

OFFICE DU NIGER  
-----  
ZONE DE NIONO  
-----  
PROJET RETAIL

*sol*

PROJET RETAIL  
Arrivée N° 248  
du R.D.

*H12  
Salinisation  
Retail*

ETUDE SUR  
L'ALCALINITE ET LA SODICITE  
DES SOLS DU PROJET RETAIL

MUSEE  
BIBLIOTHEQUE  
N° H12  
Date: 30/06/89

*Coo  
1383*

Macky COULIBALY  
sous la direction de  
J.Y. JAMIN

PROJET RETAIL  
Arrivée N°  
du

Juin 1989

*Coo/1383*

PROJET RETAIL  
Arrivée N° 248  
du Ad.

SOMMAIRE

	Page
1. Introduction . . . . .	2
2. Aperçu général sur l'alcalinisation et la sodisation . . . . .	3
3. Le phénomène d'alcalinisation - sodisation à l'Office du Niger . . . . .	5
4. Analyse comparative des résultats de 1987 et de 1989 . . . . .	8
4.1. Résultats des analyses effectués . . . . .	8
4.2. Références utilisées . . . . .	11
4.3. Classement des sols du Projet Retail . . . . .	12
5. Conclusion . . . . .	18

## 1. Introduction

Ce rapport est relatif aux études faites en contre saison 1989 sur les sols de la zone réaménagée du Secteur Sahel (Projet Retail) ; les phénomènes d'alcalinisation et de sodisation des terres étant préoccupants à l'Office du Niger, les analyses ont porté essentiellement sur le pH (H<sub>2</sub>O et KCl) et sur la conductivité électrique (CE mesurée sur l'extrait 1/2,5) ; des analyses plus complètes avaient été effectuées en 1987 <sup>1</sup>.

Les prélèvements, les analyses et les interprétations ont été effectués par Macky Coulibaly, pédologue diplômé de l'ENSUP, sous la direction de J.Y. Jamin, expert Recherche-Développement SOFRECO/CIRAD au projet Retail.

Les échantillons ont été prélevés entre mi-février et mi-mars 1989. Les points de prélèvement sont (approximativement) les mêmes que ceux de l'étude effectuée en 1987 déjà citée, mais tandis qu'en 1987 les rizières étaient sous irrigation (les prélèvements n'ayant pu être effectués qu'en juillet), elles se trouvaient à sec en 1989 pendant la période d'échantillonnage.

Comme en 1987, c'est donc 150 points de prélèvements répartis entre 7 types de sols au prorata des surfaces occupés par ceux-ci sur le Projet Retail qui ont été analysés. Le détail de la localisation de ces points ayant déjà été donné dans le rapport précédent, il ne sera pas repris ici, pas plus que les facteurs généraux concernant le milieu et la pédogénèse déjà traités en détail dans ce même rapport. Il nous a par contre paru important de faire un petit rappel sur les phénomènes d'alcalinisation et de sodisation qui sont au centre des préoccupations du Projet Retail et de l'Office du Niger en matière de fertilité des sols.

Signalons enfin que l'étude 1989 n'intéresse que l'horizon de surface (0-20 cm), alors qu'en 1987 trois horizons, descendant jusqu'à 1 mètre, avaient été étudiés. Nous pourrions cependant comparer les résultats des deux études pour l'horizon de surface.

---

<sup>1</sup> Les résultats de ces premières analyses sont étudiés dans :  
M. Coulibaly, 1988 : Analyse de la fertilité des sols du Projet Retail.  
Mémoire de fin d'étude de l'ENSUP dirigé par  
G. Coulibaly et J.Y. Jamin.

## 2. Aperçu général sur l'alcalinisation et la sodisation

Les valeurs du pH et de la conductivité électrique (CE) d'un sol renseignent sur sa réaction (acide, neutre ou alcaline) et sur son degré de salinité (plus le sol contient de sels, plus il est conducteur).

### - L'alcalinisation :

Pour un sol, le pH déterminé avec l'eau distillée ( $pH_{\text{eau}}$ ) est le plus représentatif des conditions naturelles, mais il varie avec les saisons à cause des variations d'humidité et de teneur en éléments minéraux et organiques ; par contre le pH déterminé dans une solution de Chlorure de Potassium ou KCl ( $pH_{\text{KCl}}$ ) varie moins que celui défini avec l'eau. Il représente aussi mieux le pH du sol quand ce dernier a reçu un apport d'engrais. Il est toujours plus bas que le  $pH_{\text{eau}}$ . Cette différence, souvent supérieure à une unité, s'explique par l'existence d'ions  $H^+$  sur le complexe absorbant du sol (CAS).

Le pH est un des paramètres déterminant dans la nutrition végétale. Il est utile de le connaître pour l'emploi des engrais. Par exemple, l'efficacité du PNT (Phosphate Naturel du Tilemsi) dépend en grande partie du pH du sol ; sa solubilité est en effet améliorée en milieu plutôt acide.

Dans les grandes lignes, selon son pH la réaction du sol est :

$pH < 6,5$	:	acide
$6,5 < pH < 7,0$	:	neutre
$7,0 < pH$	:	alcaline

Le phénomène d'alcalinisation se caractérise par une augmentation du pH, qui peut alors être un frein à la disponibilité et à l'assimilabilité de certains éléments (Zn, P, N), et peut entraîner une carence.

### - La salinisation et la sodisation :

La salinisation est relative à la concentration de sels solubles dans la solution du sol. Pour sa détermination, on mesure la conductivité électrique (CE) du sol sur un extrait aqueux de celui-ci. Il existe toute une gamme d'extraits plus ou moins dilués, auxquels sont associées des échelles de CE spécifiques : extrait de la pâte saturée du sol ( $CE_e$ ), extraits dilués à 1/1 ( $CE_{1:1}$ ), à 1/2 ( $CE_{1:2}$ ), à 1/2,5 ( $CE_{1:2,5}$ ), à 1/5 ( $CE_{1:5}$ ) ou à 1/10 ( $CE_{1:10}$ ).

Pour les extraits au 1/2,5 (à 25°C) couramment utilisés, l'échelle de salinité, est la suivante :

CE <sub>1:2,5</sub> (mmhos/cm)		Salinité
	< 0,25	Non salins
0,25	- 0,50	légèrement salins
0,50	- 1,00	salins
1,00	- 2,00	très salins
	> 2,00	extrêmement salins

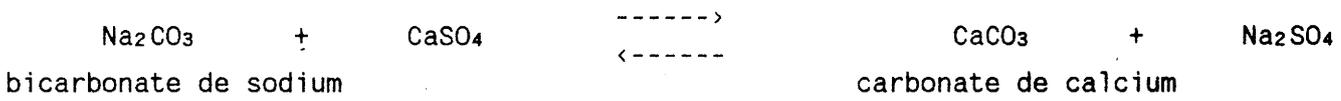
La salinisation peut s'accompagner d'une augmentation de pH<sub>eau</sub> par une production élevée d'anions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou CO<sub>3</sub><sup>--</sup>.

Dans le cas de l'Office du Niger la salinisation est essentiellement liée aux cations Na<sup>+</sup> (sodium), d'où le terme de sodisation souvent employé.

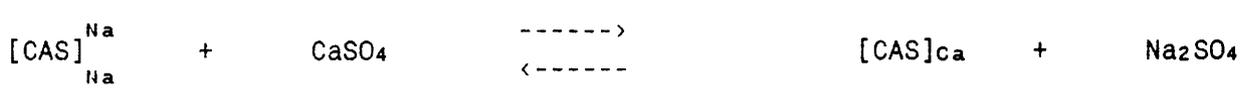
La basicité et la présence de sodium dans les sols nuisent aux plantes de part le comportement asphyxiant du terrain, dont la manifestation extrême peut être l'atrophie de tout le système végétatif ; elle induit en effet une détérioration des propriétés physiques et chimiques, bloquant tout épanouissement des cultures si des mesures adéquates ne sont pas appliquées en temps opportun : les sols alcalinisés et sodiques sont déstructurés par la dispersion des argiles et de la matière organique.

L'alcalinité des sols sodiques est déterminée par la présence de cations Na<sup>+</sup> sur le complexe absorbant, et de carbonate et de bicarbonate de sodium dans la solution du sol. Cette alcalinité peut se corriger par un apport de gypse (CaSO<sub>4</sub>) qui élimine le carbonate et le bicarbonate de Na de la solution, tandis que le sodium (Na) adsorbé par le sol est repoussé et remplacé par du calcium (Ca) avec formation dans la solution du sol d'un sel neutre (le sulfate de sodium : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) suivant les réactions ci-dessous :

(1) dans la solution du sol :



(2) sur le complexe absorbant du sol :



### 3. Le phénomène d'alcalinisation - sodisation à l'Office du Niger

L'alcalinisation et la sodisation ont été finalement peu étudiés en comparaison de l'importance que prend le phénomène et de l'ancienneté de l'installation de l'Office du Niger. Il faut dire que les eaux d'irrigation du fleuve Niger ont toujours été considérées comme de bonne qualité car très peu chargées en éléments minéraux.

Il a fallu attendre les années 1984-1985 pour sentir un véritable intérêt pour ces problèmes avec les travaux de C. Van Diepen (1984) et de R. Bertrand (1985).

Le phénomène avait cependant été signalé depuis assez longtemps, puisque B. Dabin (1951, 1954) l'avait mis en évidence. Mais il faut noter que depuis les travaux de B. Dabin les terres de l'O.N n'ont fait l'objet d'aucune recherche pédologique digne de ce nom jusqu'à la mission Toujan (1980) qui a insisté sur ce phénomène et ses dangers. C'est surtout R. Bertrand (1985) qui tira fortement la sonnette d'alarme, en écrivant que "le problème d'alcalinisation des sols met en péril la pérennité de l'Office du Niger".

B. Dabin (1951) trouva un rapport Na/Ca élevé sur quelques sols Danga, ce qui lui permit d'expliquer la mauvaise structure de leur couche arable. En 1952 il découvrit avec Aubert aux alentours de Niono et de Kokry des salants noirs.

La mission Toujan (1980) a opéré sur les sites prospectés par B. Dabin (1951). Ses travaux montrent une évolution des sols vers l'alcalinisation qui pour cet expert relèverait de la concentration de l'eau d'irrigation en sodium échangeable ( $\text{Na}^+$ ). En comparant ses résultats avec ceux de son prédécesseur, il trouva :

- une augmentation de pH d'une unité
- un pourcentage presque triple de  $\text{Na}^+$
- une baisse remarquable de la perméabilité et de la porosité vers des valeurs critiques
- un pH s'élevant à 9 au niveau des salants.

L'important pourcentage de Na échangeable et le pH élevé constituent les sources de la déstructuration des sols par la dispersion des argiles et de la matière organique.

C. Van Diepen (1984) et R. Bertrand (1985) confirmèrent les observations de la mission Toujan. Tous deux reconnurent que c'est le carbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) qui serait le principal auteur de la salinité et du pH élevé. R. Bertrand (1985) émit deux hypothèses sur les causes possibles du processus d'alcalinisation-sodisation :

- Hypothèse 1 : mauvaise qualité chimique des eaux du Niger
- Hypothèse 2 : remontée de la nappe phréatique alcalinisée au contact de couches profondes du sol chargées en  $\text{Na}^+$

Ces hypothèses servirent de thème à la thèse de K. N'Diaye (1987). A la suite d'études géochimiques suivant le modèle "Gypsol", il rejeta l'hypothèse d'une origine géologique des sels, en montrant que l'eau de la nappe dérive des eaux d'irrigation (venant du Niger) par concentration. Il mit en évidence le caractère carbonaté sodique de l'eau du Niger et établit que durant sa concentration dans le réseau d'irrigation et les parcelles :

- l'alcalinité résiduelle calcite est positive
- le calcium diminue par précipitation de la calcite
- le SAR [ sodium absorption ratio =  $\text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}$  ] augmente, favorisant la fixation du Na sur les argiles exposées à la dispersion.

Comme mesure de défense possible, il préconisa l'application du Gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) et de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Kabirou N'Diaye (1987), S. Dembélé (1986), N. Coulibaly (1987) insistèrent sur le caractère évolutif du phénomène, et, à l'issu d'enquêtes en milieu paysan, sur les problèmes qu'il pose aux colons.

M. K. Sanogo (1988) a fait une synthèse des études de S. Dembélé (1986) et de N. Coulibaly (1987) qui ont travaillé sur le même thème sur le KL (casier de Kolodougou) et sur le partiteur G2 (Gruber Nord). Il note que les sols sont en cours d'alcalinisation (58 %) ou carrément alcalins (13,5 %), et que la sodisation est moins poussée (36 % des sols en cours de sodisation et seulement 1,5 % très sodiques). Sur l'ensemble des deux terrains (KL et G2), 75 % des sols est affecté soit par la sodicité, soit par l'alcalinité, soit par les deux à la fois ; 25 % seulement est indemne. Pour l'auteur, ce résultat est très alarmant.

Il est à remarquer que ces dernières études ne font pas un inventaire des types de sol affectés par ces phénomènes, et que les échantillons ne sont pas statistiquement représentatifs de l'ensemble des terres du secteur Niono.

Les conclusions du laboratoire IER des sols de Sotuba (1988) et de Macky Coulibaly (1988) vont dans le même sens pour les sols du Projet Retail (zone réaménagée du Secteur Sahel) sur lesquels 150 prélèvements ont été effectués, en distinguant 7 types de sol et en répartissant le nombre de prélèvements au prorata des surfaces occupées par chaque type sur la carte des sols.

Selon leurs résultats, aux sols de type Moursi correspondent les valeurs moyennes les plus élevées de pH (7,77) et de  $CE_{1:2,5}$  (0,26 mmhos/cm) avec un ESP (pourcentage de sodium échangeable <sup>1</sup>) moyen de 5,2. Tous les autres types de sol ont un  $pH_{eau}$  moyen avoisinant 6 et une CE moyenne inférieure à 0,13. Les Séno présentent l'ESP moyen le plus élevé (8,5), suivis des Moursi. L'on doit être attentif au pH des sols Moursi chez lesquels il peut atteindre des valeurs supérieures à 8 et des sols Séno où il est assez variable. Ces auteurs constatent que les Moursi avec 78 % des échantillons en cours d'alcalinisation et en début de sodisation et avec 16 % des prélèvements alcalins en début de sodisation ont nettement entamé le processus de dégradation ; la situation des Dian-Moursi est assez voisine.

Macky Coulibaly (1988) note une manifestation éparse des efflorescences salines, sans faire un recensement exhaustif des points touchés ou une évaluation des surfaces atteintes. Il pose l'hypothèse que le pH pourrait être en partie responsable du phénomène de rabougrissement et de flétrissement des pieds de riz observé sur le Retail. Sur les parcelles touchées, le pH est supérieur à 7 et la nappe phréatique affleure en surface. Signalons que même avec des pH de 8 les Moursi ne présentent pas d'efflorescences salines.

---


$$^1 \quad ESP = \frac{(-0,0126 + 0,01475 \times SAR)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \times SAR)} \times 100$$

#### 4. Analyse comparative des résultats de 1987 et de 1989

##### 4.1. Résultats des analyses effectuées<sup>1</sup>

Le détail des résultats obtenus en 1987 et 1989 pour le pH et la CE est donné dans le tableau n° 2 p. 9 et 10.

Le tableau n° 1 ci-dessous donne les moyennes pour les différents types de sol.

Tableau n° 1 : Valeurs moyennes de pH<sub>eau</sub> et de CE<sub>1:2,5</sub> à 25°C

Sol	pH	CE <sub>1:2,5</sub>	année
Moursi	7,77	0,26	1987
	7,69	0,13	1989
Danga blé	6,06	0,02	1987
	6,57	0,06	1989
Danga fing	5,85	0,11	1987
	6,13	0,08	1989
Danga	6,12	0,05	1987
	6,11	0,06	1989
Dian	6,50	0,11	1987
	6,54	0,07	1989
Dian-Moursi	6,64	0,10	1987
	6,33	0,07	1989
Séno	5,98	0,13	1987
	6,76	0,22	1989
Ensemble	5,70	0,11	1987
	6,59	0,06	1989

<sup>1</sup> Les analyses ont été effectuées avec le concours des laboratoires de la DRD-ON et de l'ENSUP ; nous les remercions vivement de leur collaboration.

Tableau n° 2 : Détail des résultats des analyses 1987 et 1989

Lieu Sol	pH eau		pH kc1		CE 1:2,5		Lieu Sol	pH eau		pH kc1		CE 1:2,5	
	87	89	87	89	87	89		87	89	87	89	87	89
101 Moursi	7.71	7.38	6.45	5.84	0.45	0.09	201 Danga blé	5.97	6.92	3.87	5.27	0.02	0.06
102 Moursi	7.73	7.80	6.64	6.31	0.78	0.17	202 Danga blé	5.92	6.85	4.06	5.10	0.02	0.05
103 Moursi	8.08	7.94	6.60	6.49	0.37	0.11	203 Danga blé	6.21	6.73	4.58	5.09	0.02	0.08
104 Moursi	8.05	8.42	6.58	6.66	0.40	0.16	204 Danga blé	6.18	6.12	4.51	4.24	0.02	0.05
105 Moursi	7.69	7.55	6.60	6.13	0.30	0.11	205 Danga blé	6.03	6.22	4.43	4.67	0.02	0.05
106 Moursi	7.66	8.28	6.50	6.70	0.31	0.16							
107 Moursi	7.78	8.56	6.56	6.99	0.34	0.22	301 Danga fing	5.55	5.82	3.90	4.40	0.04	0.09
108 Moursi	7.71	8.70	6.44	7.04	0.31	0.19	302 Danga fing	5.50	5.87	3.83	4.43	0.04	0.06
109 Moursi	7.88	8.78	6.73	7.07	0.36	0.15	303 Danga fing	5.78	5.75	4.06	4.33	0.04	0.06
110 Moursi	7.88	8.35	6.62	6.76	0.34	0.19	304 Danga fing	6.02	5.77	4.55	4.39	0.05	0.07
111 Moursi	7.74	7.28	6.44	5.73	0.21	0.08	305 Danga fing	5.60	6.28	3.90	4.94	0.03	0.09
112 Moursi	7.85	8.20	6.60	6.50	0.37	0.18	306 Danga fing	6.14	5.76	4.44	4.40	0.04	0.07
113 Moursi	8.12	7.83	6.61	6.01	0.18	0.15	307 Danga fing	6.43	7.59	4.47	5.98	0.07	0.10
114 Moursi	8.20	8.15	6.60	6.61	0.28	0.10	308 Danga fing	6.22	6.09	4.70	4.50	0.05	0.09
115 Moursi	8.27	8.42	6.83	6.82	0.25	0.15	309 Danga fing	5.11	6.35	3.93	4.69	0.70	0.08
116 Moursi	8.24	7.99	6.76	6.65	0.22	0.08	310 Danga fing	6.13	6.06	3.62	4.46	0.09	0.08
117 Moursi	7.78	8.21	6.54	6.73	0.16	0.14							
118 Moursi	7.73	7.74	6.34	6.57	0.22	0.17	401 Danga	6.02	5.76	4.35	4.41	0.02	0.06
119 Moursi	7.76	7.61	6.46	6.40	0.26	0.12	402 Danga	6.45	5.41	5.35	3.78	0.07	0.03
120 Moursi	8.00	7.48	6.58	6.04	0.34	0.20	403 Danga	6.19	5.65	4.56	4.28	0.02	0.03
121 Moursi	7.76	8.72	6.45	6.90	0.24	0.33	404 Danga	6.05	5.74	5.08	3.99	0.05	0.04
122 Moursi	7.67	8.28	6.29	6.89	0.16	0.18	405 Danga	6.33	6.68	4.56	4.92	0.01	0.07
123 Moursi	7.03	7.03	6.13	5.47	0.16	0.09	406 Danga	6.49	6.24	5.29	4.96	0.03	0.04
124 Moursi	7.94	7.85	6.60	6.59	0.30	0.13	407 Danga	6.54	6.51	5.82	4.83	0.11	0.04
125 Moursi	7.56	7.09	6.36	5.91	0.20	0.08	408 Danga	5.80	5.87	4.24	4.24	0.03	0.02
126 Moursi	7.70	7.98	6.40	6.63	0.16	0.15	409 Danga	6.24	5.95	4.85	4.38	0.13	0.04
127 Moursi	7.32	7.79	6.79	5.99	0.19	0.12	410 Danga	6.21	7.21	4.90	6.86	0.03	0.15
128 Moursi	7.75	6.50	6.42	4.76	0.20	0.05	411 Danga	7.38	5.57	6.58	4.01	0.17	0.03
129 Moursi	7.63	7.38	6.38	6.44	0.27	0.13	412 Danga	6.42	6.71	5.18	5.10	0.03	0.04
130 Moursi	7.76	8.28	6.47	6.73	0.21	0.11	413 Danga	6.04	8.73	4.72	7.74	0.04	0.18
131 Moursi	7.42	6.87	6.20	5.53	0.20	0.08	414 Danga	5.72	6.84	4.92	5.29	0.02	0.16
132 Moursi	7.55	6.91	6.24	5.55	0.25	0.10	415 Danga	6.70	5.27	5.16	4.01	0.10	0.03
133 Moursi	7.76	7.64	6.49	5.99	0.29	0.07	416 Danga	5.38	7.34	4.50	5.84	0.04	0.11
134 Moursi	7.77	8.03	6.54	6.10	0.34	0.10	417 Danga	5.66	6.64	4.82	4.82	0.11	0.06
135 Moursi	7.69	8.06	6.50	6.11	0.30	0.11	418 Danga	6.58	4.91	4.99	3.80	0.04	0.06
136 Moursi	7.42	7.63	6.25	6.23	0.22	0.35	419 Danga	6.33	5.79	5.13	4.34	0.05	0.04
137 Moursi	7.74	8.14	6.45	6.59	0.24	0.14	420 Danga	6.18	5.91	5.08	4.10	0.06	0.03
138 Moursi	7.10	8.83	6.18	6.92	0.20	0.18	421 Danga	6.15	4.97	4.55	3.56	0.22	0.03
139 Moursi	7.05	7.97	5.93	6.26	0.17	0.11	422 Danga	5.47	6.09	4.24	4.73	0.03	0.05
140 Moursi	7.30	7.35	6.40	5.63	0.24	0.16	423 Danga	5.60	7.81	4.56	6.06	0.02	0.14
141 Moursi	7.70	6.84	6.32	4.93	0.24	0.21	424 Danga	5.74	5.50	4.46	4.15	0.03	0.06
142 Moursi	7.66	8.54	6.20	6.85	0.11	0.05	425 Danga	5.90	5.62	4.70	4.00	0.04	0.05
143 Moursi	7.24	7.91	6.33	5.87	0.22	0.12	426 Danga	5.90	5.63	4.73	4.13	0.02	0.05
144 Moursi	7.68	6.46	5.58	5.12	0.10	0.07	427 Danga	5.65	6.25	4.60	4.84	0.02	0.12
145 Moursi	7.18	5.74	6.22	4.43	0.20	0.05	428 Danga	6.30	5.48	5.66	3.71	0.02	0.07
146 Moursi	8.63	6.66	6.88	5.28	0.34	0.06	429 Danga	6.35	5.75	5.62	4.39	0.03	0.06
147 Moursi	8.95	6.86	7.10	5.47	0.37	0.07	430 Danga	5.90	5.46	6.40	3.81	0.02	0.05
148 Moursi	8.25	6.75	6.66	5.27	0.28	0.06							
149 Moursi	8.09	7.16	6.31	5.14	0.10	0.12							
150 Moursi	8.35	6.55	6.27	5.45	0.19	0.09							

Tableau n° 2 : Détail des résultats des analyses 1987 et 1989 (Suite)

Lieu Sol	pH eau		pH KCl		CE 1:2,5		Lieu Sol	pH eau		pH KCl		CE 1:2,5	
	87	89	87	89	87	89		87	89	87	89	87	89
501 Dian	5.80	7.67	4.86	5.93	0.04	0.07	701 Séno	7.10	8.59	6.50	6.85	0.18	0.23
502 Dian	6.08	7.91	4.51	6.31	0.05	0.09	702 Séno	7.14	7.20	6.40	5.64	0.28	0.07
503 Dian	5.60	7.56	4.76	5.85	0.06	0.11	703 Séno	5.50	6.38	4.13	5.16	0.01	0.06
504 Dian	6.50	6.62	5.50	4.89	0.05	0.07	704 Séno	6.35	9.96	5.52	8.51	0.07	0.44
505 Dian	5.22	7.94	3.65	4.30	0.02	0.11	705 Séno	5.20	10.31	4.14	9.35	0.02	0.88
506 Dian	7.55	6.30	6.16	4.67	0.13	0.06	706 Séno	9.76	10.37	8.61	9.58	1.72	2.12
507 Dian	7.70	7.37	6.73	5.85	0.17	0.08	707 Séno	5.60	6.27	4.25	5.08	0.02	0.04
508 Dian	6.96	7.00	5.87	5.25	0.07	0.09	708 Séno	5.86	7.93	4.36	6.16	0.01	0.10
509 Dian	6.90	5.30	5.56	3.60	0.04	0.03	709 Séno	5.44	9.25	4.45	7.99	0.01	0.33
510 Dian	7.54	5.43	6.49	3.97	0.26	0.03	710 Séno	4.46	6.15	4.18	4.27	0.02	0.09
511 Dian	6.50	9.31	5.23	7.20	0.07	0.17	711 Séno	5.16	5.75	4.10	4.12	0.01	0.03
512 Dian	6.50	5.18	4.71	3.64	0.08	0.06	712 Séno	5.12	5.41	4.09	3.81	0.02	0.08
513 Dian	6.28	6.06	5.10	4.25	0.14	0.05	713 Séno	5.27	5.82	4.30	4.08	0.02	0.05
514 Dian	5.40	6.04	4.46	4.41	0.19	0.09	714 Séno	4.95	4.90	3.98	3.57	0.01	0.05
515 Dian	6.19	5.72	4.92	4.19	0.08	0.07	715 Séno	5.58	5.01	4.76	3.63	0.03	0.07
516 Dian	8.84	5.81	7.40	4.08	0.13	0.05	716 Séno	4.91	5.31	4.06	3.67	0.01	0.10
517 Dian	6.74	5.45	4.80	3.82	0.07	0.06	717 Séno	6.85	6.76	6.50	5.29	0.36	0.10
518 Dian	6.11	5.93	4.86	4.40	0.08	0.09	718 Séno	6.48	5.27	5.95	3.71	0.07	0.04
519 Dian	6.06	5.59	5.16	4.15	0.08	0.08	719 Séno	5.94	6.18	4.80	4.27	0.04	0.07
520 Dian	7.33	6.69	6.30	5.22	0.13	0.05	720 Séno	5.48	6.31	4.18	4.41	0.01	0.10
521 Dian	7.72	6.01	6.80	4.46	0.33	0.05	721 Séno	5.55	5.86	4.38	4.02	0.01	0.11
522 Dian	5.35	7.02	4.40	5.34	0.36	0.08	722 Séno	6.32	5.08	4.86	3.18	0.03	0.06
523 Dian	5.70	6.24	4.60	4.45	0.06	0.06	723 Séno	6.05	6.12	4.94	4.11	0.02	0.12
524 Dian	6.00	5.54	5.00	3.84	0.10	0.10	724 Séno	6.90	7.03	6.10	5.27	0.14	0.12
525 Dian	5.86	7.78	4.86	6.32	0.06	0.07	725 Séno	6.53	5.99	4.76	4.33	0.01	0.12
601 Dian-Moursi	6.72	5.91	6.00	4.40	0.20	0.05							
602 Dian-Moursi	6.90	6.64	5.61	5.26	0.05	0.09							
603 Dian-Moursi	6.56	6.66	5.44	5.26	0.06	0.07							
604 Dian-Moursi	6.20	5.77	5.51	4.31	0.13	0.06							
605 Dian-Moursi	6.84	6.68	5.68	5.28	0.07	0.09							

#### 4.2. Références utilisées

Pour l'étude de nos résultats, nous avons utilisé les classifications les plus adaptées aux terres de l'O.N. : la classification sur l'alcalinité, la classification sur la salinité et la classification combinée sur l'alcalinité et la salinité proposées par le laboratoire des sols de Sotuba.

Tableau n°3 : Classification des sols selon le  $pH_{eau}$  (laboratoire de Sotuba)

$pH_{eau}$	classement du sol
< 6,5	acide ou neutre
6,5 - 8,1	en cours d'alcalinisation
8,1 - 9,0	alcalin en début de salinisation
> 9,0	très alcalin et probablement salé

Tableau n°4 : Classification selon la  $CE_{1:2,5}$  à 25°C (laboratoire de Sotuba)

$CE_{1:2,5}$ mmhos/cm	classement du sol
< 0,1	non salé
0,1 - 0,4	en début de salinisation avec risque d'alcalinisation
0,4 - 1,0	peu salé avec fort risque d'alcalinisation
> 1,0	salé, probablement alcalin

Tableau n°5 : Classification combinée pH-CE (laboratoire de Sotuba)

pH <sub>eau</sub>	CE <sub>1 : 2,5</sub>	Classement du sol	
		code	dénomination
< 6,5	< 0,1	1	neutre ou acide, non salé
6,5 - 8,1	< 0,1	2	en cours d'alcalinisation, mais non salé
6,5 - 8,1	0,1 - 0,4	3	en cours d'alcalinisation et en début de salinisation
8,1 - 9,0	0,1 - 0,4	4	alcalin en début de salinisation
> 9,0	> 0,4	5	très alcalin et salé

#### 4.3. Classement des sols du Projet Retail

Les résultats des analyses effectuées seront successivement examinées à la lumière des trois classifications de référence du laboratoire des sols de Sotuba.

En utilisant les classes de pH définies dans le tableau n° 3, les 150 échantillons que nous avons prélevés se répartissent comme suit, en pourcentage pour chaque type de sol (total pour chaque type de sol = 100 %) :

Tableau n° 6 : Distribution (%) des différents types de sol selon le pH<sub>eau</sub>

Sol	Année	classe de pH			
		acide ou neutre < 6,5	en cours d'alcalin. 6,5 _ 8,1	alcalin début sal. 8,1 _ 9,0	très alcal. prob. salé > 9,0
Moursi	1987	0	84	16	0
	1989	6	60	34	0
Danga-blé	1987	100	0	0	0
	1989	40	60	0	0
Danga-fing	1987	100	0	0	0
	1989	90	10	0	0
Danga	1987	87	13	0	0
	1989	70	27	3	0
Dian	1987	64	32	4	0
	1989	56	40	0	4
Dian-Moursi	1987	20	80	0	0
	1989	40	60	0	0
Séno	1987	76	20	0	4
	1989	64	16	4	16

Au vu des résultats des tableaux 1, 2 et 6, on peut noter une alcalinité plus élevée en 1989 ; il serait hasardeux d'en conclure qu'en deux ans la situation est devenue beaucoup plus grave, car comme nous l'avons souligné en introduction les périodes de prélèvement sont différentes ; les prélèvements de 1989, effectués en saison sèche en conditions exondées pour toutes les parcelles semblent plus faciles à reproduire dans l'avenir que ceux de 1987, et donc plus "standard".

Il faut surtout retenir que la situation d'alcalinisation est préoccupante pour les Moursi, les Dian-Moursi, et les Danga-blé ; pour les autres types de sol elle est moins grave, mais concerne une partie non négligeable des échantillons. Les valeurs de pH les plus élevées sont atteintes sur quelques échantillons de Séno.

Pour la salinité, les 150 échantillons se répartissent comme suit :

Tableau n° 7 : Distribution (%) des différents types de sol selon la salinité

Sol	Année	classe de salinité			
		non salé < 0,1	début sal. 0,1 - 0,4	peu salé 0,4 - 1,0	salé > 1,0
Moursi	1987	4	92	4	0
	1989	36	64	0	0
Danga-blé	1987	100	0	0	0
	1989	100	0	0	0
Danga-fing	1987	90	0	10	0
	1989	100	0	0	0
Danga	1987	83	17	0	0
	1989	80	20	0	0
Dian	1987	64	36	0	0
	1989	88	12	0	0
Dian-Moursi	1987	60	40	0	0
	1989	100	0	0	0
Séno	1987	80	16	0	4
	1989	64	24	8	4

En 1989 comme en 1987, la plupart des échantillons ne présentent aucune salinité. Mais on note un début de salinisation sur la quasi-totalité des Moursi et des sols peu salés se rencontrent sur quelques Moursi et Danga-fing (1987) et Séno (1989). Seul 1 échantillon sur 25 sur Séno est vraiment salé.

Comme pour le pH, il faut être prudent dans les comparaisons entre les deux années, car la période de prélèvement a pu jouer. On retiendra simplement que statistiquement la salinité n'est pas pour l'instant un problème grave, mais qu'elle commence à faire son apparition dans un certain nombre d'échantillons, les Séno étant les plus touchés par une salinité notable, alors que pour les Moursi les échantillons touchés par la salinité le sont faiblement (début de salinisation) mais ces échantillons sont très nombreux.

En utilisant la classification combinée, les échantillons peuvent être répartis comme suit :

Tableau n° 8 : Distribution (%) des différents types de sol selon la classification combinée pH-salinité

Sol	Année	classe combinée				
		1 neutre ou acide non salé	2 en cours d'alcalinis. non salé	3 en cours d'alcalinis. début salin.	4 alcalin début salinisation	5 très alcalin salé
Moursi	1987	0	4	76	16	
	1989	6	26	36	28	
Danga-blé	1987	100	0	0	0	0
	1989	40	60	0	0	0
Danga-fing	1987	90	0	0	0	0
	1989	90	10	0	0	0
Danga	1987	77	7	7	0	0
	1989	67	13	13	3	0
Dian	1987	52	12	20	4	0
	1989	56	32	8	0	0
Dian-Moursi	1987	0	60	20	0	0
	1989	40	60	0	0	0
Séno	1987	76	4	16	0	4
	1989	52	12	4	4	12

D'une façon générale on note que les cas extrêmes d'alcalinisation-sodisation se trouvent dans quelques Séno, et pour les sols alcalinisés en début de salinisation sur une partie des Moursi et dans une moindre mesure des Danga, Dian et Séno (mais pour ces trois types de sols il ne s'agit que d'un seul échantillon).

Les sols en cours d'alcalinisation et en début de salinisation sont principalement des Moursi et de façon plus marginale des Danga, Dian, Dian-Moursi et Séno, ces derniers types de sols se trouvant plutôt dans la classe des sols en cours d'alcalinisation mais non salé pour les échantillons présentant une amorce du phénomène.

Les types de sol globalement les moins touchés, c'est à dire non alcalins et non salés sont les Danga-blé, Danga-fing et Danga et dans une moindre mesure les Dian et les Séno (ces derniers présentent donc une large gamme de situations).

Le seul type de sol où on ne rencontre pratiquement aucun échantillon non alcalin est le Moursi.

Si la situation générale n'est donc pas alarmante (voir aussi le tableau n° 9 page suivante), la situation des Moursi est cependant préoccupante ; surtout, la présence dans tous les types de sol d'échantillons où le phénomène commence à se manifester doit inciter à la prudence pour l'avenir, et à la poursuite de suivis réguliers du pH et de la salinité.

N.B. : Une partie des échantillons ne rentre pas dans la classification utilisée dans le tableau 8 : 10 échantillons en 1987 (7 % du total) et 8 en 1989 (5 % du total), qui se répartissent comme suit :

- . sols neutres ou acides et salés : 1 Danga-fing en 1987.
- . sols neutre ou acides avec début de salinisation : 3 Danga, 3 Dian et 1 Dian-Moursi en 1987 ; 1 Danga et 3 Séno en 1989.
- . sols en cours d'alcalinisation et déjà salés : 2 Moursi en 1987
- . sols alcalins mais non salés : 2 Moursi en 1989
- . sols très alcalins mais avec seulement un début de salinisation : 1 Dian et 1 Séno en 1989.

Ces échantillons un peu à part illustrent le fait que si en général il y a une bonne liaison entre pH et salinité, on trouve aussi quelques échantillons pour lesquels ce n'est pas vrai : sols salés mais neutres ou peu alcalins, ou à l'inverse sols alcalins ou très alcalins mais non salés ou seulement en début de salinisation.

La situation globale, tous échantillons confondus, est donnée dans le tableau croisé ci-dessous :

Tableau n° 9 : Distribution (%) de l'ensemble des échantillons selon le pH et la CE

CE <sub>1:2,5</sub> pH <sub>eau</sub>	Année	< 0,1	0,1 - 0,4	> 0,4	sous-total pH
< 6,5	1987	46	5	1	52
	1989	42	3	0	45
6,5 - 8,1	1987	7	33	1	41
	1989	23	17	0	40
8,1 - 9,0	1987	0	6	0	6
	1989	1	11	0	12
> 9,0	1987	0	0	1	1
	1989	0	1	2	3
sous-total salinité	1987	53	44	3	100 %
	1989	66	32	2	100 %

Ce tableau illustre bien la forte liaison entre l'augmentation du pH et celle de la salinité, même si comme nous l'avons vu plus haut il existe quelques exceptions.

## 5. Conclusion

L'étude comparative des résultats de 1987 et 1989 révèle :

- . une augmentation de l'alcalinité, mais difficile à interpréter vu les différences de conditions de prélèvement.
- . que les types de sol Moursi, Séno, Danga-blé manifestent une avancée remarquable du phénomène d'alcalinisation-sodisation au regard des autres types de sol.
- . que le degré d'alcalinisation-sodisation de la plupart des sols n'est pas encore alarmant, mais que le processus est amorcé dans de nombreuses situations.

Pour voir si le rabougrissement et le flétrissement du riz relèvent de l'alcalinité, il serait utile de faire une étude comparative de l'extension des deux phénomènes. Un rapprochement peut être fait à la lumière de nos connaissances actuelles : Le rabougrissement des pieds de riz et les pH élevés se rencontrent généralement tous deux chez les Moursi ; ces sols ont aussi une nappe phréatique sub-affleurante (établissement de conditions réduites), qui, associée à leur mauvais drainage interne et à leur réaction alcaline, crée un milieu asphyxiant impropre à un bon développement du riz.

Les eaux d'irrigation étant carbonatées sodiques, elles déterminent une basicité sodique. Dans ce cas, l'application du  $ZnSO_4$  (Sulfate de zinc) qui acidifie un peu le milieu et apporte du zinc bloqué dans le sol par les pH trop élevés peut être utile ; on pourrait aussi améliorer le drainage pour évacuer le  $Na_2SO_4$  (Sulfate de sodium) formé, nocif à une certaine concentration.

Les Moursi sont dans la majeure partie des cas en cours d'alcalinisation et début de sodisation (78 % en 1987). L'application de  $ZnSO_4$  peut s'y avérer efficace, même avec le système actuel d'assainissement du Projet Retail : son action est confirmée par des tests en milieu paysans, parfois spectaculaires.

On peut se poser la question de l'avenir de la culture intensive, lorsque le processus d'alcalinisation-sodisation va atteindre un stade critique. Mais la même question pourrait aussi se poser pour les zones non réaménagées, en culture semi-intensive, où le phénomène existe aussi. Contre une alcalinisation-sodisation poussée la réalisation de drainages interne et superficiel efficaces couplée éventuellement avec un plâtrage (apport de gypse) et un apport de  $(ZnSO_4)$  sur les zones les plus carencées pourrait se révéler intéressant. L'effet d'un défoncement sur la structure des sols ne sera qu'éphémère avec l'état affleurant de la nappe phréatique et le caractère carbonaté sodique des eaux d'irrigation.

Notre travail est une contribution aux études en cours sur un sujet qui reste largement à étudier dans sa nature et dans ses causes, et surtout dans ses évolutions en fonction des systèmes de culture pratiqués (intensif/semi-intensif, double-culture/simple-culture) et des aménagements réalisés (zone réaménagée ou non, avec ou sans drainage véritable).

Même si leur coût semble pour l'instant prohibitif, il serait souhaitable que certaines des solutions envisagées puissent être testées en plein champ, comme la réalisation d'un drainage effectif et/ou l'apport de gypse.

Il faut surtout souhaiter que les suivis actuellement en cours tant au niveau du Projet Retail que du reste de l'Office du Niger et de l'IER puissent être pérennisés et renforcés afin de préserver l'avenir.

