent leurs sols :
SOLS BRUN ROUGE SUBARIDE.

Les dunes vives littorales et les dunes subactuelles semi-fixées ne subissent aucune pédogénèse et le sol est un SOL BRUT D'APPORT EOLIEN.

Les cordons littoraux actuels ou subactuels portent aussi un SOL BRUT D'APPORT EOLIEN tandis que les cordons littoraux anciens supportent un SOL PEU EVOLUE D'APPORT HYDROMORPHE.

b) - unités rarement inondées -

Ce sont les levées fluvio-deltaïques en général, les cordons littoraux arasés et les terrasses marines. Les levées fluvio-deltaïques prolongent dans le delta les hautes levées post nouakchottiennes.

Les levées fluvio-deltaïques ont été édifiées en milieu lagunaire salé et gardent leurs sels auxquels s'ajoutent parfois des sels apportés par capillarité, 2 types de sols y apparaissent : LES SOLS A HORIZON SUPERFICIEL FRIABLE et les SOLS SALINS ACIDIFIES qui occupent la presque totalité des superficies.

Par endroit, lorsqu'il est très bien drainé, le fluvio-deltaïque peut exceptionnellement évoluer en SOL ^{PEU} EVOLUE D'APPORT HYDROMORPHE, tandis que le fluvio-deltaïque haut est occupé principalement par des SOLS SALINS ACIDIFIES.

Si le FLUVIO-DELTAÏQUE BAS est inondé à l'eau douce, il y apparaît deux sols associés : SOLS A PSEUDOGLEY A TACHES ET CONCRETIONS et SOLS A GLEY DE SURFACE ET D'ENSEMBLE ou même des SOLS PEU EVOLUES HYDROMORPHES ou VERTIQUES et des VERTISOLS.

Si au contraire, il est envahi par l'eau salée, il y existe 2 sols : SOLS SALINS ACIDIFIES ET SOLS TRES SALES A ALCALIS.

Les cordons littoraux arasés et les terrasses marines sont occupées par des SOLS SALINS A HORIZON SUPERFICIEL FRIABLE ou encore pour la terrasse marine par des SOLS SALINS ACIDIFIES ou des SOLS PEU EVOLUES D'APPORT HYDROMORPHES.

c) - unités inondées chaque année -

Ce sont les cuvettes de décantation et les vasières actuelles ou anciennes, les vasières actuelles étant de plus envahies aux fortes marées. Cependant certaines cuvettes n'ont jamais été inondées à l'eau salée ; d'autres ne le sont plus ; il en est de même pour certaines vasières anciennes. Les sols sont donc très diversifiés. Les dépôts des cuvettes se sont faits, en général, sur un matériau sableux déjà en place et souvent en milieu marin.

Les cuvettes jamais inondées à l'eau salée ont donné des SOLS A GLEY DE SURFACE ET D'ENSEMBLE, cas de la cuvette de N'Thiagar.

Les cuvettes et vasières anciennes qui ne sont plus inondées à l'eau salée, tendent à se dessaler et dans ces cuvettes il apparaît des SOLS A PSEUDOGLEY A TACHES ET CONCRETIONS, des SOLS A GLEY DE SURFACE ET D'ENSEMBLE ou des SOLS A GLEY SALES seuls ou associés ; le dessalement est moins poussé dans les vasières anciennes et les sols restent SALINS ACIDIFIES.

Les cuvettes de décantation et les vasières envahies par l'eau salée sont occupées par des SOLS SALINS ACIDIFIES A CROUTE SALINE DE SURFACE (Sebkhah).

La différence essentielle entre ces cuvettes et vasières et les levées fluvio-deltaïques est, outre les différences de texture, que les transformations biochimiques conduisant à la formation d'acide sulfurique se produisent chaque année dans les cuvettes et vasières tandis que dans les levées, elles ont cessé. Il faut signaler que vers les bords des cuvettes qui atteignent le glacis à gravillons ferrugineux, le sol qui apparaît est TRES SALE A ALCALIS.

Dans certaines cuvettes, il existe des SOLS TOURBEUX salés anciens situés à une cote inférieure au niveau actuel de la mer.

d) - cas particulier du casier rizicole de RICHARD TOLL -

Dans ce casier, la pédogénèse, qui participait de toutes les pédogénèses déjà signalées, a été profondément modifiée par la riziculture, l'inondation par de l'eau douce qu'elle implique ayant transformé les sols de rizière en gley de surface ou d'ensemble ou en gley salés si les sols étaient à l'origine salins. Dans certains cas d'ailleurs, les sols sont restés salés.

Une conséquence indirecte de la construction de ce casier a été de créer un certain endiguement de la TAOUÉY et de permettre la submersion de terrains autrefois à l'abri de l'eau, les sols ont donc subi une hydromorphose plus intense que celle à laquelle ils étaient soumis.

Ainsi l'importance de la physiographie dans la formation des sols, justifie le mode de cartographie adopté.

N° D'ACCESSION

ANNEE

CLASSE

01095-70-BA

REPETER PERFO.

BIBLIOGR

D

INDEXATION

D

VERIFICATION

DA

CODE SPECIAL

ES-VA

TOUTES CARTES
81-72

UNITE DOCUMENTAIRE

IDENTIFICATION

SYMBOLS DE REFERENCE

L.G. L.G. EXIST.

NOTES SPECIALES

C.C.

AUTEUR

SEDAGRI

TITRE

ORGANISATION DES ETATS RIVERAINS DU SENEGAL / GUINEE, MALI,
HAUT-VOULTA, SENEGAL / ETUDE PEDOLOGIQUE - 5, MILIEU NATUREL

SOURCE

SAINT LOUIS, SENEGAL, PARIS, FAO/SEDAGRI, PROJ. HYDRO-AGRICOL
LE, 1970 - 55 P., 2 TAB., 4 GRAPH., 1 CARTE

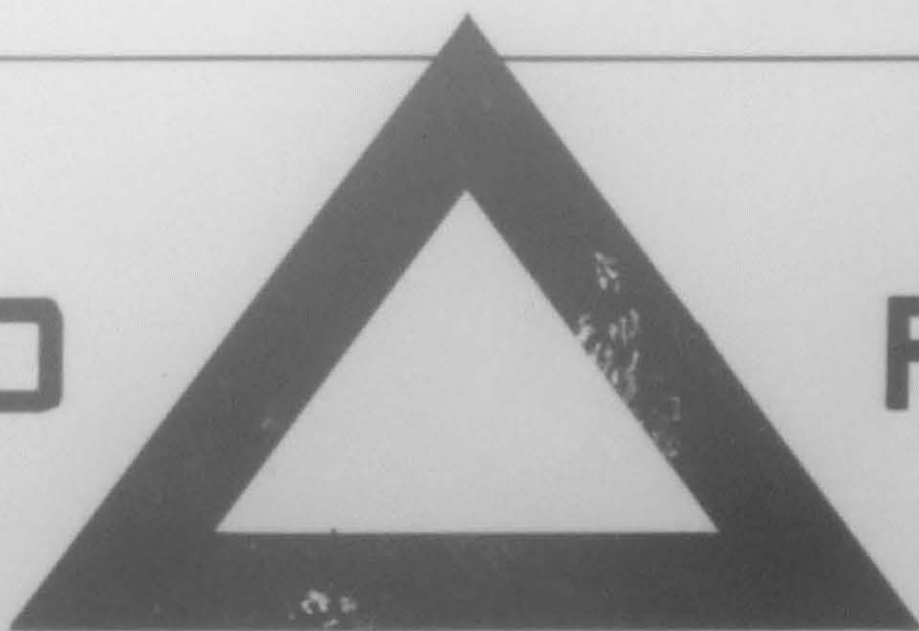
DONNEES COMPLEMENTAIRES

SAFFLUENTS ET DIAGRAMME OMBRE THERMIQUE / DE GAUSSEN.
* CARTE AU 1:400,000 E DU CHEMINEMENT STATIQUE ET DYNAMIQUE DES
* EAUX DES CRUES DU FLEUVE SENEGAL DANS LE DELTA.

SCIENCE DU SOL	*HYDROLOGIE*	*MAURITANIE*	*SENEGAL*	/OERS/	5,0,1
PROJET PNUP, FS	*FAO*	/REG 61/	=		5,0,2
ETUDE PEDOLOGIQUE/	DE LA VALLEE	ET DU DELTA/	DU SENEGAL		5,1,1
PARTIC. ACTION DU MILIEU NATUREL	SUR LA FORMATION	DU *SOL*			5,1,2
DE LA VALLEE					5,1,3
FACTEURS DE *PEDOGENESE*	DE LA VALLEE	ET DU DELTA,			5,2,1
CLIMATOLOGIE	VEGETATION/	*HYDROLOGIE*	PARTIC.		5,2,2
FREQUENCE ET DUREE	DE LA CRUE/	DU FLEUVE	SENEGAL/		5,2,3
SALINITE	DES NAPPE PHREATIQUE/	DES *EAU*	DE SURFACE*	=	5,2,4

CHIMIE DU SOL	DE LA VALLEE	ET DU DELTA	ET INFLUENCE	DES	53,1
FACTEURS PEDOGENETIQUES	SUR LES *TYPE*	DE SOL*			53,2
TABLEAUX	DE LA *TEMPERATURE*	DU SOL*	DE LA VALLEE	ET DU DEL	54,1
TA,	DE LA *ANALYSE*	DE L'EAU*	DU SENEGAL	ET DE SES	54,2

END



FIN

70

VUES

18 JUIL. 1972