

J.Y LOYER Pédologue ORSTOM
M.A DIALLO Pédologue SAED

LA CUVETTE DE PONT-GENDARME (Vallée du Lampsar) (Région du Fleuve Sénégal)

Données sur les sols et sur les nappes
Recommandations pour la mise en valeur



SEPTEMBRE 1979

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



LA CUVETTE DE PONT-GENDARME

(Vallée du LAMPSAR - Région du Fleuve Sénégal)

- Données sur les sols et sur les nappes
- Recommandations pour la mise en valeur

- - - - -

J.-Y. LOYER - Pédologue O.R.S.T.O.M.

M. A. DIALLO - Pédologue S.A.E.D.

/ S e p t e m b r e 1 9 7 9 /

S O M M A I R E

-O-O-O-

	<u>Pages</u> :
1. <u>BUT DE L'ETUDE</u>	1
2. <u>DONNEES GENERALES</u>	1
3. <u>METHODOLOGIE</u>	1
4. <u>RESULTATS ; DESCRIPTION DE LA SEQUENCE</u>	3
5. <u>CONCLUSIONS SUR LA PEDOGENESE</u>	29
6. <u>INCIDENCES DES PRINCIPAUX FACTEURS EDAPHIQUES</u> <u>SUR LA MISE EN VALEUR</u>	37
7. <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	44

1 - BUT DE L'ETUDE**

A l'approche de la mise en valeur de la cuvette de Pont Gendarme, qui sera mise en eau en 1980, cette note a pour but de rassembler un certain nombre de données physiques, en particulier hydro-pédologiques, recueillies tant par la Section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. que par la cellule pédologique de la SAED*, entre les années 1976 et 1978, soit avant les aménagements.

2 - DONNEES GENERALES

La cuvette de Pont Gendarme, cuvette IIIb dans la nomenclature GAUCHER 1966, située à quelques kilomètres à l'aval de ROSS-BETHIO s'étend sur 1 300 ha environ (superficie inondable brute) ; allongée NE-SW, elle est limitée au Nord par le LAMPSAR et au Sud par la route nationale ROSS-BETHIO-SAINT LOUIS (cf. plan de situation) qui la rend facile d'accès. Située à 40 km de la mer, la cuvette fait partie de la zone deltaïque du fleuve Sénégal et jusqu'en 1976 a été soumise à un régime de submersion annuelle liée à l'intensité de la crue. Par contre la cuvette elle-même n'est pas atteinte par les eaux salines remontant dans le fleuve en période d'étiage, car le LAMPSAR est barré à l'aval à son confluent avec le fleuve à DAKAR-BANGO.

Le régime climatique est tropical sec à deux saisons contrastées (sécheresse de novembre à juin - pluies très aléatoires de l'ordre de 300 mm : entre juillet et octobre).

La géomorphologie de la cuvette a été étudiée par A. N'DIAYE 1978 dans ses travaux sur la Vallée du LAMPSAR.

La topographie est très plane et la végétation naturelle autre qu'herbacée est pratiquement inexistante. Les années les plus humides quelques cultures de sorgho sont réalisées dans les zones les plus basses. Le restant de l'année la cuvette sert de terrain de parcours.

3 - METHODOLOGIE

Les données hydro-pédologiques ont été recueillies en plusieurs étapes : une séquence N-S a été choisie, sur laquelle 3 piézomètres ont été installés ; des contrôles de salinité et de hauteur de nappe y ont été menés de 1976 à 1978 de façon épisodique.

* Société d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta.

** Travail réalisé dans le cadre du Protocole d'Etudes ORSTOM-SAED 1974.

Fin 1976, des prélèvements ont été faits sur la cuvette selon un quadrillage 500 x 500 m, soit 34 sondages à 3 mètres de profondeur, afin de préciser l'épaisseur de l'argile et les variations du pH. Une campagne de mesure de coefficient de percolation du sol au-dessous du niveau de la nappe a en outre été effectuée sur ces sites.

Courant 1978, une série de 9 profils a été implantée le long de la séquence des piézomètres et analysée en détail. Compte tenu des données recueillies précédemment par la cellule de pédologie de la S.A.E.D., on peut considérer que cette séquence est représentative de l'agencement latéral des sols dans la cuvette.

4 - LES RESULTATS

La séquence de sols alignée sur un axe S.N. de 1,7 km, allant de la route au LAMPSAR, comprend 9 profils recoupant les différentes unités géomorphologiques, du glacis de raccordement Diéri/Cuvette, au lit mineur du LAMPSAR (cf. plan de situation).

PROFIL PG 1 : Sol peu évolué salé, faciès acidifié et hydromorphe sur alluvions de texture moyenne.

Observé en juin 1978, situé à 100 m au Nord de la Route Nationale, en topographie plane pendant légèrement vers le Nord. La végétation éparse est composée de Tamaris, quelques Balanites et Borreria et des touffes de Salicorne ; elle montre déjà une certaine relation avec la salure.

Le piézomètre P.1 est situé à quelques mètres du profil (cf. données piézométriques).

DESCRIPTION -

- 0 - 5 cm : Fine pellicule de battance en surface - horizon beige sablo-argileux, sec - Structure poudreuse avec quelques agrégats polyédriques émoussés très fragiles - très salé, avec légères efflorescences salines.
- 5 - 10 cm : Horizon beige, plus consistant à structure à tendance cubique avec une sous-structure légèrement feuilletée - très poreux, bien exploité par les racines - salé.
- 10 - 40 cm : Horizon très hydromorphe, très bariolé ocre et gris clair sur un fond brunâtre - structure polyédrique fine à moyenne à surstructure prismatique - Texture moyenne avec quelques alternances de sable fin et d'argile, plus sableux à la base et blanchi au-dessus d'une limite brutale soulignée par une couche d'argile grise de 1 cm - porosité très fine - horizon salé.
- 40 - 100 cm : Horizon hydromorphe très sableux, sable grossier blanc à strates ocres certaines étant plus indurées de façon discontinue ; quelques passées rouges - structure particulière ; faible enracinement limité à la partie supérieure.
- 100 - 140 cm : Alternance de couches argileuses grises de gley et de couches sableuses ocres sur 20 cm passant à 120 à une argile à gley légèrement tachée ocre - présence d'iron-pipes.
- à 2 m : Nappe.

PG. 1

Profondeur en cm	0-10	10-20	30-40	120-130
------------------	------	-------	-------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	2,8	3,8	1,8	4,8
Argile	23,6	30,4	16,4	33,3
Limon fin	12,9	14,5	7,6	16,1
Limon grossier	17,5	14,6	9,4	30,5
Sable fin	31,5	32,9	57,7	9,9
Sable grossier	10,3	2,2	5,5	3,5
Matière organique	0,8			
Total	99,4	98,4	98,4	98,1

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C %	4,7			
N %	0,47			
C/N	10,0			
P ₂ O ₅ total %	0,315			
P ₂ O ₅ ass. %	0,062			
pH eau 1/2,5	7,1	4,5	4,3	4,0
pH KCl	6,4	4,0	3,7	3,6

CALCAIRE - SOUFRE et FER

Gypse S %				0,94
Jarosite S %				0,52
S/total %	5,5			31,0
Fe ₂ O ₃ total %				

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigés)

Ca ⁺⁺	2,9	0,9	0,55	2,0
Mg ⁺⁺	2,5	3,7	2,4	3,75
K ⁺	0,4	0,4	0,2	0,4
Na ⁺	0	2,7	0,9	1,3
S	5,8	7,7	4,05	7,45
T	10,8	10,8	5,1	1,0
S/T %	54	71	79	67
Na/T %	0	25	17	12
Mg/T %	23	34	47	34

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) (mé/100 g)

Conductivité mmhos/cm	6,9	3,85	1,15	4,4
pH	6,7	4,5	4,9	4,0
Ca ⁺⁺	5,4	0,2	0,02	1,7
Mg ⁺⁺	10,0	2,2	0,1	5,0
K ⁺	0,5	0,3	0,08	0,5
Na ⁺	25,0	16,3	5,0	23,1
Somme cations	41	17	5,2	30,3
Cl ⁻	30,0	15,2	4,2	23,2
SO ₄ ⁻⁻⁻	10,3	3,8	1,1	6,1
HCO ₃ ⁻	0,2	0,02	0,02	0,00
Somme anions	40,5	19	5,3	29,3

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	17,55	22,10	13,30	29,80
pF 3	11,15	16,55	9,45	23,05
pF 4,2	6,45	10,25	5,70	13,80

DONNÉES SUR LA NAPPE (Juin 1978)

pH	EC mmhos	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Mé/l somme cations	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	Mé/l somme anions
7.5	65.3	70.0	160.0	465.0	13.0	708.0	600.0	111.4	1.8	713.2

Rapports caractéristiques

Cl/SO ₄	Na/Mg	Ca/Mg	Na/K	SAR
5.4	2.9	0.43	35.7	43

Remarques sur le profil PG.1

Le profil est différencié sur des strates alluviales assez hétérogènes dont la texture d'ensemble est argilo-limoneuse à limono-sableuse, textures pour lesquelles les remontées capillaires sont maxima. La présence d'une nappe très salée (à 2 mètres de profondeur en fin de saison sèche) contamine les couches supérieures du sol ; cette dynamique ascendante est contrariée par l'hétérogénéité texturale du profil et le profil salin est irrégulier présentant néanmoins une nette concentration en surface (environ 50 mmhos/cm sur l'extrait de saturation) favorisée par la texture légère et par l'absence de couvert végétal efficace (fig. n° 2). L'eau de la nappe est fortement chlorurée (cf. bilan ionique) avec un rapport $Cl/SO_4 = 5,4$, le chlorure de sodium dominant nettement le chlorure de magnésium.

Dans l'extrait de sol, ce rapport est un peu plus faible de l'ordre de 4, et l'extrait est chloruro-sulfaté, le magnésium étant toujours dominant par rapport au calcium tant dans l'extrait que dans le complexe adsorbant ($Ca/Mg < 1$).

Un caractère important de ce profil est une acidité prononcée dès 10 cm et allant croissante avec la profondeur (4,5 à 4), ceci en rapport avec un gradient de soufre total de 0,5 à 3 % en profondeur. Un taux de 0,5 % est considéré comme limite affectant déjà les rendements agricoles. En outre le profil est marqué dès 10 cm par une intense hydromorphie à pseudogley avec tendance au gley en profondeur.

La fertilité chimique est faible. La réserve en eau utile faible.

La mise en valeur de ce sol est à proscrire sous les pratiques actuelles de l'irrigation dans le delta (sans drainage). En outre, lors de l'aménagement de la cuvette, il est hautement souhaitable que de telles zones ne servent pas de carrière pour la réalisation du planage du périmètre.

PG. 2 : Sol peu évolué d'apport hydromorphe faciès sulfuré sur alluvions grossières

Observé en Juin 1978, situé à 300 m au Nord de la route, topographie plane en position de glacis de raccordement du Diéri à la cuvette.

Végétation arbustive absente, touffes de Salicorne.

DESCRIPTION :

- 0 - 10 cm : Très fine pellicule de desquamation sur 0,5 cm - Horizon beige faiblement humifère, sablo-limoneux, sain - structure en éclats polyédriques à tendance grumeleuse, très fragiles - limite nette.
- 10 - 40 cm : Horizon beige plus clair, non taché, sablo-limoneux - structure en éclats polyédriques très fragiles - Faible enracinement.
- 40 - 100 cm : Horizon hétérogène, fond beige avec grosses taches brunes à la partie supérieure de l'horizon passant à des strates horizontales plus continues, plus foncées, plus cimentées noirâtres à la partie inférieure (sulfures neutres métalliques) ; les taches sont elles mêmes empreintes de petites taches ou concrétions noires (Fe-Mn) texture et structure identiques à l'horizon sus-jacent.
La base de l'horizon est soulignée sur 5 cm par un niveau très taché, à dominance ocre.
- 100 - 130 cm : Horizon hydromorphe hétérogène, ocre dominant, finement taché noir le long de racines décomposées, avec des passées sableuses blanchies.
- <130 : Sable ocre légèrement taché noir.

Profondeur en cm	0-10	20-30	50-60	90-100	130-140
------------------	------	-------	-------	--------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	0,5	0,3	0,3	0,5	0,9
Argile	4,3	1,5	2,3	3,8	4,9
Limon fin	4,8	3,1	2,5	1,0	1,0
Limon grossier	9,1	8,6	3,8	0,3	0,1
Sable fin	66,9	72,7	76,5	67,1	36,7
Sable grossier	13,6	12,9	13,8	26,7	55,2
Matière organique	0,5				
Total	99,7	99,1	99,2	99,4	98,8

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C ‰	3,10			1,12	
N ‰	0,32				
C/N	9,7				
P ₂ O ₅ total ‰	0,215				
P ₂ O ₅ ass. ‰	0,092				
pH eau 1/2,5	7,0	7,5	7,2	7,2	5,4
pH KCl	6,0	5,9	5,6	5,8	4,7

CALCAIRE - SOUFRE et FER

Gypse S ‰			0,10	0,06	0,17
Jarosite S ‰			0,20	0,33	0,16
S/total ‰	0,9		18,0	29,5	1,5
Fe ₂ O ₃ total ‰	0,85	0,50	0,65	0,67	0,60
" " libre ‰					

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigées)

Ca ⁺⁺	1,9	0,55	0,55	0,45	0,25
Mg ⁺⁺	0,7	0,2	0,2	0,5	0,85
K ⁺	0,13	0,04	0,03	0,13	0,20
Na ⁺	0,3	0,05	0,06	0,06	0,01
S	3,0	0,8	0,8	1,15	2,45
T	3,2	0,8	0,2	1,2	1,9

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) (mé/100 g)

Conductivité μ hos/cm	0,14	0,04	0,05	0,21	1,0
pH					4,7
Ca ⁺⁺					0,2
Mg ⁺⁺					0,6
K ⁺					0,1
Na ⁺					3,7
Somme cations					4,6
Cl ⁻					3,4
SO ₄ ⁼⁼					1,0
HCO ₃ ⁻					0,05
Somme anions					4,45

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	5,85	2,85	2,70	2,60	
pF 3	3,40	1,20	1,50	1,95	
pF 4,2	2,05	0,90	1,10	1,40	

Remarques sur le profil PG 2

Ce profil de texture légère (sablo-limoneux à sableux) paraît lié à un épandage de matériaux à partir de la dune (glacis de raccordement Diéri-cuvette, ou cône d'épandage).

Il est seulement faiblement salé en profondeur, dans le sable, (7 mmhos ES), en relation avec une nappe plus profonde ; le sel est concentré préférentiellement dans les taches ocres.

Ce sol est surtout caractérisé par des taches noirâtres, liées à des sulfures métalliques neutres, probablement manganiques (ni le fer ni la matière organique ne marquent à l'analyse). Ces sulfures sont redistribués de façon importante (3 % de soufre total) à la partie supérieure de la zone de battement de nappe, au-dessus des oxydes de fer.

Le pH est neutre. Ces sulfures stabilisés ne devraient pas contrarier la mise en valeur du sol ; néanmoins selon V. JACQ, en régime d'aérobiose et dans un sol humide, si les phases de submersion sont trop courtes, *Thiobacillus ferroxydans* peut se développer et transformer une partie de ces sulfures neutres en sulfates avec deux risques : - baisse importante du pH
- augmentation des sulfures lors de la riziculture suivante.

La pauvreté chimique est grande, faible taux de matière organique et de phosphore, et capacité d'échange extrêmement basse. La réserve en eau utile est très faible, de l'ordre de 1 % .

Le sol est irrigable de façon intermittente à cycles très rapprochés (CR de rétention très faible) en contrôlant le niveau de la nappe et sa salinité.

Pg. 3 : Sol hydromorphe à gley de profondeur salé
faciès acidifié sur alluvions à strates hétérogènes.

Observé en Juin 1978 et Juillet 1979 - topographie plane - touffes de Sporobolus et Borreria, quelques Tamaris
position géomorphologique de bord de cuvette légèrement surélevé, ayant empêché sa culture en régime d'inondation naturelle.

DESCRIPTION :

- 0 - 5 cm : Légère pellicule de battance entre les touffes de végétation - Horizon hétérogène brun clair moyennement humifère nettement ocre le long des trajets racinaires, hydromorphe - Nombreuses racines décomposées formant feutrage - texture limoneuse, structure polyédrique écoussée à tendance feuilletée - épaisseur irrégulière.
- 5 - 20 cm : Horizon bariolé, ocre rouille taché blanc le long des nombreuses racines - Limono très sableux - structure en éclats polyédriques fragiles.
- 20 - 25 cm : Horizon rougeâtre, hétérogène, ocre et gris très clair, nettement plus consistant.
- 25 - 45 cm : Horizon bariolé, blanc taché ocre, jaune et rouge - sableux, particulière, plus friable - racines noircies, limite brutale.
- 40 - 100 cm : Horizon très bariolé, gris foncé, rouge et traînées ocres - structure prismatique grossière bien développée, la partie supérieure de l'horizon a un aspect feuilleté - Présence d'iron-pipes ocre rouille indurés entourés d'un manchon plus rouge, puis gris - texture limono-argileuse, forte porosité - frais et salé.
- 100 - 140 cm : Horizon très bariolé, gley dominant taché rouge - humide - Sablo-limoneux - iron-pipes rouges manchonnés ocre, jaune puis gris, du centre vers la périphérie.

Profondeur en cm	0-10	10-20	30-40	70-80	120-130
------------------	------	-------	-------	-------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	2,4	1,5	0,4	2,7	1,3
Argile	22,3	15,0	5,0	26,9	12,0
Limon fin	12,6	7,3	1,9	14,4	3,3
Limon grossier	13,8	5,9	1,7	23,8	0,7
Sable fin	37,8	56,6	80,8	18,9	47,7
Sable grossier	9,9	12,7	10,9	11,4	33,9
Matière organique	2,0				
Total	100,8	99,0	100,7	98,1	98,9

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C ‰	11,40				
N ‰	1,07				
C/N	10,7				
P ₂ O ₅ total ‰	0,350				
P ₂ O ₅ ass. ‰	0,042				
pH eau 1/2,5	5,3	7,0	6,1	4,2	4,1
pH KCl	4,9	6,0	5,3	3,6	3,7

CALCAIRE - SOUFRE et FER

Gypse S ‰					0,39
Jarosite S ‰					1,76
S/total ‰	1,5				5,7
Fe ₂ O ₃ total ‰	3,20	2,10	3,05	2,05	2,10

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigés)

Ca ⁺⁺	3,6	1,9	0,45	1,5	0,35
Mg ⁺⁺	3,7	2,55	0,8	4,25	1,7
K ⁺	0,3	0,2	0,02	0,2	0,06
Na ⁺	0,25	0,30	0,1	0,6	0
S	7,85	4,95	1,35	6,55	2,10
T	11,1	3,5	3,1	8,2	3,7
S/T %	70	SAT	43	79	56
Na/T %	2	8	3	7	0
Mg/T %	33	72	25	52	46

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) (mé/100 g)

Conductivité mmhos/cm	1,77	0,58	0,51	1,26	1,50
pH	4,5	6,7	6,0	4,4	4,4
Ca ⁺⁺	1,8	0,2	0,1	0,15	0,2
Mg ⁺⁺	2,6	0,45	0,35	0,35	0,8
K ⁺	0,3	0,1	0,05	0,1	0,1
Na ⁺	4,45	1,8	1,55	5,0	5,5
Somme cations	9,15	2,55	2,05	5,6	6,6
Cl ⁻	6,7	1,85	1,5	4,4	5,9
SO ₄ ⁼⁼	2,35	0,5	0,6	1,5	1,6
HCO ₃ ⁻	0,02	0,12	0,07		0,02
Somme anions	9,1	2,45	2,15	5,9	7,5

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	19,70	11,65	3,35	24,95	9,05
pF 3	13,50	7,75	2,35	18,15	6,80
pF 4,2	7,20	4,40	1,80	10,45	4,15

Remarques sur le profil PG. 3

La texture est hétérogène composée de strates alluviales superposées, l'ensemble étant de texture moyenne et reposant sur un niveau sableux profond (>1,50 m).

La salure déjà marquée (> 7 mmhos ES) sauf dans les horizons plus sableux intermédiaires, est entretenue par une nappe profonde ; bien que l'hétérogénéité granulométrique du profil contrarie les remontées capillaires et salines, une accumulation sensible affecte déjà la surface ; le profil salin est du même type que celui du sol PG. 1, en moins accusé. La nature des sels de l'extrait au 1/5 est chloruro-sulfatée (Cl/SO₄ de l'ordre de 3), le sodium dominant le magnésium et celui-ci étant toujours supérieur au calcium ; le sodium est toujours très supérieur au potassium. Une évolution verticale des différents rapports caractéristiques apparaît dans le profil (cf. tableau ci-dessous et fig. n°2) :

- le rapport Cl/SO₄ augmente avec la profondeur tendant à devenir chloruré, c'est-à-dire plus proche de la nature des sels de la nappe ; son profil est parallèle à celui de la conductivité.
- Le rapport Na/Mg augmente en profondeur, le sodium évoluant dans le même sens que les chlorures, de même que le rapport Na/K.
- Le rapport Ca/Mg diminue avec la profondeur.
- Le rapport Na + K/Ca + Mg est inférieur à 4 sur les 50 premiers cm caractérisant une salure sodique devenant sodique et magnésienne en-dessous (rapport > 4 et rapport Ca/Mg < 1).

	σ _{té} mmhos/cm	Cl / SO ₄	Na/Mg	Ca/Mg	Na/K	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$
0-10 cm	1,77	2,8	1,7	0,7	14	1,1
10-20	0,58	3,7	4,0	0,4	38	2,9
30-40	0,51	2,5	4,4	0,3	31	3,5
70-80	1,26	2,9	14,2	0,4	50	10,2
120-130	1,50	3,7	6,8	0,25	55	5,6

Profil PG. 3 : Evolution des différents rapports caractéristiques de l'extrait 1/5 avec la profondeur .

- L'hydromorphie à pseudogley est importante, affectant intensément les couches supérieures.

- Le pH, faiblement acide dans la partie supérieure est franchement acide (voisin de 4) en-dessous de 50 cm.

La richesse chimique est médiocre.

Valeur agronomique médiocre ; les facteurs limitants étant, la salinité, bien qu'elle soit corrigible par drainage profond, et le pH.

PG. 4 : Sol hydromorphe à gley de profondeur, salé,
faciès acidifié sur alluvions fines.

Observé en Juin 1978, situé en bordure de cuvette à 150 m à l'Ouest du piézomètre P2 - topographie plane - parcelle labourée en 1976, jamais mise en eau.

DESCRIPTION :

- 0 - 5 cm : surface battante.
Horizon gris brun, assez humifère, bariolé ocre nettement hydromorphe - Argilo-limoneux, structure polyédrique fine bien développée avec une surstructure plus grossière, motteuse - consistance moyenne. Efflorescences salines discrètes - limite nette.
- 5-25/30 cm : Horizon plus foncé, moins taché ocre - Argileux, à structure polyédrique moyenne à surstructure prismatique, plus consistant, assez compact - finement poreux - limite progressive.
- 25/30-60 cm : Horizon brun plus clair très hydromorphe marbré rouge, ocre et gris, limono-argileux - très finement poreux - salé - structure polyédrique moyenne - consistance forte - limite nette.
- 60 - 100 cm : Horizon bariolé ocre et gris moins rouge très hydromorphe, Limono-argileux, très poreux, bien exploité par les racines - structure polyédrique à tendance prismatique - limite nette.
- 100 - 130 cm : Horizon taché verticalement, gris dominant rouge et ocre, structure moins définie à tendance polyédrique - texture argilo-sableuse.
- < 130 cm : Horizon gris sableux à gley.

Profondeur en cm	0-10	15-25	50-60	80-90	120-130	140-150
------------------	------	-------	-------	-------	---------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	4,2	5,0	3,0	3,3	2,0	1,0
Argile	41,5	50,5	30,9	32,4	19,6	11,1
Limon fin	18,4	18,4	17,3	16,8	11,1	2,6
Limon grossier	18,9	5,4	24,8	35,8	17,4	0,8
Sable fin	13,1	17,3	17,8	7,3	37,4	32,0
Sable grossier	2,1	1,5	4,4	3,2	10,7	51,1
Matière organique	3,8					
Total	102,0	98,1	98,2	98,8	98,2	98,7

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C %	22,2					
N %	1,77					
C/N	12,5					
P ₂ O ₅ total %	0,540					
P ₂ O ₅ ass. %	0,065					
pH eau 1/2,5	5,5	4,7	4,3	4,1	4,0	4,0
pH KCl	5,0	4,1	3,7	3,6	3,5	3,7

CALCAIRE - SOUFRE et FER

Gypse S %						0,31
Jarosite S %						1,72
S/total %	1,7					3,4
Fe ₂ O ₃ total %	3,65	4,25	4,55	4,15	3,15	1,45

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigés)

Ca ⁺⁺	7,6	5,25	2,4	3,0	2,65	1,0
Mg ⁺⁺	5,6	5,8	4,8	5,0	3,5	1,35
K ⁺	0,6	0,5	0,24	0,24	0,12	-
Na ⁺	0,5	2,2	1,05	1,65	0,4	0,5
S	14,3	13,75	8,5	9,9	6,7	2,85
T	18,5	18,3	10,2	10,9	7,7	4,2
S/T %	77	75	83	90	87	67
Na/T %	2	12	10	15	5	12
Mg/T %	30	31	47	46	45	32

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) (mé/100 g)

Conductivité mmhos/cm	1,59	1,88	1,37	1,59	1,57	1,21
pH	5,5	4,7	4,7	4,7	4,4	4,8
Ca ⁺⁺	2,0	1,0	0,35	0,3	0,35	0,3
Mg ⁺⁺	2,5	1,8	0,7	0,7	0,8	0,85
K ⁺	0,15	0,10	0,1	0,12	0,12	0,75
Na ⁺	4,1	6,2	5,2	6,1	6,5	4,5
Somme cations	8,75	7,4	6,35	7,22	7,8	6,4
Cl ⁻	4,4	5,9	4,4	5,2	5,6	4,2
SO ₄ ⁼⁼	4,45	4,0	4,1	2,65	2,0	1,9
HCO ₃ ⁻	0,07	0,02	0,05	0,05	0,02	0,15
Somme anions	8,9	9,9	8,5	7,8	7,6	6,25

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	31,15	27,95	25,35	28,25	19,60	
pF 3	23,50	22,0	19,0	20,45	12,85	
pF 4,2	13,90	15,00	11,90	11,75	7,30	

Remarques sur le profil PG. 4

Ce profil situé en bordure de cuvette montre déjà une granulométrie plus fine, le sable n'apparaissant qu'à 130 cm ; il est marqué par une hydromorphie à pseudogley d'imbibition sur les couches de surface, et soumis à l'influence d'une nappe de profondeur qui différencie un gley surmonté de couches très bariolées à pseudogley.

Le profil salin est sensiblement constant sur tout le profil (de l'ordre de 10 mmhos sur l'ES.) sans concentration en surface en raison soit de la profondeur de la nappe soit de la granulométrie du profil (fig. n° 2).

Le pH est nettement acide dès la surface, atteignant 4 en profondeur, ceci en relation avec un taux de soufre total non négligeable.

La richesse chimique est correcte (matière organique - Phosphore).

Du point de vue mise en valeur la riziculture est possible sur ce sol avec préirrigation pour lessiver les sels de surface ; des problèmes sont néanmoins à craindre sur le plan nutritionnel entraînant des rendements faibles si le pH n'est pas corrigé.

La réserve en eau utilisable est de l'ordre de 8-10 % .

PG. 6 : Sol très salin à alcalins à structure dégradée, faciès très hydromorphe sur alluvions fines.

Profil observé en Juin 1978 - situé à 100 mètres du LAMPSAR sur le fluvio-deltaïque haut - La microtopographie est légèrement bosselée - Végétation à base de Tamaris, Sporobolus et quelques Acacia nilotica.

DESCRIPTION :

- 0 - 8 cm : Horizon brun, finement taché gris et ocre - moyennement humide - structure polyédrique fine à moyenne à tendance feuilletée - texture limono-argileuse - limite distincte.
- 8 - 35 cm : Horizon brun, légèrement plus foncé, finement marbré gris et ocre, avec efflorescences salines - argileux - structure polyédrique moyenne à grossière avec une sur-structure prismatique.
- 35 - 60 cm : Horizon gris clair gleyfié, taché ocre - cristaux de gypse - structure prismatique moyenne bien développée - très cohérent - très salé - limono-argileux - horizon sous l'influence de la nappe.
- 60 - 80 cm : Horizon blanchi, faiblement taché ocre - structure en éclats friables, très poreux, texture limono-sableuse - nombreuses racines - limite brutale.
- 80 - 120 cm : Horizon beige très clair, bariolé à très bariolé, ocre à la base et + quelques cristaux gypseux et taches noirâtres - iron-pipes - humide à la base du profil.

nappe : pH 7,8.

PG. 6

Profondeur en cm	0-10	15-25	40-50	70-80	120-130
------------------	------	-------	-------	-------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	4,3	4,5	4,5	1,8	2,8
Argile	35,0	43,0	29,8	11,5	8,8
Limon fin	21,1	22,0	17,5	6,8	7,0
Limon grossier	9,5	15,3	18,8	19,9	12,9
Sable fin	25,7	12,0	16,9	50,4	59,8
Sable grossier	3,0	1,9	10,9	8,0	6,9
Matière organique	2,1				
Total	100,7	98,7	98,4	98,4	98,2

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C ‰	12,0				
N ‰	1,0				
C/N	12				
P ₂ O ₅ total ‰	0,565				
P ₂ O ₅ ass. ‰	0,137				
pH eau 1/2,5	4,7	6,2	7,0	7,5	6,3
pH KCl	4,4	5,5	6,3	6,4	5,4

CALCAIRE - SOUFRE et FER

Gypse S ‰	0,64	0,78	1,48	0,54	1,26
Jarosite S ‰	0,45	0,60	0,24	0,37	0,41
S/total ‰	3,4				5,4
Fe ₂ O ₃ total ‰	3,9	4,55	3,9	0,9	2,2

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigés)

Ca ⁺⁺	2,85	5,0	5,8	1,75	4,6
Mg ⁺⁺	5,8	4,8	5,0	2,8	1,7
K ⁺	0,45	0,75	0,5	0,05	0,15
Na ⁺	2,7	3,8	3,15	0,9	1,9
S	11,8	14,35	14,45	5,5	8,35
T	14,3	13,7	11,7	6,4	8,2
S/T ‰	82	SAT	SAT	86	SAT
Na/T ‰	18	27	27	14	23
Mg/T ‰	40	35	42	43	20

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) (mé/100 g)

Conductivité mmhos/cm	4,18	2,95	5,15	2,02	3,92
pH	5,1	5,1	6,1	6,1	6,0
Ca ⁺⁺	2,7	2,15	5,65	0,75	2,9
Mg ⁺⁺	8,8	3,3	5,9	1,7	4,8
K ⁺	0,3	0,3	0,45	0,2	0,3
Na ⁺	10,7	10,2	18,1	7,5	13,1
Somme cations	22,5	15,95	30,00	10,15	21,1
Cl ⁻	17,8	9,8	17,0	6,4	12,4
SO ₄ ⁼⁼	4,8	5,65	13,0	4,2	9,6
HCO ₃	0,2	0,3	0,35	0,1	0,07
Somme anions	22,8	15,75	30,35	10,7	22,1

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	28,35	27,2	25,15	11,45	
pF 3	20,9	20,65	20,05	7,3	
pF 4,2	11,65	13,2	12,35	3,7	

Remarques sur le profil PG. 6 :

Profil à texture fine jusqu'à 50 cm, passant progressivement à une texture plus sableuse dans laquelle bat une nappe très salée (35 g/l RS).

Le pH très acide en surface devient neutre en profondeur ; le soufre total, de l'ordre de 0,5 %, est partiellement neutralisé par du calcium sous forme de gypse qui cristallise dans la zone de battement de nappe.

La conductivité est très élevée (15 à 40 mmhos ES) et le profil salin irrégulier est lié aux hétérogénéités granulométriques.

Le sodium échangeable corrigé des sels solubles atteint des proportions non négligeables (14 à 30 % de la capacité d'échange) ceci avec un pH neutre ou légèrement acide. La présence de sulfates seulement partiellement neutralisés par le calcium pourrait en être la cause ? La structure montre une tendance massive entre 10 et 60 cm.

La fertilité chimique est correcte (P_2O_5 : 565 ppm/matière organique : 2 %).

Quoi qu'il en soit, il est souhaitable d'exclure ce type de sol des aménagements à cause de sa salure excessive avant que ne soit réalisé un drainage de profondeur. En outre, l'alcalisation risque de poser des problèmes sous irrigation à l'eau douce.

Deux autres profils observés sur cette même unité montrent des caractères de salure importants dès la surface (80 et 35 mmhos/cm sur ES) et confirment l'importance de la salure dans cette partie N du périmètre en bordure du LAMPSAR.

DONNÉES SUR LA NAPPE (Juin 1978)

pH	EC mmhos	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	mé/l somme cations	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	mé/l somme anions
7,8	49,7	60,0	140,0	335,0	10,8	545,8	400,0	102,8	6,3	509,1

RAPPORTS CARACTÉRISTIQUES

Cl / SO ₄	Na/Mg	Ca/Mg	Na/k	SAR
3,9	2,4	0,43	31,0	33

La nappe présente sensiblement la même proportion relative des différents sels que la nappe P1, le taux de NaCl étant seulement un peu plus faible.

PG. 8 : Sol salin acidifié faciès verticale sur alluvions très fines.

Profil observé en Juin 1978 situé en fond de cuvette. La surface est nettement fissurée limitant de gros prismes à maille polygonale. Partie de la cuvette déjà cultivée en riz en aménagement primaire. Abandonnée depuis deux ans.

DESCRIPTION :

- 0 - 25 cm : Horizon brun, bariolé ocre et gris foncé, hydromorphe - légères efflorescences salines - très argileux - structure polyédrique émoussée moyenne à grossière à sur-structure prismatique très grossière - macro-porosité de fissuration - limite distincte.
- 25 - 70 cm : Horizon brun foncé, marbré ocre et rouge - très petites taches blanches salées - très argileux - structure verticale à prismes très grossiers limités par de grandes faces obliques gauches - limite distincte.
- 70 - 110 cm : Horizon brun taché ocre avec iron-pipes ocres devenant
et + plus rouges et plus nombreux à la base - aiguilles de gypse et taches blanchâtres - très salé - très compact - argileux avec petites passées sableuses horizontales à la base - très fine porosité.

PG. 8

Profondeur en cm	0-10	20-30	50-60	90-100	110-120
------------------	------	-------	-------	--------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	5,8	6,0	5,0	3,5	4,3
Argile	66,3	63,0	56,3	30,0	33,0
Limon fin	20,3	19,3	22,4	20,0	18,5
Limon grossier	4,9	7,5	9,4	30,8	35,0
Sable fin	1,3	2,1	4,1	7,1	6,3
Sable grossier	0,1	0,4	0,9	8,9	2,3
Matière organique	2,0				
Total	100,7	98,3	98,1	100,3	99,4

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C ‰	11,80				
N ‰	1,23				
C/N	9,6				
P ₂ O ₅ total ‰	0,675				
P ₂ O ₅ ass. ‰	0,070				
pH eau 1/2,5	5,6	5,1	4,4	4,1	4,0
pH KCl	5,0	4,6	3,8	3,7	3,6

CALCAIRE - SOUFRE et FER

CO ₂ Ca total %					0,2
Gypse S ‰	1,20	0,16	0,10	1,31	1,32
Jarosite S ‰	0,54	0,04	0,14	0,75	0,54
S/total ‰	3,6				4,7
Fe ₂ O ₃ total %	6,1	6,0	4,9	3,85	4,2

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigées)

Ca ⁺⁺	6,1	12,3	10,4	2,15	2,2
Mg ⁺⁺	9,2	5,3	3,0	2,3	3,7
K ⁺	1,2	1,2	0,8	0,4	0,5
Na ⁺	2,3	2,7	2,2	2,5	1,7
S	18,8	21,5	16,4	7,35	8,1
T	22,4	20,7	17,6	11,9	11,8
S/T %	84	SAT	93	61	68
Na/T %	10	13	12	21	11
Mg/T %	41	25	17	19	31

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) (mé/100 g)

Conductivité mmhos/cm	2,84	4,95	3,65	3,92	4,95
pH	5,4	5,1	5,2	4,9	4,6
Ca ⁺⁺	2,05	12,05	6,7	4,1	2,8
Mg ⁺⁺	5,4	9,7	5,75	5,35	4,7
K ⁺	0,35	0,5	0,5	0,4	0,45
Na ⁺	8,6	12,3	9,7	12,1	17,3
Somme cations	16,4	34,5	22,6	21,9	47,2
Cl ⁻	8,6	10,0	6,0	13,0	17,8
SO ₄ ⁼⁼	3,2	26,4	17,3	8,65	8,6
HCO ₃	0,35	0,30	0,75	0,35	0,1
Somme anions	17,1	36,7	24,0	22	26,5

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	36,65	35,55	35,30	28,60	30,00
pF 3	30,9	28,55	28,95	22,2	29,4
pF 4,2	20,4	19,9	20,1	12,65	14,20

Remarques sur le profil PG. 8 :

Profil de fond de cuvette à granulométrie très fine à fine (la sable apparaissant en profondeur >120 cm), permettant la différenciation de caractères vertiques (compacité - faces de glissement).

Le sol est très salé dans son ensemble (20 à 35 mmhos/ES), présentant un profil salin constant ; l'accumulation sensible apparaissant vers 30 cm est probablement due à un désalement limité de l'horizon supérieur très fissuré, par les eaux de submersion (fig. n° 2).

L'alcalisation, corrigée des sels solubles, apparaît supérieure à 10 % sur l'ensemble du profil. Le pH est néanmoins très acide à partir de 50 cm, atteignant 4 en profondeur.

La fertilité chimique est correcte (matière organique - phosphore).

La mise en valeur en riziculture attire les mêmes remarques que pour le profil PG. 9 (cf. page suivante) avec un facteur défavorable supplémentaire, la salure importante dont l'élimination dans ce milieu très argileux sur une grande épaisseur n'est pas évidente. Il est probable que ce taux de salure n'affecte que localement la cuvette dans ses parties les plus basses.

PG. 9 : Sol hydromorphe à gley de profondeur acidifié, faciès verticale, sur alluvions fines.

Profil observé en Juin 1978, situé dans la cuvette elle-même ; la microtopographie est légèrement bosselée et la surface nettement craquelée.

Cette partie du périmètre cultivée antérieurement en rizière avec aménagement primaire a été abandonnée depuis 2 ans.

DESCRIPTION :

- 0 - 20 cm : Horizon brun irrégulièrement taché ocre et gris, hydromorphe, structure polyédrique émoussée moyenne à fine, très cohérente et tendance à une sur-structure prismatique large limitée par une fissuration verticale - bonne porosité inter-agrégats à sec ; bien exploité par les racines - texture argileuse - limite nette.

- 20 - 35 cm : Horizon brun plus finement taché ocre rouge et gris - plus compact - structure polyédrique à tendance prismatique - texture argileuse - bonne porosité - bon enracinement - limite graduelle - petites taches blanches gypseuses.

- 35 - 90 cm : Horizon très bariolé : taché rouge dominant (5 YR 6/8 et 10 R 4/8 à sec) ocre, et gris (5 Y 5/1 à 6/1) - nombreux iron-pipes ocre - jaune, très poreux - structure prismatique moyenne, consistance dure - quelques racines noircies - quelques cristaux de gypse aciculaires - limite brutale.

- 90 - 100 cm : Horizon blanchi, taché ocre et rouge - texture sablo-limoneuse structure en éclats fragiles - frais.

- < 100 cm : Horizon de gley, gris moyen avec iron-pipes ocres et rouges - texture sablo-limoneuse - humide - pas de structure.

Profondeur en cm	0-10	30-40	70-80	90-100	130-140
------------------	------	-------	-------	--------	---------

GRANULOMETRIE (10⁻²)

Humidité	4,8	4,5	2,1	1,3	0,9
Argile	59,6	50,5	27,8	12,8	10,8
Limon fin	21,1	21,8	13,0	5,3	2,5
Limon grossier	10,2	16,0	21,7	13,0	7,7
Sable fin	2,4	3,1	26,3	45,0	36,1
Sable grossier	0,5	2,2	8,1	21,8	41,3
Matière organique	1,9				
Total	100,5	98,1	99,0	99,2	99,3

MATIERE ORGANIQUE - PHOSPHORE et pH

C %	10,90				
N %	0,97				
C/N	11,2				
P ₂ O ₅ total %	0,510				
P ₂ O ₅ ass. %	0,035				
pH eau 1/2,5	5,7	4,4	4,3	4,4	4,1
pH KCl	4,7	3,8	3,6	3,8	3,7

CALCAIRE - SOUFRE et FER

CO ₃ Ca total %					0,2
Gypse S %	0,13	1,04	0,31	0,19	0,24
Jarosite S %	0,52	1,04	0,53	1,14	2,52
S/total %	1,4				6,5
Fe ₂ O ₃ total %	5,8	5,8	4,0	2,05	2,25

CATIONS ECHANGEABLES en mé/100 g (corrigées)

Ca ⁺⁺	7,5	9,6	5,8	2,3	1,5
Mg ⁺⁺	6,5	3,6	2,0	1,3	0,8
K ⁺	1,25	0,75	0,30	0,2	0,1
Na ⁺	1,9	0,0	1,20	0,8	1,0
S	17,15	13,9	9,3	4,6	3,4
T	18,7	17,1	9,7	5,5	3,4
S/T %	91	81	96	83	100
Na/T %	10	0	12	14	29
Mg/T %	34	21	20	23	23

SELS SOLUBLES (sur un extrait au 1/5) mé/100 g)

Conductivité	0,35	1,50	0,49	0,30	0,45
pH	6,0	5,1	4,5	4,9	4,3
Ca ⁺⁺		5,4			
Mg ⁺⁺		2,2			
K ⁺		0,2			
Na ⁺		2,3			
Somme cations		10,1			
Cl ⁻		0,6			
SO ₄ ⁻⁻⁻		9,35			
HCO ₃ ⁻		0,5			
Somme anions		10,45			

ANALYSES PHYSIQUES

pF 2,5	33,85	31,45	26,2	12,15	7,75
pF 3	26,7	25,65	17,65	7,95	5,75
pF 4,2	17,35	17,3	10,3	4,4	3,6

Remarques sur le profil PG. 9

Le profil granulométrique est représentatif de la cuvette de décantation, nettement argileux sur les 40 premiers centimètres, devenant progressivement plus limoneux, le sable apparaissant à 90 cm.

La salure, rapportée à l'extrait de saturation, est généralement inférieure à 4 mmhos, sauf au niveau 35 cm où elle atteint 10 mmhos en raison d'une forte concentration en sulfate sous forme de gypse ($Cl/SO_4 = 0,06$, $Ca/Mg = 2,45$). Ce niveau également affecté par une augmentation du taux de jarosite, constitue probablement une limite granulométrique et structurale favorisant la précipitation des sels.

Le pH est franchement acide dès 20 cm, atteignant 4,1 en profondeur ; le calcium est malgré tout en trop faible proportion dans ce sol pour neutraliser tous les sulfates.

La réserve en eau utilisable est de l'ordre de 8-10 % dans les horizons argileux et de 4 % dans le sous sol sableux.

Le sol est rizicultivable. Des accidents nutritionnels entraînant des rendements médiocres sont néanmoins probables si le pH n'est pas corrigé en même temps que les sulfates neutralisés par la chaux. En outre, si la texture est favorable à l'irrigation par submersion, par contre des risques de sulfato-réduction induisant des effets néfastes à divers stades de la croissance du riz (en particulier au semis, au tallage et à l'épiaison) sont à craindre dans ce milieu acide, compact, imperméable et asphyxiant, contenant des taux de soufre total limites où les conditions réductrices apparaîtront rapidement.

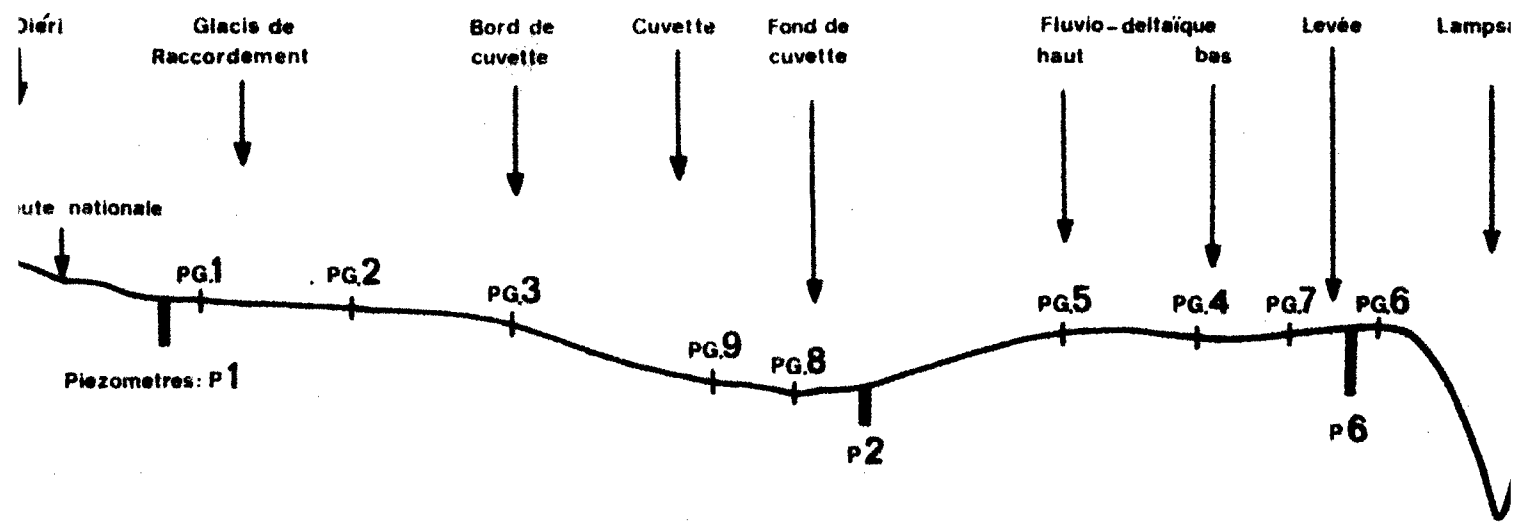


FIG: 1 - Agencement schématique de la séquence latérale

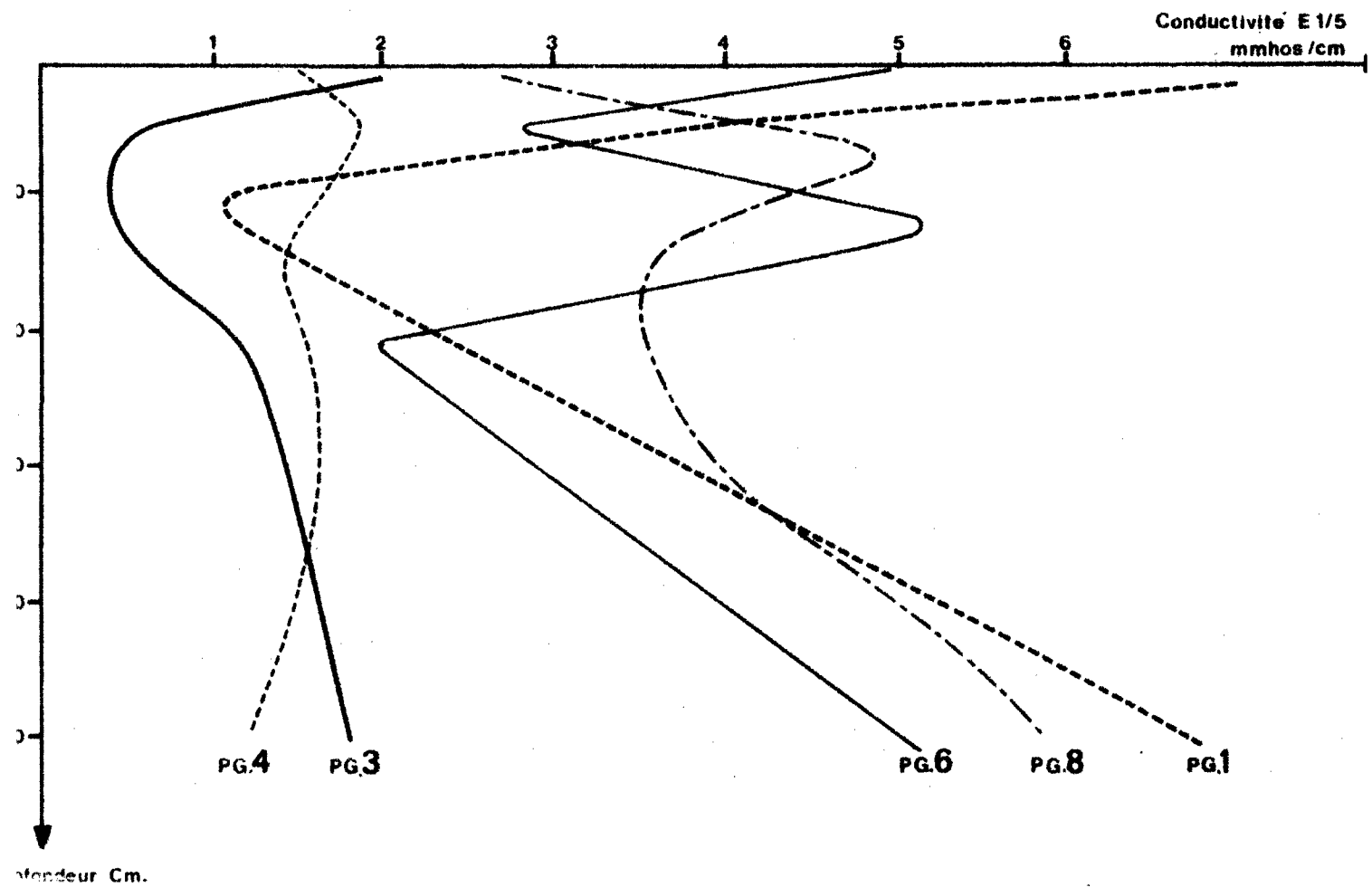


FIG: 2 - Profils salins

5 - CONCLUSIONS SUR LA PEDOGENESE

5.1. Aspect sédimentologique

Cette petite cuvette du delta du Sénégal est conforme à l'agencement général des alluvions observé dans cette partie de la vallée à savoir, prédominance des parties basses dites cuvettes de décantation sur les levées alluviales relativement hautes.

Trois ensembles sédimentologiques peuvent être distingués du Sud au Nord de la cuvette à partir des profils granulométriques (fig. n° 1) :

- une unité de glacis-terrasse alluviale constituée de matériaux grossiers probablement hérités du Diéri et remis en mouvement par les eaux ; la texture est limono-sableuse à sablo-limoneuse passant au sable nouakchottien en profondeur (profils PG. 1, 2 et 3).
- La cuvette de décantation avec bordures et fond de cuvette, où les textures assez homogènes sont fines à très fines de la périphérie vers le centre. Le sable pur apparaît généralement à moyenne profondeur (1,00 m), sauf dans les parties les plus basses où il est supérieur à 2 m.
- La zone des levées alluviales dont la cote topographique est plus élevée ; la granulométrie y est fine mais avec plus d'hétérogénéités et reposant toujours sur sable. A noter que ces levées en régime d'inondation naturelle sont, à la période actuelle, exclues de la submersion en raison de leur cote topographique (+ 2 à 3 m IGN au maximum), de même qu'en aménagement primaire où la cote maximale de submersion par gravité est de 1,30 m IGN. Par contre les nouveaux aménagements prévoient des canaux d'irrigation portés qui permettront l'irrigation d'une grande partie de ces levées pour lesquelles les problèmes posés par la mise en valeur sont différents de ceux de la cuvette elle-même.

Le niveau sableux nouakchottien apparaît donc d'une façon générale à moyenne profondeur sur l'ensemble de la cuvette (entre 50 et 100 cm). La partie supérieure des sols, hormis ceux de l'unité glacis-terrasse, est donc ici de texture fine (argileux à argilo-limoneux).

La nature minéralogique de l'argile est probablement un mélange Illite-Kaolinite ainsi que l'ont montré les études antérieures, ce que semble confirmer la capacité d'échange rapportée au taux d'argile qui est en moyenne de

38 mé/100 g d'argile. Celle-ci ne montre pas de variation latérale significative entre les différentes unités, et verticalement, les seules variations observées correspondent à une augmentation moyenne de 20 % dans les horizons supérieurs organiques.

5.2. Aspect pédogénétique

Les trois processus pédogénétiques principaux qui affectent les sols de la cuvette sont :

- l'hydromorphie,
 - la salure,
 - l'acidité,
- et à un degré moindre :
- l'alcalisation,
 - les caractères vertiques.

5.2.1. L'hydromorphie

Elle se manifeste partout avec une plus ou moins grande intensité affectant tout ou partie des sols. Deux causes sont à l'origine de ces manifestations actuellement :

- La présence d'une nappe, présente sur toute la cuvette plus ou moins profondément (1,50 m à 3 m du niveau du sol, en fin de saison sèche) et différenciant dans la zone de battement une hydromorphie à pseudogley intense, très bariolé, généralement sans concrétions, passant fréquemment au gley en profondeur (profils : PG. 1 - 3 - 4 - 9). Seul le profil PG.2 à granulométrie très grossière (80 à 90 % SF + SG) contient des concrétions noires, ce qui semble indiquer que la présence d'un milieu très poreux, aéré est nécessaire à ce concrétionnement. De nombreux iron-pipes ont été rencontrés dans presque tous les sols, indifféremment dans le pseudogley ou le gley ; il semble qu'ils soient les témoins d'une hydromorphie plus ancienne (PG. 1 - 3 - 5 - 8 - 9). Au contact des textures grossières et fines, la nappe différencie souvent dans le sable un petit horizon blanchi délavé, surmonté d'une frange de quelques centimètres, grise gleyfiée, dans le limon argileux (PG. 1 - 6 - 9) ou ocre, faiblement indurée dans le sable limoneux (PG. 2).
- La présence de couches à texture fine dès la surface et sur une assez grande épaisseur favorise en outre, par sa faible perméabilité, la stagnation des eaux de surface et induit une hydromorphie à pseudogley plus discrète (marbrures).

5.2.2. La salure

Dans le Delta, la salure est d'origine marine et fossilisée dans les sols, où elle est remise en mouvement par les nappes.

a/ Caractérisation de la salure de la nappe de Pont Gendarme

Deux échantillons de nappe ont été prélevés après vidange dans les piézomètres P1 et P6 correspondant aux emplacements des profils PG. 1 à l'extrême Sud de la cuvette et P6. 6 à l'extrême Nord, près du LAMPSAR. Ces eaux prélevées en fin de saison sèche sont supposées à leur maximum de salinité annuelle, elles sont excessivement salées (conductivité proche ou supérieure à celle de l'eau de mer). Les différents rapports caractéristiques de ces eaux sont consignés dans le tableau ci-dessous en comparaison avec ceux des extraits 1/5 (moyenne de 29 échantillons de sol) et ceux de l'eau de mer.

Echantillons	Conductivité mmhos/cm	Cl/SO ₄	Ca/Mg	Na/Mg	Na/K	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	SAR
P 1	65,3	5,4	0,43	2,9	35,7	2,1	43
P 6	49,7	3,9	0,43	2,4	31,0	1,7	33
1/5 moyen	3,0	2,13	0,56	4,25	37,0	3,4	-
Eau de mer	60,0	9,8	0,18	4,3	48,0	3,6	58

La nappe est caractérisée par un rapport Cl/SO₄ de l'ordre de 4, c'est-à-dire à la limite d'eaux chlorurées et chloruro-sulfatées. Parmi les cations, le sodium domine le magnésium et celui-ci domine le calcium, on peut les caractériser d'eaux chlorurées sodiques et magnésiennes faiblement sulfatées calciques.

Comparée à l'eau de mer, la salinité globale de la nappe est du même ordre de grandeur ; elle est aussi comparable du point de vue teneur en NaCl et MgSO₄ mais montre un enrichissement en MgCl₂ et CaSO₄.

En outre notons que la nappe prélevée en P 1 est probablement riche en fer ferreux dissous, un abondant dépôt d'oxyde de fer ocre rouille ayant précipité sur les parois de la bouteille le lendemain du prélèvement, ceci indiquerait au pH de 7,5 des conditions redox légèrement négatives. Il est en outre curieux de constater la différence de pH existant entre l'eau de cette nappe P 1 (pH 7,5) et celui de la suspension de sol 1/2,5 (pH 4,0) prélevé il est vrai à 70 cm au-dessus de cette nappe.

b/ Caractérisation de la salure des extraits 1/5 de sols

La majorité des sols de la cuvette présente des caractères de salure, leur échelle de conductivité électrique de l'extrait 1/5 oscillant en Juin 1978, entre 0,5 et 11 mmhos/cm (fig. n° 2). Seuls deux sols de la séquence (PG. 1 et 9) ont des conductivités inférieures à 0,5 mmhos/cm, tout au moins sur une partie de leur profil.

La relation entre la conductivité de cet extrait 1/5 et celle de l'extrait saturé est en cours de définition pour les sols de la vallée ; cette relation est fonction de deux variables qui sont la texture de l'échantillon représentée par son humidité à saturation HS %, et l'intensité de la salure. En première approximation on peut avancer comme facteurs de multiplication pour passer de l'une à l'autre :

- Cas des milieux à faible conductivité (< 10 mmhos/cm ES)

$$\text{HS \% } < 40 : \text{LES} = \text{L } 1/5 \times 8$$

$$40 < \text{HS \% } < 60 : \text{LES} = \text{L } 1/5 \times 7$$

$$\text{HS \% } > 60 : \text{LES} = \text{L } 1/5 \times 4 \text{ à } 5$$

- Cas des milieux à forte conductivité (≥ 10 mmhos/cm ES)

$$\text{LES} = \text{L } 1/5 \times 14 \text{ à } 20$$

La salinisation des sols de la cuvette est liée à la nappe phréatique qui a remis en mouvement les sels d'origine marine résiduelle et contaminé la plupart des sols. La comparaison des différents rapports caractéristiques des extraits 1/5 de sol (moyenne de 29 échantillons de conductivité $> 0,5$ mmhos/cm) à ceux de la nappe phréatique fait apparaître les différences suivantes :

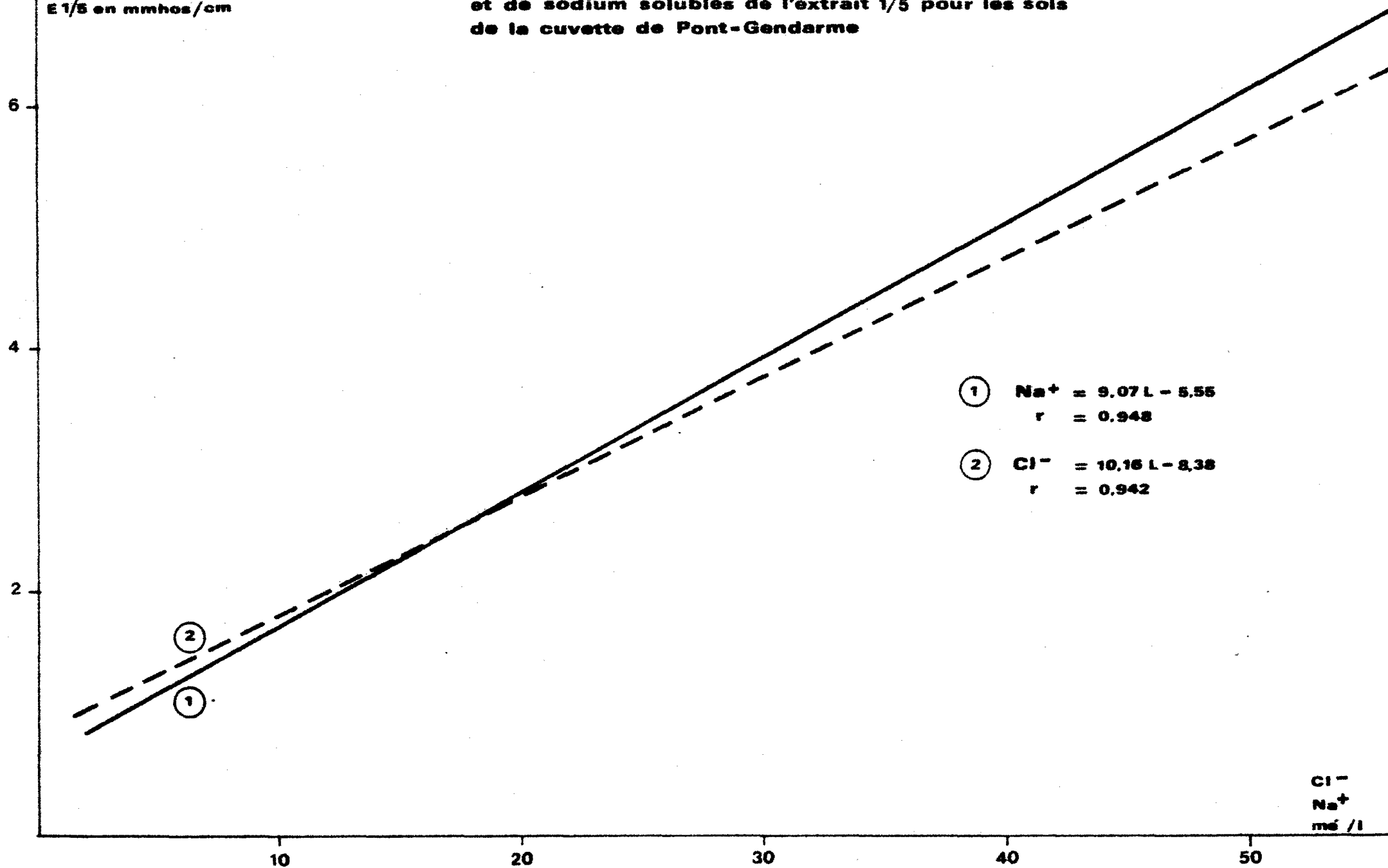
- par rapport à la nappe, les extraits sont moins chlorurés et plus sulfatés (rapport Cl/SO₄ compris entre 1 et 4 = chloruro-sulfaté).

- Du point de vue composition cationique, le magnésium domine le calcium, et le sodium domine le potassium, sensiblement dans les mêmes proportions que dans la nappe ; par contre le magnésium est en diminution par rapport au sodium. Les extraits dissolvent plus de Mg SO₄.

Globalement, le type de salure est le même que celui de la nappe à dominance chlorurée-sodique. Les variations observées sont sans doute dues à des différences de solubilité entre les sels liées au rapport du sol et de la solution d'extraction.

Conductivité
E 1/5 en mmhos/cm

FIG : 3 - Relation entre la conductivité, le taux de chlorures et de sodium solubles de l'extrait 1/5 pour les sols de la cuvette de Pont-Gendarme



Nous avons cherché si la relation existant entre la conductivité et la composition ionique en ions majeurs de cet extrait était linéaire. Les différentes valeurs du coefficient de corrélation consignées dans le tableau ci-dessous montrent que la meilleure relation est obtenue par le sodium et le chlorure. On peut donc ici apprécier le degré de toxicité chlorurée de la solution du sol uniquement par la mesure de la conductivité, ceci dans le cas précis de la cuvette où le rapport Cl/SO₄ est toujours supérieur à 1 (fig. n° 3).

Variabes corrélées	Valeur du coefficient de corrélation	Equation de la droite de régression
Conductivité/Na ⁺	0,948	Na ⁺ = 9,07 L - 5,55
Conductivité/Cl ⁻	0,942	Cl ⁻ = 10,16 L - 8,38
Conductivité/SO ₄ ⁼	0,926	SO ₄ ⁼ = 4,49 L - 5,22
Conductivité/Mg ⁺⁺	0,897	Mg ⁺⁺ = 4,63 L - 0,62

5.2.3. L'acidité

Un des traits les plus caractéristiques des sols de la cuvette est une forte acidité (pH 1/2,5 < 5) se manifestant pratiquement dans tous les profils sur une plus ou moins grande épaisseur. Quelle est l'origine de cette acidité ?

- + Pour la gamme de pH comprise entre 7 et 5, il paraît normal d'invoquer la désaturation du complexe absorbant bien que la relation entre ces deux variables ne soit pas évidente. Le calcul théorique de la somme des bases réellement échangeables par soustraction des sels solubles de l'extrait 1/5 en est peut-être la cause.
- + Mais pour les échantillons dont la gamme de pH est < 5 et qui représentent la moitié des échantillons de la séquence, cette forte acidité ne peut probablement s'expliquer que par la présence de mangroves fossiles ; aucun sol sulfaté acide typique n'a cependant été observé sur la cuvette elle-même ou s'ils existent ils y sont probablement très localisés ; sur des cuvettes voisines, des sols à morphologie nettement sulfatée acide ont été reconnus (cuvette de Savoigne - cuvette de NDelle). Quoi qu'il en soit, la contamination de la nappe par ces milieux particuliers et la redistribution de l'acidité sous forme de sulfures ou sulfates est réelle bien que morphologiquement discrète.

Début 1977, une série de prélèvements de sols ont été effectués destinés à mettre en évidence d'éventuelles variations de pH dues à une oxydation des sulfures, une première mesure a été faite aussitôt le prélèvement et une répétition sur le même échantillon après un mois de stockage à l'air. Ce test a permis de constater pour la plupart des échantillons une légère baisse de pH inférieure à 1 unité pH ; par contre sur un nombre plus restreint d'échantillons la baisse de 2 à 3 unités pH ne peut être expliquée que par une acidification liée à la formation de sulfates acides. Ces sulfates induisent des pH très bas de l'ordre de 3,5 à 4 exprimant une potentialité acide assez marquée.

- A l'analyse, aucune relation directe n'a pu être mise en évidence entre ces pH très bas et le taux de soufre total ; dans ces sols où le soufre a une origine secondaire, il est probable que diverses combinaisons sulfatées ou sulfurées stables, neutres ou alcalines, se soient déjà opérées et qu'il ne faille considérer comme active et responsable de cette acidité qu'une partie du soufre total.

Sur le plan de la répartition spatiale de cette acidité, si aucune variation latérale n'apparaît sur la séquence, on note par contre une nette diminution verticale du pH dans les sols, le pH 4 étant généralement atteint en profondeur.

5.2.4. L'alcalisation

La méthode d'extraction des bases échangeables correspond en fait pour ces sols salés aux cations échangeables et solubles ; afin d'estimer la quantité de cations réellement échangeables, nous avons retranché de ces données brutes les cations solubles de l'extrait 1/5 et calculé le Na/T % à partir des nouveaux chiffres obtenus.

Les résultats font apparaître des taux d'alcalisation supérieurs à 15 % sur l'ensemble du profil PG. 6 et en profondeur dans les sols situés dans la cuvette de décantation (PG. 8 et 9). Morphologiquement, les caractères de dégradation de la structure n'apparaissent pas accentués sinon dans les deux sols de cuvette où la structure est très compacte, massive et la microporosité faible. En outre le pH de ces sols "alcalisés" n'est pas élevé (6 à 7 et même de l'ordre de 4), ce qui est en contradiction avec un complexe sodique mais peut être dû à la présence de sulfates acides. D'un autre côté, on peut supposer que la méthode d'estimation de la capacité d'échange à pH 7 est en défaut par excès dans ces sols très acides, ce qui tendrait donc à sous-estimer le sodium réellement échangeable.

Pour les sols de la vallée, certains auteurs ont pris en considération le magnésium échangeable à partir d'un rapport Mg/T supérieur à 50 % . Le rôle de ce cation sur la structure en particulier, n'est pas bien défini et nous nous limiterons à reconnaître qu'ici, il domine généralement le calcium et les bases échangeables avec un Mg/T moyen (corrigé des sels solubles), de 35 % et n'atteignant pas 50 % à l'extrême. Le rapport Ca/Mg échangeable est plus élevé que celui des sels solubles (0,9 pour 0,5 en moyenne).

5.2.5. Les caractères vertiques

Ils ont ici un rôle secondaire dans la pédogenèse par rapport à la salure et à l'hydromorphie et ne se manifestent que sur les sols très argileux de cuvette par une compacité et une structure élargie à faces obliques gauchies, plus ou moins larges mais jamais lissées ni luisantes comme dans les vertisols typiques. La nature minéralogique de l'argile et la pauvreté du complexe calcique en sont peut-être la cause.

6 - INCIDENCES DES PRINCIPAUX FACTEURS EDAPHIQUES SUR LA MISE EN VALEUR

La cuvette de Pont Gendarme est destinée à l'irrigation ; la principale spéculation prévue est la riziculture ; quelques cultures de diversification, en particulier tomates, sont également souvent envisagées par la S.A.E.D. sur ses périmètres. L'aménagement sera du type "tertiaire", c'est-à-dire que chaque parcelle (en moyenne de 2 à 3 ha dans le Delta) possède son propre canal d'irrigation et de vidange, mais aucun drainage de profondeur n'est prévu. La conduite de l'irrigation diffère évidemment selon la spéculation retenue :

- Submersion permanente avec vidange des eaux superficielles en début et en fin de cycle, pour le riz.
- Irrigation intermittente à la raie pour les cultures maraîchères cultivées sur billons (vidange superficielle).

Dans une première étape, tant que des réserves d'eau douce ne seront pas disponibles toute l'année, il ne sera pratiqué qu'un seul cycle de culture par an. Ultérieurement, grâce à la construction d'un barrage antisel à l'aval ou à la création de réserves d'eau douce dans les défluent, il pourra être envisagé 2 cycles annuels. Donc avec le rythme actuel, les sols seront irrigués pendant 3 à 4 mois et à sec le restant de l'année, soumis seulement aux maigres pluies d'hivernage.

Les principaux facteurs du sol influençant ce type de mise en valeur sont :

- la salure,
- l'acidité,
- la sulfato-réduction
- la fertilité chimique
- la texture et les propriétés hydriques.

6.1. La salure

Nous avons vu qu'elle affectait pratiquement tous les sols de la cuvette à un degré non négligeable (conductivité de l'extrait $1/5 > 0,500$ mmhos/cm), en relation avec la présence d'une nappe excessivement salée. Cette salure est à dominance chlorurée.

L'absence de drainage de profondeur ne pourra pas la corriger dans les sols de façon durable, d'autant plus que la majeure partie de l'année l'irrigation est interrompue. Aucun drainage naturel n'étant possible en raison de la topographie très plane, il est indispensable, et ce ne sera qu'une demi-mesure, d'évacuer les eaux de cette nappe salée par pompage à l'aval du collecteur principal au niveau de la cuvette ou de l'ensemble de la vallée LAMP SAR.

Ce pompage devra intervenir tout au long du cycle de culture et non seulement au moment de la vidange des eaux superficielles en début et en fin de cycle. La consommation d'eau d'irrigation s'en trouvera bien sûr augmentée, mais avec le type d'aménagement retenu c'est la seule chance de renouvellement de ces eaux très toxiques pour les ramener à des taux de salure moins rédhibitoires, ceci en maîtrisant leur remontée éventuelle dans les sols. L'évolution de la salure dans les sols sera fonction du système d'irrigation et de la texture :

- En régime de submersion, qui ne sera pratiquée que sur les sols à texture suffisamment fine pour des raisons d'économie d'eau, il est certainement possible, avec un planage correct, d'assurer le désaie- ment d'une tranche de sol suffisante à l'enracinement du riz. La technique indispensable de pré-irrigation de la parcelle déjà pratiquée dans le Delta devrait favoriser ce processus, le riz étant semé en prégermé.
- L'irrigation intermittente avec aménagement en sillons-billons est, avec le degré actuel de salinité de la nappe, à proscrire. La tendance est à pratiquer ce type de culture sur les sols les plus légers pour lesquels les remontées capillaires et salines sont maxima, le billon fonctionnant de façon classique comme piège à sel. Nous avons relevé ailleurs dans la vallée, sur le sommet de certains billons, des conductivités atteignant 100 mmhos/cm sur l'extrait saturé, pour lesquelles la tomate ne survit pas, même passé le stade du jeune plant. Un autre facteur humain qui accentue encore cette chloruration est l'utilisation sur ces sols d'engrais potassiques sous forme de KCl à des doses relativement fortes (250 à 400 kg/ha en cultures maraîchères). L'assimilation et l'exportation par la plante étant relativement faible (cf. tableau ci-dessous), les chlorures s'accumulent dans le sol sans élimination possible en absence de drainage et sont plus ou moins soumis aux cycles d'humectation et de dessiccation selon les textures.

Mg %	Ca %	Na %	K %	Cl %
0,71	1,40	0,09	2,94	1,08

Composition d'un plan de tomate (fruit - tige et feuilles) cultivé sur billon salé (en % du poids sec).

Un autre facteur qui semble indispensable à cette concentration chlorurée au sommet du billon est la présence d'oxydes de fer nettement exprimés comme dans le pseudogley par exemple. C'est sur les billons façonnés à partir d'horizons de surface hydromorphes qu'apparaissent ces manifestations qui prennent une teinte rouge brunâtre caractéristique. Il semble y avoir une attirance particulière des chlorures par le fer ; s'agit-il d'un effet physique de surface lié à la granulométrie de ces oxydes ou d'une liaison chimique plus intime sous forme de chlorure ferrique ?

Ces unités de sols légers, hydromorphes, salés, sont donc dans un premier temps à éliminer de ce type d'irrigation ; il est en outre hautement souhaitable que ces terres ne servent pas de carrières dans la réalisation du planage des périmètres, ce qui transposerait le problème, et qu'elles ne soient pas utilisées si elles sont très salées pour la confection des digues des irrigateurs, ce qui pourrait induire une salinisation latérale des parcelles ; ce cas a déjà été observé sur d'autres périmètres.

6.2. L'acidité

Les sols de la cuvette sont généralement acides ($\text{pH} < 7$) ; bien que cette acidité soit généralement moins forte en surface qu'en profondeur, elle risque de provoquer à partir du pH de 5, des chutes de rendements dues à des toxicités par le fer ou l'aluminium (CHARREAU - 1972).

Dans ces sols déjà sulfatés et utilisés en conditions réductrices, il conviendra de corriger le pH d'une unité en moyenne par des amendements calciques à base de chaux et non de gypse. Le calcium, outre ses effets bénéfiques sur le complexe adsorbant (rééquilibrage du couple Ca/Mg), et sur la vie microbienne, aura une influence bénéfique sur la structure, favorisant le processus de désalement.

6.3. La sulfato-réduction

La présence de sols peu perméables, la conduite de l'irrigation en milieu anaérobie, la présence de composés soufrés à des taux non négligeables, le pH bas, sont autant de facteurs susceptibles de déclencher des processus de réduction néfastes aux cultures. Ce problème sera abordé de façon détaillée par V. JACQ, microbiologiste de l'O.R.S.T.O.M., après des expérimentations conduites sur les sols de la cuvette. D'ores et déjà un certain nombre de précautions sont recommandables :

- planage parfait de la parcelle de façon à éviter la stagnation des eaux en surface après vidange de début de cycle ce qui aboutirait à la mortalité du germe
- semis en pré-germé
- aucun apport d'engrais ou d'amendement sulfaté
- alternances rapides de mise en eau (< 5 cm) et de vidange en début de cycle, la submersion à 10-15 cm n'intervenant qu'après tallage (V. JACQ).

6.4. La fertilité chimique des sols

La capacité d'échange de bases est fonction de la texture ; elle n'est généralement pas très élevée, ne dépassant pas 20 mé/100 g de sol pour les plus argileux. Le taux de saturation en bases est moyen et la répartition des cations dans le complexe adsorbant montre un déficit du calcium par rapport au magnésium surtout accentué dans les sols de levée. Le taux de potassium échangeable est faible, représentant de l'ordre de 1 % des bases, ce qui est un taux limite, et seulement 3 mé/100 g.

pH et cations échangeables	pH	Ca %	Mg %	K %	Na %
Glacis-Terrasse	6,4	35	28	3,7	32
Ouvette de décantation	5,0	40	33	4,1	22
Levées	5,3	17	35	2,3	45

Par contre, des analyses de bases totales effectuées sur quelques sols montrent des réserves très importantes de potassium en relation avec la texture. Le déficit du calcium par rapport au magnésium y est accentué.

Bases totales	Ca		Mg		K		Na	
	mé/100 g	%	mé/100 g	%	mé/100 g	%	mé/100 g	%
Textures fines	5,3	10	18,7	37	19	38	7	14
Textures grossières	1,8	9	7,9	41	3,2	17	6	32

Les taux d'azote, de matière organique et de phosphore des horizons supérieurs sont faibles à moyen et devront être réajustés selon l'intensification des cultures ; ils montrent des différences importantes entre les unités, les sols de cuvette étant généralement deux fois mieux pourvus que ceux des autres unités.

Fertilité Unités	M.O. %	N ‰	P ₂ O ₅ ppm	
			total	Assimilable
Glacis-Terrasse	1,1	0,62	293	65
Cuvette	2,5	1,32	575	56
Levée	1,3	0,71	526	98

6.5. La texture et les caractéristiques hydriques

6.5.1. La texture

C'est un facteur important de la riziculture irriguée ; il ressort des différents sondages effectués sur la cuvette de Pont-Gendarme que les sols sont différenciés sur deux couches superposées à granulométrie très tranchée :

- L'argile de décantation dont l'épaisseur oscille entre 30 et 100 cm selon la position : 30 à 50 cm en haut de séquence et 50 à 100 cm en bas de séquence avec très localement dans les positions topographiques les plus basses une couche argileuse dépassant un mètre.
C'est un matériau peu perméable, mal drainant (cf. ci-dessous) et difficile à travailler.
- Le sable de profondeur dans lequel bat la nappe et qui devrait être un élément favorable à l'élimination des sels.

6.5.2. La réserve en eau des sols

Des mesures au laboratoire ont été effectuées sur 32 échantillons afin de déterminer les humidités caractéristiques aux différents pF 4,2 - 3 et 2,5. Sur les résultats obtenus des corrélations ont été faites afin de déterminer la contribution des fractions granulométriques les plus fines aux différentes valeurs d'humidité. Les trois variables corrélées aux valeurs de pF sont le taux d'argile ($< 2\mu$), le taux d'argile plus limon fin ($< 20\mu$) et le taux d'argile plus limons totaux ($< 50\mu$). Les résultats consignés dans le tableau ci-dessous montrent que le coefficient de corrélation le plus élevé est obtenu pour les trois niveaux de pF avec la fraction granulométrique comprise entre 0 et 20μ , pour laquelle les équations des droites de régression et les coefficients de corrélation sont respectivement :

Humidité % à pF 4,2 = 0,234 A % + 0,152
 Humidité % à pF 3,0 = 0,35 (A + LF %) + 1,36
 Humidité % à pF 2,5 = 0,42 (A + LT %) + 3,78

Variables	A % < 2 μ	A + LF % < 20 μ	A + LT % < 50 μ
pF 4,2	0,964	0,983	0,929
pF 3,0	0,940	0,973	0,946
pF 2,5	0,895	0,933	0,924

La réserve utile des sols est donc très liée à la fraction granulométrique la plus fine ; elle est de 7 à 10 % pour les sols argileux de la cuvette de décantation et les sols argilo-limoneux des levées ; elle est variable de 1 à 5 % pour les sols légers du glacis-terrasse.

6.5.3. La perméabilité

Une campagne de mesure de la perméabilité a été effectuée en 1977 sur les sols de la cuvette par la méthode dite du "trou à la tarière", ou méthode HOODGHOUDT, destinée à apprécier le coefficient de perméabilité des sols au niveau de la nappe : un trou est foré avec une tarière calibrée en dessous du plan d'eau (dans la plupart des sols de la cuvette, la mauvaise tenue du sous sol sableux a obligé à stabiliser le forage par un tube crépiné) ; après rééquilibrage de la nappe, une partie de l'eau est soutirée du trou et la vitesse de remontée du plan d'eau est mesurée et convertie en valeur du coefficient de percolation K de la couche considérée, par la formule de ERNST (1950)

$$K = C \frac{\Delta Y}{\Delta t}$$

qui exprime la variation de la remontée en fonction du temps, C étant fonction de la hauteur soutirée, du diamètre du trou, de la profondeur d'un niveau imperméable éventuel.

Sur 28 sondages effectués, les 26 résultats exploitables permettent d'apprécier la valeur moyenne du coefficient K pour les deux types de matériaux rencontrés :

argile de surface K = 1,1 cm/h
 sables de profondeur K = 2,4 cm/h

Bien que plus de deux fois supérieure à celle des argiles la conductivité hydraulique des sables reste faible contrairement à ce que l'on pouvait supposer pour ce type de matériau. Plusieurs causes peuvent être invoquées pour l'expliquer, en

particulier :

- la présence au sein de la couche sableuse de strates argileuses discontinues, lenticulaires
 - la richesse de ces sables en fer induisant un concrétionnement, parfois une cimentation, (iron-pipes, début d'altos).
-

7 - BIBLIOGRAPHIE

- CHARREAU C. (1972) : "Rapport de mission d'appui à la SAED" - Nov. 1972, SAED-FAC-SATEC.
- DURAND J.H. (1958) : "Les sols irrigables" - ALGER.
- GAUCHER G. (1966) : "Etude pédologique de la vallée du LAMPSAR et basse vallée du DJEUSS" - SAED-SCET.
- GAUCHER G. (1974) : "Rapport de mission d'appui à la SAED" - FAC/SAED.
- MAYMARD J. (1960) : "Etudes pédologiques dans la vallée alluviale du Sénégal" - MAS.
- MUTSAARS M. VAN DER VELDEN J. (1973) : "Le dessalement des terres du Delta. Bilan de trois années d'expérimentation" - OMVS/FAO, SAINT-LOUIS.
- NDIAYE A. (1978) : "Les vallées du LAMPSAR-DJEUSS. Le milieu naturel dans ses rapports avec l'aménagement rural" - Univ. de STRASBOURG
- SEDAGRI (1973) : "Etude hydro-agricole du bassin du fleuve Sénégal" - FAO, PARIS.
- SERVANT J. (1975) : "Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes" Th. ENSA, MONTPELLIER.
- VAN BEERS (1958) : "La méthode du sondage à la tarière pour l'évaluation du coefficient de perméabilité" - IILRI, WAGENINGEN.