

Les sols irrigués des casiers rizicoles de l'Office du Niger au Mali

Rapport de mission par C.A. van Diepen pédologue

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.jsric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

ISRIC

B.P. 353

6700 AJ Wageningen

Pays-Bas

octobre 1984

Table de matières

Pr	éface	3
1.	Situation géographique	Ē
2.	Caractéristiques principales des zones rizicoles irriguées	12
3.	Recherche des causes de bas rendements et l'influence	
	du facteur sol	14
	3.1 Le cas du partiteur KL2	14
	3.2 L'utilité d'une analyse de système de production	15
4.	Information pédologique disponible sur le Delta	18
	4.1 Observations sur les cartes et la légende des	
	sols de l'O.N.	18
	4.2 Rapport de la mission Toujan	26
	4.3 Rapport principal du projet BEAU	. 29
	4.4 Tome III du rapport du projet GEAU par VEA	30
	4.5 Etude "Ressources terrestres au Mali"	
	par le PIRT	34
5•	Les sols de l'Office du Niger: observations,	
	mesures, interprétation	35
	5.1 La compacité et dureté des sols	38
	5.2 La salinité et l'alcalinité des sols	44
	5.3 Le problème de sable mouvant	50
	5.4 Le microrelief	51
	5.5 Aspects de la fertilité et de la fertilisation	53
	5.6 Quelques techniques culturales relatives au sol	59
6.	Conclusions et recommendations	61
7.	Bibliographie	66

Annexes

Annexe 1. Les différences en rendements individuels, cas de KL2	69
Annexe 2. Inventaire des études pédologiques. Périmètres de	
l'Office du Niger (Source: Eschenbrenner, 1978)	76
Annexe 3. Quelques résultats analytiques de l'ORSTOM en 1980.	
Couche superficielle seulement (Source: Toujan, 1980)	79
Annexe 4. Etude "Ressources terrestres au Mali" par le PIRT	80
Annexe 5. Résultats d'analyse de l'ISRIC, 1984	84
Liste des tableaux	
1. Les différentes désignations des périmètres irrigués	
de l'Office du Niger au Mali	11
2. Données de base des zones rizicoles	13
3. Variations en rendements (T/ha) entre paysans à	
l'intérieur des zones	13
4. Recueil de quelques caractéristiques des unités de sol	23
5. Répartition des superficies par type de sol à l'intérieur	
de chaque zone à la base des données du rapport BEAU	24
6. Liste des échantillons, mission van Diepen, Mali, 1984	37
7. La qualité des eaux d'irrigation et de nappe	47
Liste de figures	
1. Cartes de situation	7
2. Périmètre d'irrigation de l'Office du Niger.	
Plan de situation	8
3a. Aménagements rizicoles de l'O.N. dans le Delta Mort	9
3b. Aménagements rizicoles de l'O.N. dans le Delta Vif	10
4. Toposéquence des principaux types de sol (Dabin, 1951)	20
5a. Position dans le triangle textural des échantillons analysé	ន
et des sols S1, S2, Rima et Sokoto	42
5b. Répartition cumulative des fractions de la texture des	
principaux types des sols de l'O.N. et des sols S1, S2, Rim	a
et Sokoto	42

Préface

Dans le cadre de la coopération Néerlando-malienne un consultant en pédologie du Centre International de Référence et d'Information Pédologique (ISRIC), Wageningen, Pays-Bas, a visité les zones de l'Office du Niger et en particulier les zones d'intervention du projet pour l'Amélioration de la Riziculture Paysanne à l'Office du Niger (ARPON), qui a ses locaux à Niono.

Le pédologue C.A. van Diepen avait pour mission: "De concert avec les responsables de l'Office du Niger:

•effectuer une reconnaissance des sols dans les périmètres irrigués par:

- avoir des discussions avec les responsables des services intéressés
- prendre connaissance des documents existants
- faire des tournées sur le terrain
- (éventuellement) faire des prélèvements supplémentaires pour des analyses chimique, physique ou minéralogique au laboratoire; afin de:

donner une appréciation de point de vue pédologique du potentiel de la zone pour l'agriculture irriguée notamment en ce qui concerne les risques de dégradation des terres, qui pourraient se produire sous forme d'une salinisation, une alcalisation, une baisse de la fertilité ou une compaction, ainsi que les contraintes pour le labour du sol, les conditions de germination, le contrôle du régime hydrique, le maintien de la fertilité."

Le pédologue a séjourné au Mali du 5 au 26 juillet 1984 avec Niono comme base où il a pu travailler dans des conditions optimales, exception faite pour le manque de documents de base.

Vue l'absence de documentation en matière des sols au sein du projet, le pédologue a fait une brève revision de la littérature (cartes, rapports) sur la pédologie du Delta pour inclure dans le présent rapport à fins de fournir quelques points de répère dans ce domaine inconnu.

Pour le reste ce rapport contient les observations de terrain, les résultats d'analyse au laboratoire et leur interprétation, ainsi que les conclusions.

Le pédologue tient à remercier le directeur a.i. de l'ARPON,
Monsieur M. Reynders pour son appuie efficace au déroulement de cette
mission, et tout l'autre personnel de l'ARPON, du Centre de Formation
Agricole (CFA) et de la Division de la Recherche et de l'Accompagnement
(DRA) à Niono, pour leur franches discussions. Parmi ceux qui ont
apporté leur soutien à la mission il faut nommer en particulier
Monsieur Sannego de la DRA, Monsieur Damma du CFA et , aux Pays-Bas,
Monsieur P. Bolt du DGIS et Monsieur C. Bastiaansen de l'Université
Agricole. Une reconnaissance particulière est aussi due au personnel de
l'ISRIC pour leur coopération active.

Wageningen, octobre 1984 C.A. van Diepen

1. Situation géographique

L'Office du Niger a adopté comme marque le symbole et le mot Delta, exprimant ainsi son attachement à la région où ses activités sont concentrées: le Delta intérieur du Moyen Niger, aussi nommé Delta central du Niger ou Delta continental nigérien. On peut distinguer le Delta vif, ou Delta actuel par opposition au Delta mort, ou Delta fossile ou Delta non-fonctionnel. L'ensemble fluviatile est complété par la région lacustre (Figure 1), qui ne fait pas partie du Delta proprement dit.

Le Delta vif est encore annuellement inondé par les eaux de crue des fleuves Niger et Bani. Traditionnellement on y cultive le riz flottant. Le Delta vif est le plus grand grénier de riz au Mali.

Le Delta mort comporte des plaines alluviales asséchées depuis longtemps, qui sont en partie remaniées par le vent et par les eaux de ruissellement. On n'y peut cultiver le riz qu'en culture irriguée.

La région lacustre enfin doit son nom aux nombreuses mares dans les dépressions d'un énorme complexe de dunes longitudinales orientées ouest-est qui ont recouvert la plaine originale. Les bras du fleuve passent les dunes par de nombreuses brèches. Dans les zones atteintes par la crue on cultive du riz flottant.

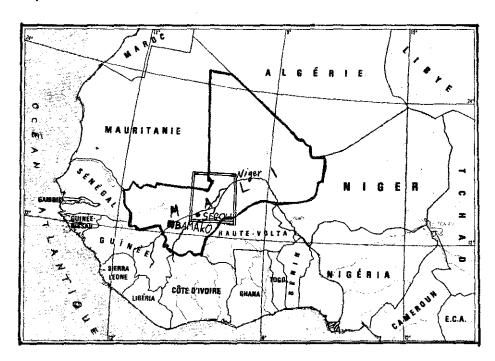
Les périmètres irrigués de l'Office du Niger sont situés dans l'extrême ouest du Delta et couvrent environ 54000 ha, dont un quart à l'ouverture du Delta vif sur la rive gauche du Niger, et trois quarts dans le Delta mort à deux côtés du Marigot (ou Fala) de Molodo, ancien défluent tari du Niger, remis en eau grâce au barrage de Markala (Figures 2, 3a et 3b).

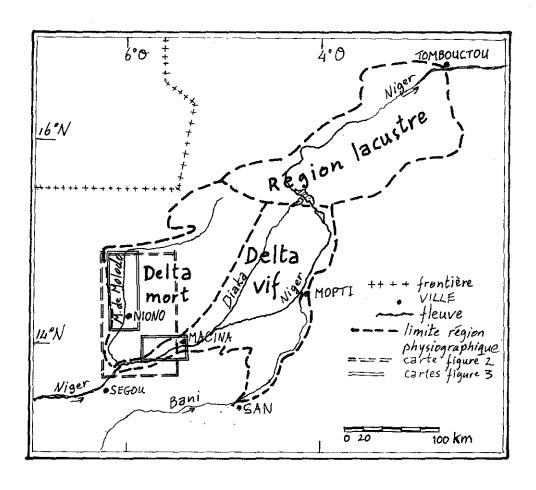
Il semble que les zones aménagées sont découpées différemment par les techniciens, les administrateurs, les chercheurs et les planificateurs de sorte que les mêmes noms employés dans les divers rapports et sur cartes n'indiquent pas toujours les mêmes lieux. La correspondance entre les différentes désignations des périmètres rizicoles irrigués est donnée par le tableau 1. Le nom Kala est employé pour indiquer l'ensemble des zones Niono, N'Débougou et Molodo, subdivisé en Kala Inférieur au nord et Kala Supérieur au sud de l'axe Niono-Molodo.

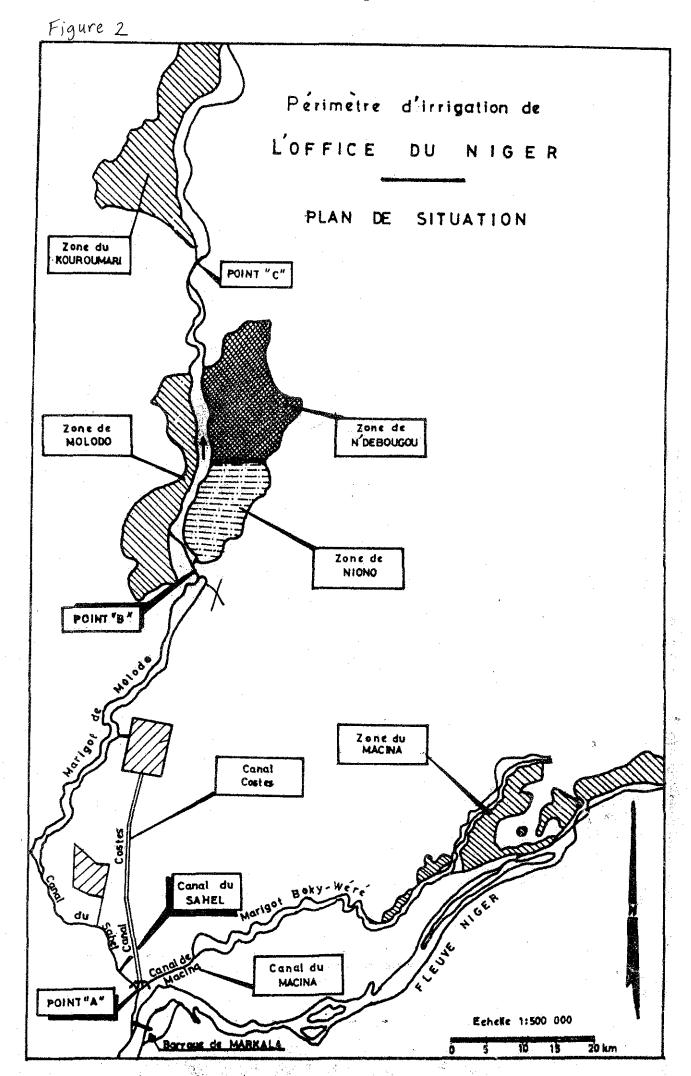
Les noms liés au système hydraulique sont les plus sûrs. On peut préciser chaque lieu par les symboles pour les canaux partiteurs et

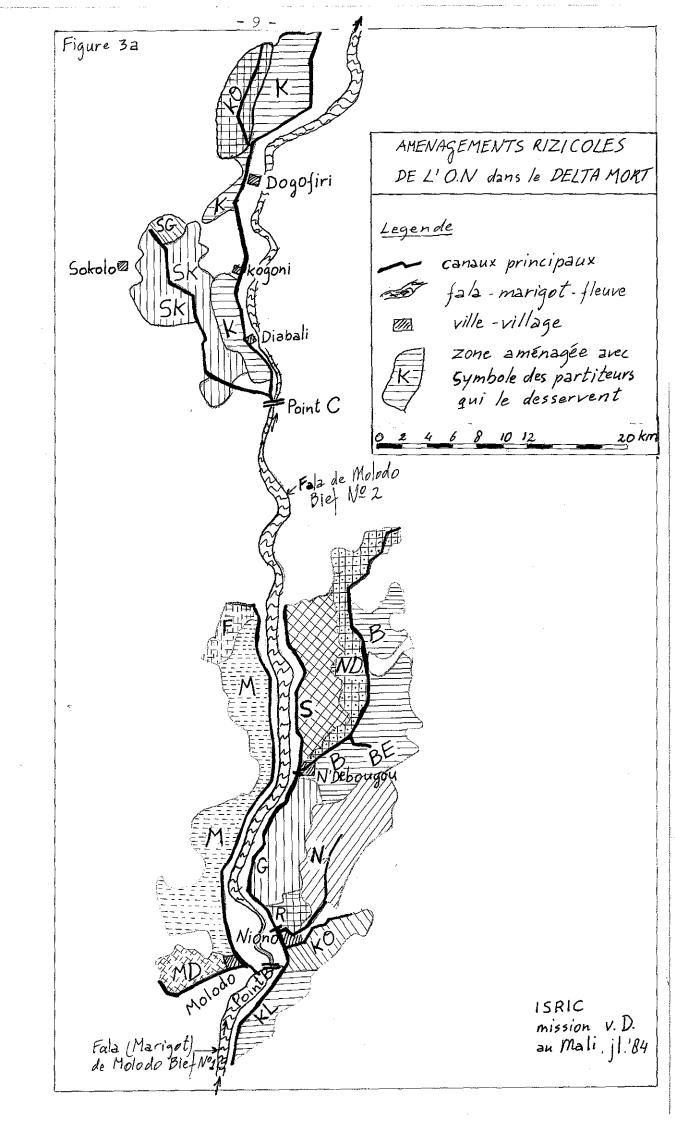
arroseurs, et même en plus de détail, comme suit:
KL2-4d partiteur numéro KL2 (de Kolodougou), 4ème arroseur à droit;
G4-7g partiteur numéro G4 (de Gruber), 7ème arroseur à gauche.
On notera, que les symboles K et KO sont employées en double
(Kokry-Kogoni et Kouia-Kogoni Ouest).

Figure 1. Cartes de situation









AMENAGEMENTS RIZICOLES

DE L'O.N. dans le DELTA VIF

Mariant Macina

Macina

Robry Wéré

Robry Fleuve le Niger

ISRIC

mission v.D

au Mali, jl.84

Tableau 1. Les différentes désignations des périmètres rizicoles irrigués de l'Office du Niger au Mali

Noms liés au système l	nydraulique			Noms de casiers (plan directeur	Noms des secteurs (rapport BEAU)	Noms des zones (plan triennale ON)
Système adducteur	Canal principal		distributeurs upe de partiteurs	SOGREAH)		
Canal de Macina - Marigot de Boky-Wéré	Mar. B.W. Bief 1	✓ MN NO	Niaro	= Niaro	Kolongotomo	>> Macina
5 ·	Boky-Wéré Kokry	— BWO ─ BW K	Boky-Wéré Ouest Boky-Wéré Kokry	≥ Boky-Wéré	Kokry	
Canal du Sahel - Marigot (ou Fala) de	Gruber Sud	- KL	Kouia	- Kolodougou	Niono	→ Niono
Molodo	Gruber Nord	R N;NIO — G	Retail Niono Gruber	> Blanc	Sahel	
		S ND B	Siengo N'Debougou Banivi	Siengo N'Debougou	> N'Debougou	N'Debougou
	Molodo Sud Molodo	BE MD — M — F	Banivi Est Molodo Sud Molodo Faba	Molodo Molodo	Molodo	Molodo
	Kogoni	K KO SK SG	Kogoni	Kogoni Diadian	Kourouma et Dogofiry	Kouroumari

2. Caractéristiques principales des zones rizicoles irriguées

Un grand nombre de données de base sur les zones rizicoles irriguées de l'Office du Niger sont réunies dans les rapports récents comme le Plan Triennale O.N. (1984); le Rapport mission d'évaluation (1984), les Rapports BEAU (1982) et GEAU (1984). Quelques données sont résumées en tableau 2.

Quant à la démographie, le colonat - les paysans des périmètres irrigués sont appelés colons - compte 63000 personnes, constituant 5500 familles ou ménages. Il y a 42000 personnes actives (8-55 ans) et 14700 travailleurs hommes (TH), ce qui correspond à 2.5 hectares cultivés par TH et 1.7 personnes à nourrir par hectare.

Quant au niveau actuel de rendements on peut remarquer que le niveau général est bas pour une culture irriguée (Tableau 2). Aussi il y a des variations en rendements d'une année à l'autre, mais depuis 1978 les rendements sont nettement baissés de 2.6 tonnes/ha en 1978-79 à 1.5 tonnes/ha en 1982-83 (GEAU, 1984).

A part de cette variation temporelle il y a des variations spatiales en rendements. On a constaté des différences entre zones, entre villages, ou "partiteurs" et entre paysans d'un même partiteur (Tableau 3).

Les questions qui se sont posées au pédologue sont les suivants:

- dans quelle mesure le niveau bas de rendements doit être attribué aux mauvaises qualités des sols?
- est-ce qu'on assiste à une dégradation progressive des sols?
- est-ce que les différences en rendements constatées sont liées aux différences en sols et leur dégradation graduelle ou à autre chose?

Tableau 2. Données de base des zones rizicoles

7	45h+	superfic	cies (ha)		rendement		
Zone	début	aménagée	exploitée	abandon		0-1984)	
					(T/ha)	T/TH	
Macina	1933	14352	5283	63%	1.136	2.53	
Molodo	1942	7205	5037	30%	1.379	3.27	
Niono	1 935	10375	7708	26%	1.708	4.55	
Ndebougou	1935	10619	9307	12%	1.763	5.20	
Kouroumari	1950	11096	9774	12%	1 •823	4.25	
Ensemble 0.N.		53647	37109	31%	1.624	4.09	

Source: Plan triennale 0.N. (1984).

Tableau 3. Variations en rendements (tonnes/ha) entre paysans (colons) à l'intérieur des zones. Niveaux de production de paddy dépassés par 10,50 et 90% des colons (nombre = n)

lieu	campagne	90%	50%	10%	<u> </u>
Molodo UP3	81 –82	0.4	1.1	1.7	97
Molodo UP1	81 –82	0.7	1.3	1 •9	140
N'Dobougou UP2	81-82	1.3	1.8	2.3	86
N'Debougou UP3	81 –82	1 •6	2.1	2.8	104
Niono KL2	83-84	1.2	1.9	2.8	75

Source: Rapport GEAU, 1984.

3. Recherche des causes de bas rendements et l'influence du facteur sol

Il s'agit d'évaluer le rôle que joue le facteur sol dans le système de production de riz vis-à-vis les influences apportées par d'autres facteurs, y compris le facteur humain, afin de savoir dans quelle mesure les producteurs de riz réussissent à exploiter les possibilités du milieu au maximum compte tenu des moyens disponibles et du contexte social et économique.

Les périmètres récemment réaménagés forment des cas particuliers, parce que leurs problèmes de maîtrise d'eau doivent en principe être résolus, et on pourrait attendre une augmentation des rendements à un niveau de l'ordre de 4 tonnes paddy par hectare. La non-réalisation de tels rendements élevés dans ces casiers réaménagés est généralement attribuée au non-respect du calendrier cultural par les paysans. Cette négligence a pour conséquence des retards des travaux de labour, de planage, de compartimentage, de remise en eau et de désherbage, une moindre efficacité de l'engrais appliqué, et conduisant en fin aux récoltes compromises. On peut y ajouter quelques facteurs que les paysans n'ont pas dans leurs mains, comme des ennuis persistants avec le réseau hydraulique, la mauvaise qualité des semences, la livraison tardive des semences et d'engrais, ou les oiseaux mangeurs de riz.

3.1 Le cas du partiteur KL2

Le KL2 est un casier réaménagé en 1981-82, situé à 10 km au sud de Niono. Depuis le réaménagement on a régistré les rendements par exploitation. Le pédologue a effectué une étude de cas sur le KL2 pour essayer de déceler les relations entre propriétés de sol et les rendements (voir Annexe 1).

Conclusions de l'étude du cas KL2:

Il faut conclure que les données disponibles ne permettent pas de mettre en évidence ces relations, parce que, à part du sol il y a trop d'autres facteurs en jeu.

Cependant, durant la prospection sur le terrain on a observé des différences en propriétés de sol, qui sont importantes pour la

riziculture: dureté, compacité, texture, fertilité (matière organique, argile, régime d'eau), salant noir, microrelief. Il est donc probable que des différences en rendements sont dues en partie aux différences en sols, mais d'autre côté aussi que l'influence du facteur sol aux rendements est souvent masquée par l'influence des autres facteurs, y compris des facteurs humains.

3.2 L'utilité d'une analyse de système de production

Il est prématuré de conclure que le dévouement du paysan à la riziculture et son ardeur au travail peuvent surmonter tout problème lié au sol. On ne peut pas le juger, tant qu'on ne connaît pas pour chaque type de sol le plafond des rendements sous les systèmes de production relevants en milieu paysan.

Pour obtenir cette connaissance il faudra analyser les systèmes actuels de production à la base des données sur les rendements par exploitation (ou même par compartiment, s'il y a des différences à l'intérieur d'une exploitation) complétées avec des observations sur le caractère des sols et sur les autres facteurs qui ont joué sur le rendement comme la pluie et l'irrigation, nombre de jours de travail par opération, niveau d'intrants, le respect du calendrier cultural, le développement de la culture et de mauvaises herbes, l'incidence de calamités.

Le rendement est le résultat de l'intégration des actions de tous ces facteurs, mais il y a beaucoup de différentes combinaisons de facteurs qui peuvent donner le même rendement. Dans cet ensemble le sol est seulement un facteur, quoique de caractère assez complexe, exerçant des actions favorables aussi bien que défavorables sur le rendement au même temps. L'évaluation de ces actions est encore compliquée à cause du fait que les propriétés des sols sont variables d'un lieu à l'autre, raison pour laquelle il faut distinguer de différents groupes de sols.

Pour obtenir une première idée de l'influence intégrée du facteur sol sur le rendement on pourra soit regrouper les exploitations et comparer les rendements sur différents sols par groupe d'exploitations, soit regrouper les sols et comparer les rendements sur différentes exploitations par groupe de sols.

Il est évident qu'une étude des sols tout seule ne suffit pas pour quantifier l'influence du facteur sol sur la production agricole. D'autre côté, on ne peut pas obtenir une bonne compréhension d'un système agricole sans connaissance des sols. Dans ce cadre il est à remarquer que d'habitude aucune référence au type de sol est faite dans les documents sur la planification, la vulgarisation, l'enquête socio-économique, et la recherche pour les zones rizicoles de l'O·N· Ce manque d'attention aux sols pourrait empêcher d'apprécier des problèmes comme par example:

- le choix des casiers à réaménager, y compris le choix d'abandonner certaines zones défavorisées.
- Le choix de l'intensité du réaménagement. Quels travaux sont les paysans capables de faire eux-mêmes: planage, éradiction des mauvaises herbes, entretien des canaux, confection de voies d'accès.
- La prévision de variations dans le calendrier cultural et dans les moyens nécessaires: facilité du labour, repiquage ou semis direct, besoins en fertilisation. Ceci nécessiterait une diversification des thèmes de vulgarisation.
- L'introduction d'un barème des redevances à payer par les colons (comme fonction des qualités de la terre et de la livraison d'eau, par example).
- La détermination de la superficie optimale par T.H., ou par type d'exploitation.
- Les possibilités de transférer les résultats de recherche et l'expérience agricole (pour quelles zones sont-ils valables?).

Il y a donc lieu de tenir une enquête sur les systèmes de production, ayant pour but de fournir des indications pour l'importance relative des différentes contraintes à la production de riz et d'estimer l'efficacité de chaque mesure d'amélioration, et, ainsi, de guider au mieux les interventions de l'Office du Niger pour pousser le niveau de la production de riz pour le bien-être du pays et des paysans.

Il n'est pas nécessaire d'entamer immédiatement des enquêtes onéreuses ni des études fondamentales, qui sont couteuses et de longue haleine. Dans quelques cas il ne s'agit que de quantifier ce qu'on sait (ou pourrait savoir) déjà qualitativement. Par example on peut supposer que les sols sableux et partiellement salés situés dans le KL3-6d, que les paysans n'ont accepté que contre leur gré, sont moins productifs

par rapport aux sols mieux appréciés par les paysans dans le même partiteur. Il en va de même pour l'effet d'un microrelief persistant, que, souvent, faute de moyens les paysans n'arrivent pas à niveller.

La sélection d'un petit nombre de cas pour cette enquête pourrait être basée sur l'inventaire général de toutes les zones rizicoles, proposé par la mission d'évaluation. De l'autre côté l'enquête pourra rendre la perspective de l'inventaire plus large.

D'une façon générale chaque étude agronomique, hydro-agricole ou autre devrait être accompagnée par une étude des sols comportant la description, la cartographie et l'analyse au laboratoire. Le degré de détail de l'étude des sols dépendra de l'objectif et l'échelle de la recherche dont elle fait partie.

4. Information pédologique disponible sur le Delta

Le pédologue n'a pas passé assez de temps à Ségou pour bien consulter les dossiers sur place (dossiers bibliothèque 191 et 202 du Service de Documentation de 1'0.N.).

A Niono, très peu de documents sont disponibles. Il s'agit essentiellement d'une série incomplète des cartes de la nature des sols au 1:20.000 des périmètres irrigués à la base d'une classification vernaculaire, faites par le Service des Etudes Générales de 1'0.N.

A part de ces cartes il y avait un article par Dabin (1951) et deux rapports de la mission Toujan (1980). Avant son départ pour Mali le pédologue avait pris connaissance des rapports finaux des projets BEAU et GEAU (tome 3). De passage à Bamako il a prêté d'un collègue du projet PIRT l'étude "Ressources terrestres au Mali". De retour aux Pays-Bas, les références disponibles à l'ISRIC ont permis de compléter le perspective sur les études pédologiques antérieures, notamment grâce à l'"Inventaire des études pédologiques effectuées dans le bassin du fleuve Niger" établi par Eschenbrenner (1977). La liste des cartes des sols des périmètres de l'Office du Niger est copiée en Annexe 2.

De la liste bibliographique nous citons encore quelques auteurs des rapports, articles ou cartes, ayant traite à la pédologie du Delta, et l'année ou période de parution: G. Aubert (1945-1953), E. Bélimé (1939), R. Bertrand (1973-1975), S. Bouyer et B. Dabin (1963), B. Dabin (1948-1954), A. Doumbia (1974), H. Erhart (1942-1943), J. Gallais (1967), HYDROPLAN (1974), Mayer (1974), SCET-COOP (1970), et P. Viguier (1949).

4.1 Observations sur les cartes et la légende des sols de 1.0.N.

La cartographie des sols a été effectuée entre 1939 et 1961, avec une hausse dans les périodes 1947-48 et 1950-55. Les équipes de terrain constituaient 12 hommes, travaillant sous supervision d'un topographe. On notait la nature du sol, du microrelief et de la végétaton le long de layons alignés par chaînage. On ne faisait pas des analyses au laboratoire (Viguier, 1949; Bouyer et Dabin, 1963).

La superficie cartographiée dépasse de beaucoup celle des zones mises en valeur: 580 000 ha entre 1939 et 1945 (prospections

généralisées), 100 000 ha en 1947-48 selon Viguier (1948) et 250 000 ha à l'échelle de 1:20 000 entre 1950 et 1955 selon Bouyer et Dabin (1963). Il est aussi possible que ces chiffres sont exagérés, en tout cas la liste d'Eschenbrenner (Annexe 2) ne donne pas d'indications pour l'existence des cartes des sols couvrant de telles grandes zones en déhors des aménagements réalisés.

Les cartes, dont la série complète doit se trouver à l'O.N. à Ségou, ne sont pas accompagnées de notices explicatives. Leur légende est expliquée sommairement par Viguier (1949), puis sous une forme beaucoup amendée par Dabin (1951) et Bouyer et Dabin (1963). Toujan (1980) a donné la liste la plus complète des unités de la légende.

Le détail présenté par les cartes varie d'une zone à l'autre, et la légende a été amendée et augmentée au cours des années. Les cartes se présentent comme de véritables mosaïques, composées des éléments arrondis. Il n'est pas possible de distinguer un système dans la répartition des unités de sols, par exemple la relation entre toposéquence et type des sols comme suggérée par Dabin (Figure 4).

Viguier (1948) donne une description sommaire des unités de la légende. Il la présente comme une séquence texturale et structurale, allant de sable meuble à argile compact, passant par sablo-limoneux, limono-sableux, limoneux, limono-argileux, argilo-limoneux. Les sols ont pour nom Séno, Danga et Danga blé, Danga-fing, Dian, Dian perré, Moursi. A part de cette séquence il classe à part les Boi, sols de bas-fond, très compacts, mais pas fendillant.

Viguier remarquait que les opérateurs savaient acquérir une grande sûreté de coup d'oeil pour reconnaître sans hésitation ni erreur les différents types de sol, et aussi, que les indigènes savaient distinguer beaucoup d'autres types intermédiaires. Mais plus tard, quand on commençait d'analyser les sols au laboratoire on a constaté que la relation entre unité de sol et sa texture était moins sûr que l'on avait pensé. Ce qui a amené Dabin (1951) d'écrire: "La classification vernaculaire est basée sur l'aspect superficiel du sol, et elle tient compte beaucoup plus des propriétés structurales, de la couleur et du microrelief des sols, que de leur composition granulométrique réelle et aussi à l'intérieur d'un même type de sol on peut noter de nombreuses variations de détail dans la texture de l'horizon supérieur et l'épaisseur des horizons." Seulement dans le cas des unités Danga et Danga blé, la légende fait une subdivision basée

- 20 -

Figure ! 4. Toposéquence des principaux types de sot

égétation	Végétation	Végétation	Végétation	Végétation	Végétation	Végétation	Végétation	Végétation
dense	dense	claire	claire	claire	clair ou nulle		dense	dense
					1]		1
		ļ	•		1	Í	1	
			'	}				-
	! !	1			1	! [j	1
								l
	i			i				<u> </u>
	[1]		1
		 		1			1 2/1/1	As .
	:			1	1		1 50	X 1/2
1/2	! !()							1/0/5
77. N	\ <i>\//</i>			1		11000	(0)	So Line
V) / \\\	\ <i>\\</i> /						1//- (0)	orolle x 5
(I// \\V)	19	ĺ		ĺ	<u> </u>	MARCHAR	$\mathcal{I}(\mathfrak{A})$	
YI YI				1	1000		ar y y	gile < 10 %
{	1					1000	(Cargile < 15%)	
	(1) (1) (A)	\\ \	1 No Marie		2000		Marinini,	New York Control of the Control of t
		10 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	V K/K	hovarrarra	0.00/2.00	00000	<u></u>	Po
	000	17,11,11	0010001001 argite > 50 %	argile > 3	00000	Taches ferrugin	J	
	Danga	Dian	Moursi	l Dian	Danga ble'	Danga blé	Danga ou	Seno
0000	fing	fentes de	fentes de	fentes de	Wala - Wala	gravillons	Danga ble	340
arigot à	Boifing	retrait	retrait	retrait	gravillons	ferrugineux	taches	1
iches	Í	1	nodules	nodules	ferrügineux	en profondeur	ferrugineux	
leyeuses	Cala humidian	!	calcaires nombreux	calcaires rares	en surface		en profondeur	
oible′ / olgris /	Sols humifères	İ	HOITIDI EUX	Lites	1		 	1
oirâtre	Sols noirs	Sols bruns	Sols noirs	Sols bruns	Sols ocrerouge	Sol beigeocre	 Sal beigeocre	Sol beige
oi	, 1	ļ			1		clair	ocre clair
	/• < Argite < 50°/•				pauvres en limon			I

SOURCE DABIN. 1951

sur la texture. Dabin a remarqué que "parmi les Danga, les types sableux, moyen, argileux, n'ont tout de même pas les mêmes propriétés en ce qui concerne le travail du sol et l'irrigation".

Le Tableau 4 donne un schéma de quelques propriétés des unités vernaculaires de sol, tiré aussi bien que possible de l'information dans les articles de Dabin. Il s'agit ici des propriétés d'importance agronomique et la couleur. Une interprétation de l'aptitude en riziculture a été ajouté. On notera les différences entre Danga et Danga blé et à l'intérieur de ces unités, on notera aussi la quasi-absence des structures en saison sèche autres que friable et très dur.

La légende vernaculaire est traitée pendant les cours du Centre de Formation Agricole (CFA) à Niono. On met un accent particulier sur les propriétés texturales des unités, sans pourtant payer attention aux subdivisions des unités Danga et Dange blé, ce qui est regrettable. Les noms des sols sont bien connus par les personnes sorties du CFA, mais l'agronome à la station de recherche à Kogoni ne les connaît pas.

Aussi au sein des projèts BEAU et GEAU et récemment dans le rapport de la mission d'évaluation on a rattaché les unités vernaculaires surtout aux groupements texturaux, ce qui n'est pas conforme l'information de Dabin. D'autre côté le rapport BEAU donne la répartition des superficies par type de sols sans faire une distinction entre les subdivisions des unités Danga et Danga blé, pourtant ces subdivisions sont les seuls véritables groupements texturaux. Puis, dans le résumé toutes les unités, aussi diverses que Danga, Danga blé et Danga fing sont encore combinées dans une seule unité "Danga". Les données de BEAU sont utilisées pour établir le tableau 5.

Une autre conséquence du changement de signification des noms est leur emploi pour la caractérisation du profil textural d'un sol, par example "Moursi sur Dian", "Dian Moursi sur Dian", "Séno sur Boi fing Séno", classifications de 1980 données dans le rapport Toujan.

Il est à retenir que le concept original des unités vernaculaires indiquait des sols entiers, tandis que maintenant on l'utilise pour indiquer la texture des horizons superficiels et profonds.

En tout cas, les propriétés des sols des unités vernaculaires ne sont pas définies d'une façon assez précise, si bien que les définitions ne sont pas mutuellement exclusives. Ce qui fait que différentes personnes peuvent désigner un sol donné par des noms vernaculaires bien différents. Il est bien possible qu'avant les aménagements la récognition des sols était beaucoup moins douteuse que maintenant.

Une indication pour la confusion dans ce domain est formée par un tableau présenté par Toujan, qui donne pour 14 endroits bien réperés la classification du sol comme proposée à trois instants, à savoir: prélèvement 1951, cartographie 1951, et prélèvement en 1980.

Pour seulement 3 endroits la classification est la même à ces 3 reprises. Pour 5 endroits la classification est la même à 2 reprises. Pour 6 endroits la classification est chaque fois différente.

Cette impurété apparente des cartes ne veut tout de même pas dire qu'elles sont erronées. Seulement il ne faut pas les utiliser d'une façon détaillée, comme pour des observations ponctuelles. Il faut aussi admettre que pour les zones aménagées l'utilité actuelle des cartes de la nature du sol est diminuée par la mise en valeur même. A l'époque des prospections, les sols portaient encore leur végétaton naturelle, et la surface présentait encore le microrelief original. Les débroussages, les planages, les creusements, puis les labours et les irrigations ont sans doute profondément perturbé et changé les sols, et notamment leur aspect superficiel sur lequel la classification est basée. Il est possible que certains sols sont passés d'une unité à une autre, ou qu'ils sont évolués aux types de sols pas prévus dans la classification vernaculaire. Il est alors évident que les cartes des sols doivent être interprétées avec beaucoup de précautions. Cependant, les cartes forment les seules pièces d'information sur la géographie des sols dans les zones de l'Office du Niger, et elles le resteront encore pour un bon bout de temps. Leur intérêt vient aussi du fait que toutes les cartes sont en principe faites en applicant le même système et la même méthode partout. Les cartes permettent alors d'obtenir une impression générale des types de matériaux, d'où les sols actuels sont partis et de faire des comparaisons entre zones. Si nécessaire, elle pourraient être utilisées pour reconnaître les conditions naturelles originales, en combinaison avec les cartes de végétation. L'interprétation des cartes pour des fins agronomiques a été maigre jusqu'au présent, mais si on veut payer plus d'attention aux subdivisions texturales sur les cartes, on pourra en extraire quelques renseignements utiles.

Tableau 4. Recueil de quelques caractéristiques des unités de sol

unité de sol 1)3)	classe texturale 2)	structure surface (sèche)	рН	couleur surface 3)	interprétation aptitude en riziculture 4)
Seno	1 .	friable	6	beige-ocre	inapte
Seno fing	1	friable		grisâtre?	inapte
Danga blé 1	1	friable	5.5	ocre	inapte
Danga blé 2	2	fr <u>i</u> able	5.0	ocre	peu
Danga blé 3	3	friable	4.5	ocre	bon
Danga 1	2	très dur	6.5	beige	peu
Danga 2	3	très dur	6	beige	bon
Danga fing	2-3	dur		beige-noirâtre	bon
Dian	3-4 cr	très dur	6.5	brun	bon
Dian péré	5 CR	très dur	6.5	brun	bon .
Dian moursi	4-5 CR	friable	7.0	brun foncé ?	bon
Moursi	4-5 CR	friable	7.5	noirâtre	contesté 5)
Boi	3-4 er	dur	5.5	gris	bon
Boi blé	3-4	dur	5.5	gris + rouge	bon
Boi fing	3-4	friable	4.5	noir, brun foncé	excellent

¹⁾liste de Toujan

Ces classes texturales reflètent les descriptions générales et les chiffres indicatifs, parfois contradictoires, données par Dabin (1951, 1963).

Les symboles cr et CR employés ici signifient légèrement et largement crevassé respectivement.

²⁾ classes texturales 1 sable, moins que 10% argile

² sablo-limoneux, plus que 10% argile

³ limono-argileux, limoneux, plus que 20% argile

⁴ argileux, plusque 25% argile

⁵ très argileux plus que 60% argile

³⁾ en langue Bambara, fing signifie noir et blé signifie rouge

⁴⁾ interprétation faite par Van Diepen

⁵⁾ selon information obtenue sur place les rendements sur sols Moursi varient beaucoup entre zones. Est-ce que le mauvais rendement est du à la présence de nodules calcaires, un pH élevé, ou déséquilibre de certains éléments nutritifs?

Tableau 5. Répartition des superficies par type de sol à d'intérieur de chaque zone (pourcentage) á la base des données du rapport BEAU.

ZONEC	Superficie	Superficie	répartition des superficies par type de sol (pourcentage)								
ZONES	aménagée (ha)	de l'inventaire des sols par BEAU (ha)	Seno + Seno fing	Danga	Danga Fin	Danga Blé	Dian	Dian Perre + D. Moursi	Moursi	Boi + Boi Fin	
MACINA	14352	14545	5	16	41	12	16	2	6	2	
NIONO	10375	8868	12	24	15	5	25	2	15	2	
MOLODO	7205	6350	7	69			13		10	1	
N'DEBOUGOU	10619	5385	3	7	16	7	39	1	24	2	
KOUROUMARI	11096	8855	3	12	14	28	23	14	5	1	
TOTAL	53647	44003	6	17	27	11	25	1 .	10	1	

Mais étant donnée la confusion créée par l'emploi de la classification vernaculaire il sera aussi très utile de mettre au point un système de caractériser les sols de l'O.N., qui permettra de distinguer les sols à la base des propriétés, qui déterminent leur potentiel productif en riziculture irriguée. Comme critères de distinction pourraient servir par example le pourcentage argile en surface et en profondeur, le pH, la structure (dispergée ou non, massive ou fissurée), la consistence (dureté), matière organique, salant noir. La classification à développer aura un caractère technique et pratique. On n'a pas besoin de la baser sur la nomenclature pédologique de caractère scientifique comme le Soil Taxonomy (USDA, 1975), Légende de la carte mondiale des sols (FAO-Unesco, 1975) ou le système français (CPCS, 1976). Cependant, il faudra essayer de lier les unités principales d'une classification éventuelle aux anciennes dénominations vernaculaires et aux systèmes internationaux de classification des sols.

La répartition géographique des sols

Le rapport BEAU donne un tableau de la répartition des sols par secteur basé sur la carte des sols décrite par Dabin. On a déjà remarqué que BEAU n'a pas retenu la distinction entre les subdivisions texturales sur la carte. Aussi il semble que BEAU a raté une partie de superficies, parce que le total de secteurs fait 44000 ha au lieu de 53640 ha. En supposant que les pourcentages des sols ne sont pas affectés par l'omission de presque 10000 ha, et en remplaçant les secteurs par zones comme unités géographiques, nous avons converti le tableau de BEAU en tableau 5 ci-contre. Si les chiffres ne trompent pas, N'Débougou est la zone la plus argileuse et Molodo la moins argileuse. Dans l'absence de subdivisions texturales dans les Danga et Danga blé on ne peut pas dire beaucoup sur la sablosité relative de différentes zones. Il serait très intéressant de connaître la répartition des sols selon les classes d'aptitude comme indiquées dans le tableau 4, après séparation des subdivisions texturales.

Il faut remarquer que les sols Séno sont le plus souvent laissés à côté des aménagements et peut-être il en est de même pour les sols Danga blé sableux. Selon Dabin enfin, les sols Danga fin et Boi fin sont très répandus dans le Macina. Ceci n'est pas confirmé par les

chiffres pour le Boi fin. Peut-être il faut aller plus loin dans le Delta vif pour les trouver.

4.2 Rapport de la Mission Toujan

La mission de Toujan, pédologue de la SOGREAH avait pour but d'étudier l'évolution des sols après une trentaine d'années d'irrigation (1951-1980). Dans les casiers de l'Office du Niger 17 profils ont été prélevés, en mars 1980, puis analysés par l'ORSTOM à Paris. Les points prélevés ont été aussi près que possible de points où Dabin avait pris des échantillons pour analyser au laboratoire en 1951.

Les localisations et les noms des sols sont donnés en Annexe 3. Il s'agit de 6 profils à Kokry dans le Macina et 11 profils aux alentours de Niono dans le Kala. On notera la mauvaise représentativité de ces profils pour les sols de toute la zone, au moins à juger des noms vernaculaires: les sols Danga, Danga fin, Danga blé et Dian sont sous-représentés, les sols Boi sur-représentés (cf. tableau 5).

Les principales conclusions de Toujan sur l'évolution des sols sont:

- Une dégradation des propriétés physiques: la tendance à la dispersion des agrégats du sol a augmenté, la perméabilité a chuté de moitié, tassement de la porosité mottière vers les faibles valeurs.
- En ce qui concerne les propriétés chimiques:
 - . peu, ou pas de changement: calcium échangeable
 - évolution favorable: phosphore total quadruplé sous l'effet des engrais, le magnésium échangeable probablement augmenté
 - évolution défavorable: potassium non apporté en engrais est baissé à la moitié; pH a augmenté d'une unité; sodium échangeable a souvent triplé. Là où le pH atteint 9 apparaissent des plages stériles d'un salant noir - matière organique rassemblée après sa dispersion due à l'alcalinité sodique.

L'interprétation par Toujan des résultats d'analyse n'a pas toujours pu distinguer entre la véritable évolution des sols et la variabilité due aux conditions de prélèvement et aux méthodes analytiques. Les résultats de 1980 permettent encore de tirer des conclusions sur l'état actuel des sols en vue de leur aptitude pour la riziculture. Pour ce but les résultats d'analyse pour les couches superficielles des profils sont résumés en Annexe 3. Les résultats analytiques pour les horizons plus profonds n'en diffèrent que très peu. En général, le taux d'argile augmente un peu. Il est remarquable que la teneur en matière organique est maintenue à presque le même niveau que trouvée dans la couche superficielle.

L'interprétation des résultats est entravée par la non-disponibilité des données sur la capacité d'échange et, par conséquent, de la saturation du complexe absorbant du sol, et du pourcentage de sodium échangeable. Aussi la sousdivision par Toujan de la granulométrie en quatre fractions seulement est trop sommaire pour l'interprétation de la compacité des sols et du type des sédiments, et ceci d'autant plus parce que les limons grossiers ont été rattachés aux sables fins, comme autrefois. En fin il est dommage que les descriptions des sites et profils prélevés manquent.

Si on regroupe les 17 sols selon leur pH, on trouve 5 sols acides (pH allant de 5.3 à 6.0), 6 sols légèrement acides à neutres (pH 6.4 à 7.0) et 6 sols alcalins (pH 7.5 à 8.8).

On peut attendre que le pH reflète le taux de saturation en bases, de façon que les sols fortement acides (pH moins de 6) sont le moins saturés (V moins de 60%), tandis que les sols à reaction neutre (pH7) sont à peu près saturés (V = 100%). Dans le cas des sols alcalins on trouve souvent de valeurs de saturation de plus de 100%, théoriquement impossible, mais causé par la présence de calcaire dans le sol, qui fausse l'analyse.

Pour obtenir une idée de l'ordre de grandeur de la capacité d'échange de cations (CEC), on peut calculer la somme de bases pour 100 g. d'argile, ce qui donne:

10-18 mé bases/100 g argile pour les sols acides,

21-29 mé bases/100 g argile pour les sols légèrement acides

32-45 mé bases/100 g argile pour les sols alcalins.

On peut supposer que la CEC soit située entre 20 et 40 mé pour 100 g d'argile, ce qui est trop élevée pour être attribuée à l'argile du type kaolinitique exclusivement. La présence de minéraux d'argile plus riche que le kaolinite est donc fort probable.

La fertilité ou richesse d'un sol dépend en partie de la CEC pour 100 grammes de terre, et on peut estimer un sol comme moyennement riche si la valeur de la CEC se situe entre 10 et 25 mé/100 g de terre. Dans le cas des sols de l'Office du Niger ceci correspond aux teneurs en argile de plus de 30%.

Parmi les bases échangeables le potasse est souvent au dessous du seuil de carence, qui est généralement situé à 0.20 mé. Les autres bases (Ca, Mg, Na) semblent être assez équilibrées les unes par rapport aux autres. En général leurs teneurs sont basses à moyennes dans les sols acides, et élevées dans les sols alcalins, bien que dans le dernier cas le calcium est probablement surestimé. Dans les sols alcalins le sodium représente 5 à 10% de la somme des bases, aussi en profondeur des profils. La limite pour identifier un sol comme sodique est 15% de sodium sur le complexe absorbant. Par manque de données sur la CEC on ne peut pas bien interpréter si c'est le cas dans les sols alcalins analysés. Il est possible que le stade de véritable sodicité est déjà atteint dans certains profils. En tout cas, Toujan a signalé une tendance vers l'alcalinité dans l'évolution des sols, relaté au phénomène d'alcalisation et l'apparition des "salants noirs" (matière organique localement rassemblé après sa dispersion due à l'alcalinité sodique). Toujan attribue l'augmentation du sodium à la concentration progressive de l'eau d'irrigation dans les sols.

Les teneurs en matière organique sont bas (0.7% C) dans quatre profils, tous de Kokry, et très bas (moins de 0.5% C) dans tous les autres profils. Il est remarquable que la diminution de ces teneurs est très lente sur toute la profondeur échantillonnée (75 cm). Le rapport C/N se situe autour de 10 dans tous les sols, indiquant une matière organique de bonne qualité à forte minéralisation. En corrélation avec le taux bas en matière organique les sols sont tous très pauvres en azote.

Les quatre profils les plus humeux de Kokry, situés dans le Delta vif sont aussi les plus riches en phosphore total et également les plus acides. Cette forte acidité est étonnant, parce que ce sont les sols les plus jeunes de la zone.

Les sols de Kokry ont aussi une meilleure porosité que les sols du Kala (Delta mort). Les porosités sont médiocres (40 à 45%) à Kokry et très mauvaises (moins de 35%) dans les onze sols du Kala.

Toujan a trouvé une augmentation en phosphore total dans les sols sur 30 ans, grâce à l'apport des engrais phosphatés. Cependant, seuls les sols de Kokry sont estimables comme bien pourvus (environ 1000 ppm P_2O_5), les autres sols sont pauvres en phosphore total (entre les limites 200-400 ppm P_2O_5 , parfois moins, parfois plus).

L'analyse du phosphore assimilable (méthode Olsen-Dabin) est considérée beaucoup plus valable pour l'interprétation agronomique que le phosphore total. Le seuil de réponse à l'engrais phosphaté est placé à 40 ppm P dans l'étude de GERDAT (1980) correspondant à 92 ppm P205. Toujan situe le seuil autour de 40-70 ppm P205, suivant les types du sol. La plupart des sols analysés se trouvent encore au dessous du seuil le plus bas de 40, mais, Toujan l'a aussi souligné, en riziculture dans les conditions saturées d'eau, le phosphore est relativement mieux disponibles pour les plantes qu'en culture sèche. Donc il est bien possible, que le riz ne donne pas de réponse à l'apport du phosphate, même si la teneur en phosphate assimilable dans le sol est au dessous du seuil dit critique. Ceci est d'autant plus probable que le niveau de rendement est bas (comme est aussi argumenté par le projet GEAU).

4.3 Rapport principal du projet BEAU

L'objectif du projet BEAU était de déterminer au niveau de l'arroseur les besoins en eau. Dans ce cadre le projet a ordonné aussi quelques éléments de base relatifs à la pédologie.

Le projet BEAU a établi la répartition des différents types vernaculaires de sol par secteur (voir tableau 5).

Le projet BEAU a effectué des analyses physiques du sols, important pour l'irrigation (texture, densité, infiltration, courbes pF, stabilités structurales). Ces mesures physiques montrent que les porosités sont faibles (35 à 40%), que les réserves en eau sont faibles (5 à 10 mm/10 cm d'eau faciliment utilisable) et que les vitesses d'infiltration sont faibles, à nulle presque.

Le projet BEAU n'a pas effectué de mesures chimiques du sol et ne donne pas de cartes de localisations des sites d'expérimentation ni des descriptions des profils des sols concernés. On a toutefois systématiquement noté les noms vernaculaires des sols. Concernant la représentativité des sites à la base des noms vernaculaires on peut remarquer que les expérimentations ont été concentrées surtout sur le Danga-blé et les sols argileux, et qu'on n'a pas travaillé sur les sols Danga sableux, les Danga-fin, les Séno et les Boi.

De point de vue pédologique l'information présentée dans le rapport principal du projet BEAU est incomplète. Les données sont présentées d'une façon fragmentée et généralisée. Par exemple, au lieu de chiffres sur la granulométrie on ne donne que la classe texturale. En plus, on n'a pas essayé de relier les différentes propriétés physiques. Par example, comment il faut expliquer le très faible taux d'infiltration? Telles explications pourraient servir de base pour la mise au point des pratiques améliorantes.

Il est bien posssible qu'il existe des notes techiques du projet contenant de l'information pédologique supplémentaire, mais elles ne sont pas disponibles à Niono.

4.4 Tome III du rapport du projet GEAU par VEA

Le projet GEAU (Gestion de l'eau) a fait analyser la chimie et la physique d'un certain nombre d'échantillons de sol par le laboratoire de sol de Sotuba (SRCVO) à Bamako et par l'Université Agricole à Wageningen. Les échantillons ont été prélevés à Siribala (plantation de canne à sucre) et dans les rizières de KL3, KL2, M2, N5 et G5. Les résultats complets d'analyse ne sont pas encore publiés, mais sont déjà résumés dans le Tome III du rapport du projet GEAU, préparé par le Volet Expérimentation Agricole (VEA).

L'exposé par VEA porte sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols à la base des analyses au laboratoire, et sur la fertilisation du riz.

Caractéristiques des sols de l'Office du Niger

L'agrégations des résultats d'analyse dans l'absence des données sur les profils individuels le rend difficile de vérifier ou d'amender les interprétations du VEA. Les chiffres données par VEA sont des moyennes sur plusieurs profils, sans spécifications du nombre, des emplacements, des noms vernaculaires, ou des descriptions des profils.

Probablement quelques chiffres sont à reviser à cause d'incertitude sur les unités (métriques) employées.

Pour la discussion de caractéristiques des sols de l'Office du Niger le VEA a regroupé les sols selon leur type textural, comme suit:

- sols argileux (plus de 25% argile dans la couche supérieure) qui comprennent sans distinction les sols limono-argileux, bruns, compacts (sols Dian) et aussi les sols argileux, noirs, gonflants, friables;
- sols sableux (moins de 25% argile dans la couche supérieure) qui comprennent notamment les sols Danga.

Puis on a placé à part les sols sableux des champs d'essai à Siribala et au KL3.

Il est intéressant de comparer les résultats et conclusions du VEA avec ceux de Toujan. Le VEA l'a fait d'ailleurs, mais il est à remarquer que les sols analysés par le projet GEAU sont tous situés dans le Kala (Delta mort) et aucun dans le Macina (Delta vif), et aussi que le projet GEAU, semble-t-il, s'est concentré sur les sols type sableux et Toujan, par contre, sur le type argileux (voir Annexe 3). Donc les ensembles des sols étudiés dans les deux cas ne sont peut-être pas tout à fait comparables.

Les conclusions principales qu'on peut tirer des données pédologiques présentées dans le rapport du VEA sont:

- Les sols sont pauvres en matière organique, les taux dans la couche arable des sols limono-argileux sont moyens (1.4% C) et bas dans les sols limono-sableux (0.6 à 0.9% C), et diminuent généralement à la moitié dans le sous-sol (40-60 cm). Le taux d'azote varie de moyen à faible. Le rapport C/N se situe entre 10 et 15, ce qui est assez bon.
- Le phosphore assimilable (Bray 2) varie entre 2 et 7 ppm P, ce qui est au dessous du seuil de déficience généralement placé entre 10 et 15 ppm P. La confusion dans la littérature sur les seuils de déficience proviennent de l'emploi d'autres unités (P versus P₂O₅, ppm versus lbs/Acre etc.) ou d'autres méthodes d'analyse (Bray, Olsen, Truogg, etc.) et leur calibration sur différentes types de sols. Les chiffres de Toujan sont obtenus par la méthode Olsen modifiée par Dabin, pour laquelle le seuil est de 20 ppm P ou 45 ppm P₂O₅ au plus bas. En tout cas, la conclusion est que les sols semblent être trop pauvres en phosphore pour obtenir des rendements élevés sans fumure de correction.

- Le taux de potassium échangeable dans les sols sableux se situe autour du seuil de déficience, généralement placé à 0.20 mé/100 g terre, tandis que les sols argileux sont mieux pourvus en potasse. Des carences faibles en potasse pourraient se produire, notamment dans les sols sableux.
- La capacité totale d'échange du sol varie de 3 à 8 mé/100 g terre pour les sols sableux (estimable comme bas) et elle est de 22 me/100 g terre pour les sols argileux (estimable comme bon). Le complexe absorbant est généralement saturé en bases, sauf pour les sols un peu acides. On ne fait pas mention de sursaturation.
- Le pH-eau est généralement entre 5.5 et 7.0, mais quelquefois des valeurs dépassant 8.0 ont été trouvé, dans le champ d'essai KL3 par example. En même temps on y a trouvé un pourcentage de sodium échangeable (ESP) de 12%, ce qui est près du critère de ESP de 15% ou plus des sols alcalins. Comme valeurs moyennes de ESP le projet GEAU a trouvé 8% dans les sols sableux et 4% dans les sols argileux.

Il semble donc que les sols sableux notamment sont en voie d'alcalisation. Le VEA a posé l'hypothèse qu'il y a de risques d'alcalisation localisée, souvent près du Fala où aucune percolation profonde n'est possible et sur des parties se trouvant dans les grands bas-fonds.

Le projet GEAU n'a pas effectué de recherches spécifiques pour examiner le degré et ampleur de salinisation ou alcalisation éventuelle.

Il n'y a pas non plus de données disponibles sur la qualité des eaux d'irrigation et de la nappe, indispensables pour se former une idée des risques de salinisation ou d'alcalisation.

La fertilisation du riz

Le VEA du projet GEAU a fait des études très intéressantes sur les besoins en engrais du riz à 1'0.N., basées sur les essais par la station de recherche et par le VEA même.

Du point de vue pédologique il est à remarquer que seulement pour les essais de VEA de l'information est fournie sur les sols, bienque limitée à la richesse en NPK du sol, sans données sur le pH, la CEC ou le nom vernaculaire du sol. Surtout le pH est important dans la zone de l'O.N. où on peut attendre des sols alcalins.

Les expérimentations sur les champs d'essais sont faites aux niveaux de rendements assez élevés, de l'ordre de 3.0 tonnes paddy/ha sans engrais à 6.0 tonnes/ha avec engrais. Etant donné que les récoltes en milieu paysan se situent entre 1.0 et 2.5 tonnes/ha il est clair qu'il n'y a pas que l'engrais qui est le facteur limitant chez les paysans. Par rapport aux doses d'engrais appliquées par les paysans la fertilisation des champs d'essai est plus forte et comprend souvent de compléments de potasse. Il est alors probable que les résultats de cette recherche ne sont pas encore vulgarisables dans les conditions actuelles de la riziculture paysanne.

Le VEA a entamé aussi un essai de fertilisation en milieu paysan au KL2. Les résultats peuvent être résumés comme suit:

	Doses d'engrais en	rendement
Traitement	unités fertilisantes	paddy
	N-P205-K20 kg/ha	tonnes/ha
N1Po	23- 0-0	1.61
N2Po	46- 0-0	2.30
N1 P1	37-35-0	1 •86
N2P1	60-35-0	2.17

Les traitements sont réalisés avec ou sans 75 kg/ha phosphate d'ammoniaque combiné avec 50 ou 100 kg/ha d'urée donnée en deux fois. Le traitement N1P1 correspond à la dose vulgarisée. On a fait quatre répétitions (chez quatre paysans) de chaque traitement. L'analyse statistique par VEA a montré que:

- le phosphate d'ammoniaque n'a pas eu d'effet sur le rendement
- les rendements diffèrent significativement entre les deux niveaux d'urée

Notamment la première conclusion est très intéressante. Une meilleure interprétation de l'efficacité relative des doses d'engrais pourrait être obtenue si on avait inclu un zéro traitement (NoPo, formule 0-0-0), et un traitement sans urée (NoP1, formule 14-35-0).

Vue la grande variabilité dans les parcelles paysannes, et le manque de connaissance sur la représentativité des sites de l'expériment pour les zones de l'O.N. en général, il serait aussi souhaitable d'augmenter le nombre des répétitions.

Les conclusions du VEA sur la fertilisation peuvent très bien servir de hypothèses pour un programme de recherche. Les conclusions sont notamment:

- rendement maximum sans engrais: 3.0 T/ha, à condition que les autres facteurs sont optimaux (ce qui n'est pas le cas en milieu paysan)
- rendement maximum sans engrais en milieu paysan: 1.5 T/ha
- rendement réalisable avec 50 kg d'urée en milieu paysan: jusqu'à 2.0 T/ha
- rendement réalisable avec 100 kg d'urée en milieu paysan: environ 2.5 T/ha
- une fertilisation phosphatée d'entretien s'avère nécessaire seulement pour les rendements supérieurs à 2.0 T/ha
- une fertilisation potassique n'est pas encore nécessaire en milieu paysan
- des déficiences en oligo-éléments n'ont pas été constatées.

Le VEA n'a pas touché les possibilités de fertilisation à l'aide de fumier des animaux et des compostières.

Etant donné que les conditions en milieu paysan ne sont pas optimales pour une bonne croissance du riz il est intéressant de déterminer le rôle de la fertilisation dans l'ensemble du système de production. Pour ce but il faudrait prendre note, dans les mêmes parcelles, des conditions hydriques, la densité des plantes de riz et des mauvaises herbes, le jours de travail, etc.

4.5 Etude "Ressources terrestres au Mali" par le PIRT

Une étude à l'échelon national des ressources naturelles a été achévée récemment par le Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT). Une brève revision de la portée de l'étude en matière des sols, et notamment les sols dans la région du Delta est présentée en Annexe 4.

L'étude contient beaucoup de données de base sur le climat, l'hydrologie, la végétation., l'utilisation de terre, la démographie et l'agro-économie, mais, vu le titre du projèt, l'information sur les sols et leur potentiel pour la mise en valeur est assez sommaire, de sorte que l'étude ne fournit pas une base pour la planification de futurs périmètres irrigués de l'Office du Niger.

5. Les sols de l'Office du Niger: observations, mesures, interprétations

Choix des sites observés et représentativité des échantillons

Les terres de l'Office de Niger possèdent quelques propriétés qui forment des contraintes pour l'avancement de la riziculture. Ces propriétés défavorables se présentent dans des degrés de gravité variables d'un endroit à l'autre. Il s'agit notamment de

- la compacité et la dureté des sols, ce qui fait que l'humectage des sols secs est très lent, et que le labour des sols a l'état sec est difficile. Aussi la période qu'on peut bien labourer le sol pendant le ressuyage est très courte;
- par endroit, le problème de sable mouvant, ce qui cause l'enlisement de boeufs de labour et l'effondrement des talus des canaux et des diguettes;
- la fertilité, qui est probablement faible, et on n'est pas sûr des possibilités de l'améliorer;
- le microrelief, qui empêche une bonne maîtrise d'eau;
- l'alcalinité, et peut-être une alcalisation progressive.

Le pédologue a essayé de préciser les causes de ces propriétés défavorables, la gravité et l'ampleur des problèmes, et les possibilités de les remédier. A fins de couvrir tout le gamme de variations en propriétés il a essayé de localiser des endroits mauvais et normaux à l'intérieur d'un même type de sol. Les endroits prélevés n'étaient pas fixés au préalable, comme dans le cas de Toujan, mais ils ne sont pas non plus représentatifs dans leur ensemble pour les sols de l'Office de Niger. Les échantillons retenus pour faire analyser au laboratoire représentent plutôt des cas extrêmes, destinés pour déceler les causes des mauvaises propriétés, et pour compléter ou vérifier l'information fournie par les études antérieures. La liste complète des échantillons analysés à l'ISRIC est donnée en tableau 6. Elle comprend aussi cinq échantillons d'eau. Les résultats d'analyse sont présentés en Annexe 5. On n'a pas indiqué les noms vernaculaires dans la liste à cause de leur incertitude.

Vue la place préponderante de la texture dans la classification vernaculaire nous avons fait un effort de couvrir tout le gamme de textures entre sable, argile et limon purs.

Mais nulle part on a trouvé des sols fortement comparables au loess en Europe, tandis qu'on a rencontré des sols des classes de sable et sable limoneux seulement en dehors du périmètre irrigué. Les classes texturales analysées sont indiquées dans le diagramme triangulaire (figure 4A). Probablement le cercle englobe la plupart des textures qui existent dans les périmètres de l'O.N. Les teneurs en limon se situent entre 10 et 30% (GEAU (1984) mentionne un cas de 40%). Les teneurs en argile varient beaucoup plus: entre 10 et 80%. Le reste est le sable, qui consiste surtout de sable fin et très fin (50 à 250 mm).

Selon Dabin (1951) il faut distinguer les sols du Delta mort généralement pauvres en limon et les sols du Delta vif beaucoup plus limoneux. Mais à l'époque le terme limon s'appliquait aux particules de 2 à 20 mu qui sont maintenant les limons fins, et aussi les méthodes de séparer les limons des argiles étaient différentes. Il est bien possible que la fraction limon fin est plus grande dans les sols du Delta vif, mais les résultats d'analyses montrent que la différence n'est pas beaucoup plus que 5%.

Aussi il est à noter que le mot français "limon" a une double signification: fraction limon (2 à 50 mu; en anglais: "silt") et sol léger de granulométrie mixte (en anglais: "loam"), de sorte qu'un sol classé comme limon sableux n'a pas nécessairement une forte teneur en limon. Théoriquement sa teneur en limon peut être zéro %.

L'estimation de la texture du sol dans le terrain est difficile. Pour améliorer cette estimation par toucher aux doigts il est recommandé de tenir quelques échantillons de référence au centre de Niono.

A Niono, le pédologue avait déjà mesuré la conductivité électrique (CE) et le pH d'un grand nombre d'échantillons, tandis que le laboratoire de la DRA de l'O.N. avait analysé la granulométrie. Ces dernières mesures ont été repris pour les échantillons envoyés aux Pays-Bas, parce que les fractions (les tamis) employées ne sont pas les mêmes pour les deux laboratoires, et pour éviter des écarts systématiques. Il est à noter, que les résultats des analyses texturales des deux laboratoires ISRIC et DRA sont sensiblement les mêmes.

Par contre, les mesures de pH (à Hellige dans le terrain, et à ruban colorant dans les suspensions terre/eau 1:2) faites par le pédologue lui-même, étaient souvent plus bas que les mesures dans le laboratoire de l'ISRIC.

```
Tableau 6. Liste des échantillons, mission van Diepen, Mali, 1984.
```

- 515 surface N1-2g, sol limono-sableux, salant noir en surface, alcalin
- 516 0-25 cm "
- 517 50-90 cm "
- 518 0-7 cm MDind-4d, sol limono-sableux, assez meuble en surface
- 519 7-30 cm " "
- 520 0-5 cm MDind-4d, sol limono-sableux, compact et dur
- 521 10-30 cm " "
- 522 0-5 cm MDind-4d, sol limono-sableux, compact et très dur, comme une plage de terre battue
- 523 20-40 cm G "km 26", sol argileux à nodules calcaires, typiquement Moursi, le riz y pousse très mal
- 524-525-526-527 15-45-75-105 cm G"km 26", profil V, même problème
- 528 0-20 cm KL3-7d, sol limono sableux, problèmes d'enlisement de boeufs et d'effondrement de diguettes
- 529 20-30 cm "
- 530 20-30 cm KL3-7d2, idem
- 531 40-50 cm "
- 532 20-30 cm KL3-7d, sol limonosableux, salant nori en surface
- 533 surface KL3-6g, sol limono-argilosableux, typiquement Danga ou
 Dian, compact et dur en surface
- 534 surface KL2-1d, idem
- 535 surface KL2-1d, idem, autre endroit
- 536 surface KL2-1d, idem, autre endroit
- 537 O-10 cm K5-6d (Kokry), sol argileux tacheté gris-rouge (Moursi ou Boi?), haute productivité
- 538 0-10 cm K5-6d, sol argileux très lourde gris (Moursi ou Boi?), haute productivité
- 539 10-25 cm K5-6d, idem
- 548 0-10 cm NO2-2d, sol limono-sableux, gris meuble
- I eau de nappe, N1-2g, près du souspartiteur
- II eau de nappe, N1-2g, à 100 m du SP (cf. échant. 515, 516, 517).
- III eau de nappe, G "km 26", cf. échantillon 523
- IV eau d'irrigation, dans sous-partiteur N1-2g
- V eau d'irrigation, dans arroseur K5 (Kokry)

5.1 La compacité et dureté des sols

Les caractéristiques des croûtes et leur effets sur la riziculture

Il semble qu'une bonne partie des sols de l'Office du Niger ont une surface à structure massive et très dure à l'état sec. Il s'agit notamment des sols des types limono-sableux et limono-argilo sableux.

La croûte est rompue annuellement par le labour, après son amollissement dans un cycle de trempage par pré-irrigation et ressuyage jusqu'à l'état d'humidité optimale pour le labour à sec. Après les premières pluies (ou l'irrigation) le sol ainsi ameubli reprend vite sa structure compacte.

La destruction des agrégats est provoquée d'une part par la battance des pluies et d'autre part par l'humectage même qui affaiblit la stabilité des agrégats, entrainant ainsi leur effondrement. Il est bien possible que la prise en masse sous l'effet d'irrigation est encore plus accentuée que sous l'effet des pluies à cause de la brutalité plus grande de l'humectage par irrigation.

L'horizon superficiel est caractérisé par une très faible porosité, il y a très peu de macropores. L'horizon consiste, de haut en bas, d'une couche scellante très mince (1 mm) de matériau très fin, puis une couche de quelques centimètres avec une porosité faible, formée par des bulles d'air isolées les unes des autres, passant à un horizon encore plus compact. Les pores qui sont formées par des bulles d'air enfermée ne sont pas utiles pour les mouvements d'eau et d'air dans le sol. Les résultats de la faible porosité sont une faible réserve utile d'eau, un court trajet de labour, une infiltration d'eau très lente et un déséchement qui est rapide à la surface, mais très lent en profondeur.

La préirrigation consiste d'une submersion du sol pendant deux semaines ou plus, ce qui est nécessaire pour saturer les premiers 20 cm du sol. En principe on pourrait labourer le sol à cet état saturé pour créer une boue, mais cette mode de labour n'est pas à conseiller tant qu'on ne peut pas tenir le sol à l'état mouillé ci-après, pour éviter un tassement par déséchement, donc tant qu'on ne peut pas bien contrôler le plan d'eau.

Aussi le travail dans la boue est plus lourde que sur terrain sec, surtout si les boeufs et les hommes s'y enfoncent trop. C'est pourquoi maintenant les sols sont labourés à l'état sec. Pour cela il faut faire sécher le sol et le faire passer les stades boueux et collants, ce qui prend 3 à 5 jours. On fait le labour dès que le sol ne colle plus jusqu'au moment que le sol devient trop dur. Cette période favorable ne dure que 2 à 4 jours. Il n'est pas rare que le labour est suivi par une deuxième préirrigation et un deuxième labour pour briser les grandes mottes. Dans la période favorable courte il faut aussi herser (2 fois) et semer. Après les pluies, la croûte se forme de nouveau. Cette croûte gêne la levée du riz et l'enracinement. Il n'y a pas de régénération naturelle de la structure du sol.

L'imperméabilité et la mauvaise aération du sol sont en principe bonnes pour la riziculture, mais un faible lessivage du sol est toutefois nécessaire pour éviter une accumulation progressive des sels.

La situation des sols argileux semble être différente de point de vue formation de croûtes. Ici, le sol devient dur aussi, mais la structure en surface n'est pas si différente de celle en profondeur et il n'y a pas le phénomène de bulles d'air enfermée. L'impression du pédologue est qu'il y a deux types extrèmes: d'un côté les argiles possédant des propriétés pour une régénération naturelle de la structure en agrégats, et d'autre côté les argiles qui restent dures et compactes. Les argiles du premier type peuvent être labourées par traction animale, sur le deuxième type l'emploi des tracteurs puissants s'avère nécessaire.

Les facteurs qui pourraient être à l'origine de la compacité

Les facteurs qui ont des effets sur la stabilité structurale des sols sont la granulométrie, la minéralogie de l'argile, la matière organique, le calcaire libre, le sodium et le magnesium sur le complexe et les sels libres.

En général, les fractions de limon grossier, de sable très fin et de sable fin sont liées aux faibles stabilités des agrégats de sol. En plus, une composition héterogène des sables contribue à un tassement dense des graines de sable.

Le taux d'argile influence la structure des agrégats et le compactage en fonction de l'humidité. L'argile très humide donne un effet de lubrification et une action de gonflement, qui favorisent la dispersion. L'argile sèche contribue à la cohésion, et à la formation des agrégats par sa retraction. Les teneurs en argile associées à la compaction (humide) maximale se situent entre 15 et 25%, les teneurs associées à faible cohésivité sont moins de 15%. Ces limites sont tentatives, et dépendent encore beaucoup des types d'argile.

Les types d'argile qui favorisent fortement la formation des agrégats par cohésion sont les oxydes de fer et d'aluminium. Parmi les argiles de silicates on distingue les argiles pas ou peu gonflantes (kaolinitiques) et fortement gonflantes (montmorillonitiques).

La matière organique a aussi une forte influence sur la stabilité des agrégats. Une teneur élevée en matière organique est souhaitable, aussi pour des raisons de fertilité.

Le calcaire libre favorise la stabilité des agrégats mais seulement dans la présence de matière organique.

La présence en quantités appréciables de sodium et magnesium sur le complexe, et un pH élévé donnent lieu aux stabilités structurales faibles. L'effet de dispersion des agrégats peut être contrecarré par la présence de sels dans la solution de sol. Cependant, une telle présence des sels n'est pas souhaitable pour d'autres raisons.

Les caractéristiques des sols de l'O.N., liées à leur compacité

Choix des sites de prélèvement

Les échantillons pris à la surface pour étudier la compaction en surface sont tout d'abord une séquence de limon sableux dans une parcelle à Molodo (échantillons numéros 518 meuble; 520 dur; 522 très dur), ensuite des sols limono argilo sableux du KL-2 et KL-3 (nos. 533 à 536, tous compact), et de Niaro (no. 548, meuble). Ils sont à comparer entre eux, et aussi aux limons sableux alcalins (nos. 515, 516, massif, mais pas dur) et aux limons sableux donnant de problèmes d'enlisement (no 528, dur à l'état sec).

Parmi les sols argileux sont à comparer d'un côté les sols (nos 523, 524) du champ d'essai à 1 km au nord de Niono ("km 26"), qui est du type Moursi, argile grise, fortement ou faiblement fissurée (dans une même parcelle) avec nombreuses nodules calcaires et d'autre côté

les argiles échantillonées à Kokry (argile rouge tachetée no 537; et argile grise, peu de nodules calcaires, nos 538, 539), qui sont tous les deux composées des agrégats de 1 à 2 cm large. Il faut remarquer qu'il est difficile d'évaluer l'effet des labours précédents et l'effet de l'humidité au moment d'inspection de ces sols lourds.

Les résultats d'analyse et leur interprétation

La granulométrie des sols analysés est donnée en Annexe 5 et montrée dans les figures 5A et 5B. Le graphique en figure 5B permet d'évaluer l'hétérogénité des sols. Selon une règle empirique les sols qui sont représentés par une ligne droite ont une plus grande risqe de compactage (Stroosnijder, 1982). A titre de comparaison on a indiqué aussi quelques courbes des sols sableux étudies ailleurs: les sols "Séno" des dunes anciennes (S2) et récentes (S1) du ranch de Niono, qui ne se colmatent que très légèrement en surface (Stroosnijder, 1982), le sol "Rima" d'un ancien dépôt fluviatile, très susceptible pour la prise en masse, le sol "Sokoto" d'origine éolienne, non-colmatant, tous les deux de Nord-Ouest Nigéria (Sombroek et Zonneveld, 1971).

On constate que les sols légers de l'Office du Niger sont composés de sable mal assorti, avec dominance relative des fractions fin et très fin, une fraction de limon importante (15 à 25%) et une fraction d'argile pas négligeable (plus que 10%). Donc de point de vue texture les sols sont probablement susceptibles à une dégradation de la structure sous l'action de l'eau d'irrigation et de pluie, surtout les limons (argilo-)sableux. Cependant, des sols de texture comparable n'ont pas tous la même compacité. D'autres facteurs interviennent alors aussi.

La minéralogie de la fraction argile est kaolinitique dans tous les sols analysés, avec seulement peu d'oxydes de fer. Il est toutefois probable que les oxydes de fer sont plus abondants dans les sables rouges et des argiles de couleur rougeâtre par la présence des taches (pas analysés), ce qui peut expliquer la moindre compacité dans ces sols.

Le taux de matière organique varie de 0.2 à 1.0 %C pour tous les sols, ce qui est très bas. En général, il n'est pas possible de tirer de grandes conclusions sur l'influence de ces différences en matière

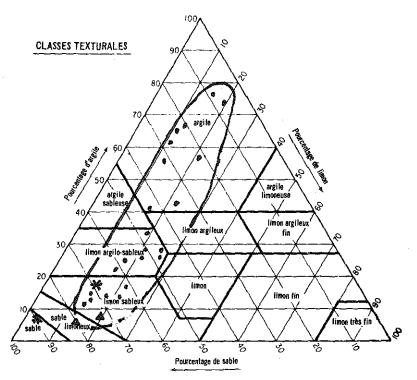


Fig \$A. Positions(.) dans le triangle textural des échantillons analysés et des sols Si et S2 (a) du ranch de Niono et des sols Rima et Sokoto (*) du N.Ouest Nigéria

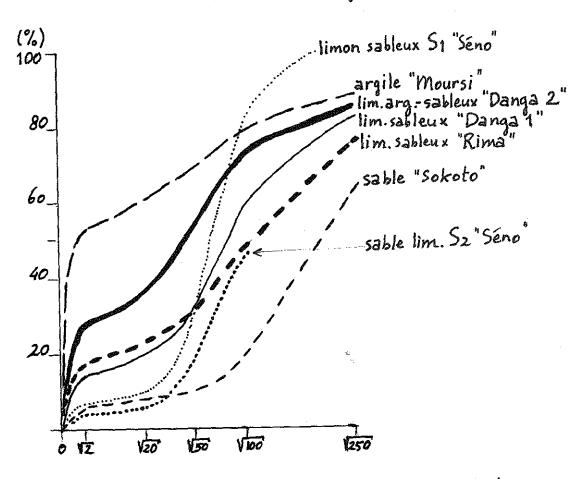


Fig. \$B. Répartition cumulative des fractions de la texture des principaux types des sols 1'O.N. et des sols SI, SZ, Rima et Sokoto.

organique sur la compacité, parce que le nombre d'analyses est trop petit et la variation grande. Il en va de même pour l'influence de sodium et magnésium. Les teneurs en sodium ne sont pas toujours négligeables (voir section 5.2) et son influence est probable. Le magnésium est en général assez faible, mais sa présence peut renforcer l'action dispersante du sodium. Il est toutefois intéressant de noter que dans la séquence de Molodo une compacité plus grande est accompagnée par une teneur en matière organique plus faible (0.41, 0.29 et 0.13% C), et en même temps par des pH plus élevé (5.5, 9.4 et 10.0) et une sodicité plus élevée.

La relation compacité - pH n'est pas nette non plus. Les sols compacts du KL sont plutôt acides tandis que le sol meuble de Niaro est alcalin.

Concernant les sols lourds, qui, selon les observations de terrain, diffèrent surtout en structure, la seule différence claire trouvée au laboratoire est que le pH et le taux de sodium échangeable sont le plus élevés dans les sols de Niono (à mauvaise structure).

Les différences en minéralogie ne sont pas concluantes. Le kaolinite domine fortement dans tous les sols. Il existe quelques variations dans la présence d'illite et montmorillonite.

Quant au calcaire libre, dans aucun cas on a constaté une effervescence avec HCl dans le matrix des sols, ce qui est étonnant dans les cas d'argile parsemée par de grandes nodules de calcaire. Une effervence s'est produite seulement sur les nodules mêmes, et sur les salants noir.

En résumé, la compacité des sols doit être attribuée probablement à la composition granulométrique (fine et hétérogène), à la teneur très bas en matière organique, et l'absence de calcaire libre, et localement aggravée par l'alcalininité et sodicité.

L'ameublissement par un labour profond n'aura qu'un effet temporaire. Il n'est pas possible d'améliorer le profil textural, tandis que l'augmentation des teneurs en matière organique, théoriquement possible, est une option assez discutable (voir section 5.5). Dans le cas de problèmes d'alcalinité on pourrait envisager l'application de gypsum (voir section 5.2).

5.2 La salinité et l'alcalinité des sols

Les types de sols salés

Il existe deux formes de salinisation de terres:

- la salinisation proprement dite, c'est l'accumulation des sols solubles dans la solution du sol
- la salinisation sodique ou alcalisation, c'est l'accumulation du sodium échangeable sur le complexe absorbant du sol.

La salinité est caractérisée par la teneur en sels dans le sol (en ppm ou mg/l), ou par la conductivité électrique de l'extract de la pâte saturée du sol (ECe en mS/cm), et par la composition du sel.

La sodicité ou alcalinité est caractérisée par le pourcentage de sodium échangeable (ESP) dans le sol.

La réaction du sol est caractérisée par le pH. La lecture de pH complète normalement la caractérisation des sols affectés par le sel.

Par convention:

Un sol salé est caractérisé par un ECe supérieure à 4 mS/cm.
Un sol sodique est caractérisé par un ESP supérieure à 6%.
Un sol à alcalis est caractérisé par un ESP supérieure à 15%.
Un sol alcalin est caractérisé par une réaction basique avec un pH situé dans le trajèt entre 7.2 (très légèrement alcalin) et 10.5 (très fortement alcalin).

On peut rencontrer toute sorte de combinaison de ECe, ESP et pH, même un sol à alcalis acide.

Un cas spécial de l'alcalisation est la forte accumulation du magnésium échangeable. Le critère pour caractériser cette alcalisation est que la somme magnésium plus sodium échangeable doit être supérieure à la somme calcium échangeable plus acidité d'échange. Dans ces conditions le magnésium a le même effet dispersant sur le sol que le sodium. Puisqu'on n'a pas encore trouvé de fortes accumulations de magnésium dans les sols de l'O.N., on ne revient plus sur le rôle de magnésium dans le présent rapport.

Caractéristiques des sols affectés par le sel à l'Office du Niger

Important pour les sols de l'Office du Niger est la tendance à l'alcalisation, provoquée par l'eau bicarbonatée contenant de sodium. Cette alcalisation est caractérisée par une montée de l'ESP, accompagnée par une montée de pH, sous l'effet de NaHCO3 en solution relativement concentrée.

Dans ces conditions il est à conseiller d'effectuer systematiquement de mesures de pH pour l'appréciation de l'évolution de sodicité dans l'espace et dans le temps.

La salinité n'est pas encore un phénomène très important dans les sols de l'O.N. On a constaté une forte salinité seulement directement au dessous d'un salant noir. La plupart des sols ayant des pH entre 7.5 et 9.0 ne sont pas salins ou légèrement salins seulement. La composition du sel est dominée par le soude.

Bienque la plupart des sols ne semble que très légèrement affecté par l'alcalisation on peut distinguer deux stades d'évolution de l'alcalinité parmi les sols qui sont affectés, selon leur texture:

- sol sablonneux, fortement alcalin (pH 9 à 10), diminuant en profondeur, ESP tres élevé, salé en surface, communement recouvert d'un salant noir d'humus dispersé. Il s'agit d'un "black alkali soil" (US Sal. Lab. Staff, 1954).
- sol argileux, modérement alcalin (pH 8.5, maintenu en profondeur), ESP entre 3 et 10%, pas de salant noir.

Il faut noter que l'interprétation de l'ESP à la base des données en Annexe 5, est compliquée par le fait qu'avec les méthodes d'analyse appliquées on n'a pas bien pu séparer les cations en solution et les cations absorbées, ce qui mène aux valeurs de saturation de bases supérieures même à 200% dans quelques cas, et aux valeurs de ESP voisines à 100%.

Quand les sols sont recouverts d'un salant noir (en Bambara: tchen-tchen fiment) il est très facile de les reconnaître sur le terrain. On trouve les plaques noirs par endroit dans les zones sableuses et aussi sur les diguettes, ce qui indique l'influence de la remontée d'eau sur leur formation. Un profil moyen peut être décrit sommairement comme suit:

0 - 0.3 cm salant noir, pH 10

0.1 - 15 cm sable limoneux, brun jaunâtre (10YR5/3), structure massive, friable, pH 9.5.

15 - 50 cm limon sableux, jaune rougeâtre (7.5YR 6/6), massive, friable, nombreuses pores fines, pH baissant à 7.

50 - 130 cm le sol devient de plus en plus compact, des tâches d'hydromorphie deviennent de plus en plus nombreuses, sans atteindre un horizon gris réducteur. pH de 6 à 7.

Effervence localisée. Il y a des profils riches en gravillons de fer. On rencontre aussi des croûtes calcaires en profondeur.

Le profil ne possède pas de morphologie typique pour les sols à alcalin, qui consiste d'un horizon superficiel appauvri en argile au dessus d'un horizon enrichi, ayant une structure columnaire. L'absence d'une telle morphologie est une indication que l'alcalisation est un phénomène assez récent, probablement déclenché par l'introduction de l'irrigation depuis l'année 1933.

En fait, les salants noir ont déjè été signalés et étudiés par Dabin en 1952.

Dans l'absence de salant noir on ne peut pas directement reconnaître les sols affectés par le sel, mais probablement on peut la déduire d'une mauvaise croissance des plantes de riz. D'ailleurs, tant que les plantes poussent bien il n'y a pas de problèmes.

Le processus de l'alcalisation et l'influence de la qualité d'eau

Les différences en évolution de l'alcalisation dans les sols sont liées d'une part aux différences en apport du quantitiés de carbonates de sodium, d'autre part aux différences en capacité du sol d'absorber le sodium.

L'alcalisation peut être décrite d'une façon simplifiée par: $2NaHCO_3$ en solution + $Ca_{ech}^{++} \rightarrow 2Na_{ech}^{+}$ + $CaCO_3$

Les bicarbonates de sodium dans la solution du sol proviennent de l'eau d'irrigation, concentrée par l'évaporation, ou de l'eau phréatique. Le calcium sur le complexe du sol est remplacé par le sodium, et le carbonate de calcium précipité est lessivé progressivement.

Ce processus de alcalisation est contrôlé par la qualité d'eau, qui peut être caractérisée par le SAR ("Sodium Adsorption Ratio"). Le SAR représente le danger d'alcalisation par les eaux et est exprimé par:

SAR =
$$\frac{\text{Na}^{+}}{\sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}} \text{(concentrations cationiques en mé/1)}$$
Para la cas des caux hierrhanation la calcium est préci

Dans le cas des eaux bicarbonatées le calcium est précipité, ce qui diminue l'importance du rôle de calcium. Le SAR calculé selon l'équation ci-dessus donne une valeur trop basse et sous-estime ainsi le danger d'alcalisation. C'est pourquoi il faut ajuster le SAR en appliquant l'équation suivante:

Il existe de tableaux pour calculer pHc à la base de teneurs en Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et HCO₃ (Ayers, 1976). Les résultats d'analyse de l'eau permettent de calculer le SAR et pHc (voir tableau 7). Tant que le SAR ou mieux le SAR ajusté est inférieur à 7 le risque d'alcalisation est faible. Le risque est très grand au dessus du SAR = 20, qui est en équilibre avec un ESP de 22%. Les limites pour les risques dependent encore fortement sur les possibilités de drainage. La signification de pHc est que les valeurs inférieures à 8.4 traduisent une tendance de précipiter le calcaire de l'eau appliquée, tandis qu'aux valeurs supérieures à 8.4 le calcium du sol va en solution.

Tableau 7. La qualite des eaux d'irrigation et de nappe									
localisation, eau		Na+	Ca++	Mg++	нсо3	рНс	SAR	SARaj	EC
N1 -2g	nappe	19•13	0.26	0.56	19.12	7.46	29.9	58.0	1.68
N1-2gpe,	nappe	2.24	3.50	1.15	5.92	7.10	1.5	3.4	0.67
G "km 26"	nappe	7 • 30	0.82	1.18	8.05	7.37	7.3	14.8	0.85
N1 -2g	irrig. SP	0.48	0.30	0.18	0.98	8.75	1.0	0.6	0.10
K5	irrig. Ar	r 0.21	0.20	0.16	0.55	9.12	0.5	0.14	0.06

L'échantillon d'eau de Kokry K5 est représentative pour l'eau d'irrigation dans les canaux principaux du réseau de l'0.N. La qualité

de cette eau est extrêmement bonne de tous points de vue SAR (l'eau est même agressive), EC, chloride, pH, et même sodium et bicarbonate, malgré l'importance relative du sodium et la composition presque exclusivement bicarbonatée de l'eau.

Le danger d'alcalisation semble être à peu près nul. Mais il faut tenir compte de l'absence presque totale de drainage profonde (selon le rapport BEAU), et par conséquent l'absence de lessivage des sels. La solution d'eau d'irrigation finira par se concentrer plusieurs fois par l'évaporation. Dans le sous-partiteur, (au moment de prélèvement bien sûr) l'eau était déjà deux fois plus concentrée que sa valeur initiale. Dans la nappe des concentrations de 10 à 30 fois plus fortes ont été trouvées. L'effet de concentration dans le sol sera encore plus fort s'il y a une remontée de l'eau de nappe pour évaporer en surface. Ainsi on peut expliquer l'existence de certaines plages de sol à alcalis, et une tendance générale à l'alcalisation, malgré la qualité excellente de l'eau d'irrigation.

Si l'eau de nappe est utilisée pour l'irrigation, le risque d'alcalisation est réel, mais le seuil de sans-risque pour la salinisation (EC = $1.5 \times 10^{-3} \text{mS}$) n'est pas encore dépassé.

Les valeurs de pHc indique que l'eau d'irrigation dissout le calcium du sol, qui précipitera dans le milieu de la nappe. Une rédistribution de calcaire est donc probablement en cours au présent, parallèlement à l'alcalisation.

A titre de hypothèse, dans les sols sableux, où l'eau passe d'une manière homogène il y aura une précipitation à une certaine profondeur, ce qui va conduire à la formation d'une croûte calcaire, tandis que, dans les sols argileux où l'eau suit de voies préférentielles entre les agrégats, la précipitation se produira dans des places séparées, formant ainsi des nodules distinctes.

Effets de la sodicité, de l'alcalinité et de la salinité

Le sodium échangeable a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité et un tassement des sols. A 15% ESP la stabilité structurale disparaît complètement pour la plupart des sols. L'action dispersante peut être contrecarrée par une solution assez concentrée de sels dans le sol.

Le sodium peut aussi devenir toxique pour les plantes. Dans les sols plus ou moins salins de toxicités de sodium et bicarbonates peuvent se développer.

Une réaction basique du sol (pH plus de 7.5) peut créer de problèmes de fertilité: une diminution de la disponibilité de phosphore, plus fortes pertes par volatilisation d'azote appliquée comme urée, et l'apparition éventuelle de déficiences en micronutrients, notamment en Zn, mais aussi en Mn, Cu, Co et Fe.

En général il est admis que les conditions alcalines sont désastreuses pour le riz, mais en Inde il existe de variétés qui donnent de bon rendements aux valeurs de pH si élevées que 9.0 (Mehta, 1983). L'acquisition des variétés adaptées aux conditions alcalines est à conseiller comme objet de recherche pour 1'0.N.

L'amélioration des sols avec trop de sodium échangeable

Les sols sodiques peuvent être améliorés par le remplacement de sodium échangeable par le calcium, suivi par le lessivage de sodium. Pour remplacer le sodium il faut appliquer le gypsum. La réaction est:

2Na + CaSO4 + CaSO4 + Ca++ éch

La dose de gypsum requise pour remplacer 1 mé de sodium dans la couche arable de 20 cm d'une densité apparente de $1.7~\mathrm{kg/dm^3}$ est théoriquement 2,3 tonnes/ha ou $0.23~\mathrm{kg/m^2}$. Le plus grand problème est probablement de l'ordre économique. Le prix de gypsum peut être prohibitif. L'espoir est qu'on trouve un gisement de gypsum au Mali même.

Pour le lessivage un drainage profonde est nécessaire. La réalisation d'un système de drainage profond est très couteuse, mais peut-être c'est réalisable à l'échelle expérimentale. Au sujet de lesivage on se heurte vite à la connaissance très imparfaite de l'hydrologie souterraine des zones de l'O.N. Pour détecter les mouvements d'eau souterraine il sera nécessaire d'installer un réseau de piézomètres. Quelques layons de piézomètres doivent suffire pour commencer. Aussi les propriétés capillaires des sols devraient être déterminées. Entretemps, on pourrait déjà envisager des essais de

reclamation avec ou sans drainage profond artificiel sur quelques endroits à pH élevé ou à salant noir, dans le but d'évaluer la possibilité d'améliorer ces sols sous les deux conditions de drainage externe. Les doses peuvent varier de 0.1 à 1.0 kg gypsum par mètre carré (1 à 10 tonnes/ha). L'application est donnée une fois pour tout. On pourrait aussi étudier l'effet de l'application de fumier d'étable ensemble avec le gypsum. Le fumier aura un effet acidifiant, ce qui rend le gypsum mieux soluble.

5.3 Le problème de sable mouvant

On a signalé certains points, dans le KL3-7d où le problème de sable mouvant existe. Le problème est aussi connu dans la zone de Molodo. Cependant, on n'a pas bien pu obtenir une idée sur l'étendue des points et des zones affectés, et si le phénomène est plus répandu en pleine saison d'irrigation (septembre - octobre), ce qu'on pourrait attendre. La terre concernée devient soudainement fluide et perd sa faculté de porter des charges. Pieds, pattes et roues s'enfoncent, les talus des canaux et des diguettes s'effondrent.

Vue la compacité générale des sols dans la zone on n'avait pas attendu ce problème, sauf dans le cas des remblais récents.

Normalement, les sols sensibles sont des sables peu tassés et sans cohésion, saturés d'eau qui veut sortir du sol. On peut distinguer le cas de la sortie d'eau dans les talus des canaux, et le cas du sable mouvant dans un marais d'où l'eau ne peut pas échapper. Dans ce dernier cas, une application d'une charge sur le sol fait entasser les grains de sable et comprimer l'espace de pores, qui sont déjà remplies d'eau. Il y a alors plus d'eau que le sol peut contenir. Dans cet état de sursaturation les particules de terre commencent de couler, le sol passe à l'état fluide.

Des facteurs favorisant la fluidification de terre sont:

- faible stabilité des agrégats du sol (liée à la texture, la sodicité, l'humus, etc);
- densité critique élévée. C'est la densité apparente au dessus duquel la fluidification ne se produit plus. Elle peut être assez élévée pour les sols riches en limon et sable très fin. C'est une propriété mécanique de sol;
- saturation complète par l'eau de nappe ou par l'eau capillaire;
- position dans une zone de résurgence d'eau.

Des facteurs contrecarrant la fluidification des terres sont:

- forte stabilité structurale, et densité critique basse;
- un horizon compacté à faible profondeur;
- un sous-sol qui n'est pas saturé d'eau.

Ces deux derniers facteurs limitent la profondeur de la fluidification et ils sont responsables pour le fait que normalement des rizières submergées restent relativement praticables, et qu'elles ne sont pas transformées en marécages, malgré la boue en surface.

A la base de quelques échantillons pris aux endroits concernés on ne peut pas constater des différences en granulométrie et composition chimique entre ces terres et les terres pas affectées. Pour obtenir une meilleure connaissance de la sitation il faudrait analyser un plus grand nombre d'échantillons, et faire aussi des analyses des propriétés mécaniques des sols, et installer des tensiomètres ou piézomètres dans le terrain pour mesurer la tension hydrique sur place.

5.4 Le microrelief

La topographie des périmètres irrigués est très plate. Cependant, à l'intérieur des parcelles il y a des ondulations, donnant de dénivellés jusqu'a 0.50 m. Selon la nature du microrelief on peut distinguer:

- inégalités naturelles: des creux et des bosses dus au gonflement des argiles (gilgai), ou au tassement différéntiel entre sable et argile, ou aux termitières;
- les restes d'aménagement antérieur: des creux et des levées, représentant des anciens tracés des diguettes et des canaux partiellement aplanis;
- inégalités qui sont le résultat du labour pratiqué de la même manière pendant des années: sillons, et planches bombées. Le plus souvent on a labouré la parcelle en tournant, commençant à la bordure et versant la terre vers l'extérieur. On termine au milieu par un sillon.

Le microrelief est une des causes principales de la grande variabilité des conditions d'humidité du sol. D'abord le labour est gêné, et ceci d'autant plus que le trajet d'humidité optimale est court. Puis les conditions de levée et croissance des plantules de riz sont inégales: flétrissement sur les buttes, noyade dans les creux. En fait, c'est la hauteur des plantes dans les creux qui contrôle la

hauteur de la lame d'eau qu'on peut mettre sur le terrain. Pratiquement l'irrigation n'est pas effectuée pendant les premières six semaines après le semis, et le riz pousse comme une culture pluviale. Pendant la période d'irrigation la hauteur d'eau dans les bas-fonds atteindra facilement 50 cm, ce qui est trop écartée de la profondeur optimale, qui se situe entre 10 et 20 cm.

La mauvaise maîtrise d'eau entraîne aussi une alternance des états sec et saturé dans le sol, qui a pour résultat des pertes d'azote et de matière organique et une efficacité basse de l'engrais appliqué.

Une autre conséquence de la mauvaise maîtrise d'eau est la prolifération importante de mauvaises herbes.

En conclusion, le microrelief bloque les possibilités d'améliorer la riziculture et son élimination est une première condition du développement. On peut battre les effets du microrelief au niveau de la parcelle par planage et sous-compartimentage. Le planage apporte aussi un inconvénient parce que le décapage des buttes implique l'enlèvement de la meilleure partie de ses terres et l'exposition du sous-sol qui est en général de qualité inférieure de point de vue fertilité chimique. D'autre côté les bas-fonds sont enrichis avec le terreau des buttes. Le résultat est une plus grande hétérogénéité des sols à l'intérieur d'une parcelle. De ce point de vue un sous-compartimentage autant que possible est à préférer à une planage rigoureux.

L'aplanissement des parcelles, combiné avec sous-compartimentage, est déjà un thème important de la vulgarisation pendant la période de préparation des terrains (mars - juin).

Le thème d'inverser le sens de labour chaque fois n'est pas encore compris par tous les paysans, mais en principe cette mesure est facile à adopter. Le planage est une grande opération, nécessitant de grands moyens en termes de charrues, boeufs, boeufdozers, boeufscrapers. A cause de leur grandeur les travaux de planage sont étalés sur plusieurs années. Les problèmes cruciaux pour le planage sont aussi bien le manque de moyens et d'expérience des paysans que la dureté des sols. De point de vue technique il est à conseiller d'exécuter le planage à l'aide des engins de terrassement.

5.5 Aspects de la fertilité et de la fertilisation

De point de vue richesse chimique des sols, la plupart des observations faites sur la base des résultats des analyses de l'ORSTOM (section 4.2) sont confirmées. Quelques observations complémentaires y peuvent être ajoutées, en tenant compte surtout des analyses des couches arables, mais pas des sols salés d'une richesse déséquilibrée (nos. 515, 516, 520 et 522) et moins des sous-sols (nos. 517, 523, 525, 526, 527, 531).

Potasse

Le potasse se situe autour du seuil de carence de 0.2 mé K par 100 g terre, sauf dans les sols limono-argilo sableux compact de type Danga ou Dian dans le KL et dans tous les sols de la Macina. Il semble que les sols les plus riches en potasse sont les sols aux plus fortes teneurs en limon fin (2-20 mu), ce qui indique peut-être une plus grande richesse en minéraux altérables. Chose curieuse, ces sols sont aussi caractérisés par une réaction acide. Il n'est probablement pas nécessaire d'appliquer une fertilisation potassique, d'autant plus que l'eau d'irrigation a une faible valeur fertilisante en K. La teneur est de 2 ppm K par m³ (50 me/m³) environ. Quand la dose annuelle de l'eau est de 1000 mm, l'apport total de K sera de 24 kg K20/ha.

Phosphate

Pour l'analyse du phosphate on a employé la méthode Olsen, qui est particulièrement appropriée pour les sols alcalins. Cette analyse n'est toutefois pas la même que celle selon Dabin-Olsen, employée par l'ORSTOM. Selon les critères de Cottenie (1980) les sols sont tous pauvres (5 à 9 ppm P-ass) ou très pauvres (moins de 5 ppm P-ass) en phosphore, sauf le sol immédiatement au dessus du salant noir (no 516) qui est plus riche en P. En somme, selon quatre critères différents qui sont P-total, P-ass-Bray2, P-ass-Dabin-Olsen, et P-ass-Olsen les sols sont en général pauvres à très pauvres en phosphore. Normalement on conclura qu'une carence en phosphate est à craindre. Cependant il est toujours possible qu'une application de phosphate ne donnera pas de réponse. Ceci pourrait être le résultat d'une disponibilité plus grande

du phosphate qu'on avait attendu (solubilité grande dans le sol saturé) ou, au contraire, d'une fixation de phosphate appliqué (précipitation de phosphate en milieu alcalin). Mais même si on a trouvé quelques cas de réponse nulle, il n'est pas exclu qu'on trouvera une réponse positive au phosphate à d'autres endroits. En fait, un plus grand nombre des essais sur phosphate est nécesaire, aussi bien aux stations de recherche à haut niveau de rendement qu'en milieu paysan.

Vue la hausse de prix des engrais on n'a pas besoin de souligner l'intérêt immédiat de cette recherche pour la riziculture à l'O.N.

Azote

L'azote dans le sol est libéré lentement par la minéralisation de l'humus. L'humus constitue le stock en matière organique relativement stable. La matière organique consiste de carbon pour 50 à 60%. Les sols de l'Office du Niger ont des teneurs faibles (0.5 à 1.0% carbon) à très faibles (inférieure à 0.5 %C) en matière organique, mais sa qualité est bonne avec un rapport C/N d'autour de 10 (Toujan, 1980; GEAU, 1984).

Le projet GEAU estime que la quantité d'azote minéralisé est de 50 kg/ha et qu'il est possible d'obtenir des rendements de l'ordre de 3.0 T/ha sans engrais sous conditions optimales. Au milieu paysan un rendement de 1.5 T/ha est réalisable sans fertilisation. Pour obtenir des rendements plus élevés un apport d'engrais s'avère nécessaire. La dose d'engrais à conseiller doit être adapté à la situation individuelle de chaque paysan et dépendra de la fertilité du sol et une prévision du rendement (GEAU, 1984).

En ce qui concerne l'application de l'urée, on peut attendre de grandes pertes de l'azote par volatilisation si on jette l'urée dans l'eau sur les champs. Il est à conseiller de la placer directement dans la boue. Une deuxième cause des pertes relativement élevées peut être l'alternance des conditions réductrices et oxydantes. Il dépend aussi de l'état physique du sol si le milieu réducteur est vraiment remplacé par un milieu aéré, parce qu'on peut bien imaginer que l'état réducteur persiste dans un sol à croûte compacte pendant une période de ressuyage.

Comme source d'azote pourrait aussi servir l'azolla. A la station de recherche de Kogoni on a installé des essais sur la culture de cette

espèce de lentille, qui fixe l'azote atmosphérique. On peut attendre des résultats intéressants, mais il faut aussi admettre que l'application d'azolla exige une préparation soigneuse des champs, que la plupart des paysans ne sont pas capable de réaliser.

L'humus et l'effet d'apport de matière organique

L'humus est une source d'azote (et de phosphate) et elle contribue aussi à la capacité d'échange du sol et à la stabilité des agrégats. Vues ces propriétés favorables d'humus une teneur élevée est souhaitable.

Le taux d'humus s'installe à un niveau où les pertes par minéralisation (de l'ordre de 2% par an) sont en équilibre avec les additions de matière organique fraiche, notamment des racines et de la paille enfouie (4 tonnes de paille donnent 1 tonne d'humus). Si on réussit à apporter 4 tonnes de paille et racines par an, le stock d'humus doit alors être de 50 tonnes par ha. Pour une couche de 15 cm (2400 tonnes sol/ha) ceci correspond à une teneur de 2.1% humus ou 1.25% carbon. Mais si la teneur initiale est seulement de 0.5% carbon il faudra attendre des années avant que l'équilibre soit atteint. L'évolution du taux de carbon est dans ce cas (apport de 4 tonnes pailles et racines donnant 0.6 tonnes C en humus, stock initial de carbon de 12 tonnes/ha dans couche de 15 cm avec densité 1.6 tonne/m3 et 0.5 pourcent C, pertes par minéralisation 2 pourcent par an) théoriquement comme suit: après 7 ans 0.6% C, après 20 ans 0.75% C, après 50 ans 1.0% C, et pour l'équilibre de 1.25% C il faut attendre plus de 100 ans.

De plus fortes doses entre 10 et 50 tonnes/ha qui sont souvent l'objet de recherche donneront un effet déjà à plus court terme. Mais un problème est souvent que de telles grandes quantités ne sont pas disponibles.

Les chiffres montrent qu'il sera très difficile de ramener à court terme le taux en matière organique dans le sol à un niveau satisfaisant d'au dessus de 1 pourcent carbon. Aussi il ne faut pas à court terme attendre une amélioration de l'état physique des sols. L'influence sur des amendements de matière organique est surtout sur la fertilité chimique des sols par l'augmentation de l'humus, qui est

ensuite minéralisé. Il y a cependant un effet sur les propriétés physique par la matière organique fraichement incorporée dans le sol, et par les racines. Tant que la matière fraiche n'est pas bien décomposée elle aide a conserver la structure des agrégats du sol.

Un effet défavorable de l'enfouissement de pailles est que leur décomposition demande de l'azote. La paille même ne contient pas assez d'azote pour le fournir (rapport C/N élévé) et l'azote est extrait du sol. Cet azote consommé pour la décomposition des pailles n'est plus disponible pour le riz, ce qui se traduit par une faim d'azote pour le riz. Une addition de fumier, riche en azote, ou d'urée, améliore la situation.

En rizières, dans l'absence d'oxygène, la décomposition est assez lente, et la fixation d'azote par la paille est moins accentuée que dans les champs exondés. Mais dans les zones de l'Office, caractérisées par l'alternance des périodes avec et sans submersion du sol la situation est d'évaluation difficile.

L'apport de matière organique a un effet acidifiant ce qui est favorable dans le cas des sols a réaction basique. Aussi si on emploie de gypsum pour supprimer la sodicité, l'apport de matière organique est utile, parce que la solubilité de gypsum est augmentée.

Les déjections des animaux ne sont pas transformées en humus. La transformation de fumier de parc dépend beaucoup de sa teneur en pailles et ordures. Le fumier sert d'engrais, et comme l'engrais minéral il a surtout une influence indirecte sur la formation d'humus par augmentation de la croissance des plantes, ce qui a comme résultat une augmentation de résidues de culture. En Inde, par example, en riziculture sur vertisols (argiles lourdes gonflantes) on a trouvé que l'application de 5 tonnes de fumier donne le même effet que 150 kg d'urée sur le rendement et sur la teneur en matière organique du sol (Sanchez, 1976).

Le fumier donne une fumure complète NPK, mais on a besoin de grandes quantités à cause des faibles teneurs en ces éléments, par example, avec quelque chose de l'ordre de 20 tonnes fumier par an on peut économiser 100 kg d'urée.

L'ordre de grandeur de ces chiffres peut varier beaucoup selon la qualité du fumier concerné.

La réponse sur fumier en milieu paysan semble peut-être plus grande à juger des différences en rendements obtenus avec et sans fumier. Mais il y a probablement un effet d'interaction des autres conditions plus favorables, parce que les paysans qui ont du fumier sont toujours les paysans les mieux équipés.

Le complexe absorbant

Le complexe absorbant est caractérisé par des CEC faibles eu égard à la teneur en argile. Le CEC par 100 g argile varie entre 18 et 35 mé, exprimant la dominance du kaolinite dans la fraction argile. Ceci implique que les faibles CEC de moins de 10 mé par 100 g terre sont liés aux teneurs en argile si élevées que 35 pourcent, tandis que seulement les argiles lourdes de plus de 60 pourcent d'argile peuvent être qualifiées comme ayant des CEC élevées, supérieur à 20 mé/100 g terre.

Le taux de saturation est assez élevé, de 70 à 80% dans les sols à réaction acide (pH 5.5 à 6.5). Pour les autres sols on a trouvé des taux de saturation supérieurs de 100%, ce qui est nonsens. Dans ces cas il est mieux de ne considérer que le pH (pH H₂O 2:1) qui est situé entre 7.5 et 10.0, et atteint même 10.3 immédiatement au dessous d'un salant noir. Liée à l'alcalinité est la toxicité possible de sodium et des sels de carbonates, et la plus faible disponibilité de Zn, Fe, Mn, Cu et Co, et du P (voir section 5.2).

La minéralogie

La minéralogie de la fraction d'argile est donnée en Annexe 5. A côté du kaolinite il y a dans quelques cas des admixtions de faibles quantités de montmorillonite et d'illite. Les argiles de type Moursi, qui sont communement considerées comme vertisols, ne présentent pas de grandes différences entre elles, si elles proviennent de Niono (523, 524) ou de Kokry (537). La question qui reste à répondre est si il y a des différences en nature d'argile entre les sols lourds dits compacts (Dian) et les sols à fentes de retrait (Moursi). Il est possible que la comportement différent de ces sols est lié plutôt aux différences en teneur d'argile.

De point de vue minéralogie de la fraction d'argile, tous les sols semblent appartenir à la même famille.

Un autre critère pour évaluer le stade d'altération des sols argileux tropicaux est le rapport limon/argile. Pour les sols lourds de l'O.N. ce rapport se situe entre 0.2 et 0.5 ce qui est bas. Ces valeurs basses son normales pour les sédiments tropicaux anciens (Sombroek et Zonneveld, 1971). Il est probable que la composition texturale des sols a été influencée aussi par les remaniements par le vent. Enfin une hypothèse qui doit encore être vérifiée est si les sols du Delta vif sont relative plus riche en limon fin que le sols du Delta mort, comme avait suggéré Dabin (1952).

Le cas du champ d'essai à "Km 26"

Un cas spécial forme l'argile lourde du champ d'essai à "Km 26" à 1 km au nord de Niono où la culture de riz ne réussit pas bien. Les défauts qu'on peut constater à la base des résultats d'analyses sont le pH assez élevé (entre 8.0 et 9.0), et le phosphate extrêmement bas (2.1 ppm P au plus), bien au dessous du seuil de 5 ppm P. Le pourcentage Na est de 4 environ, ce qui pourrait déjà avoir une mauvaise influence sur la physique du sol (absence d'agrégats, labour difficile). La teneur en Ca est très basse eu égard à la présence des nodules calcaires. La minéralogie est analysée à deux échantillons, qui ne sont pas identiques pour la présence de montmorillonite, qui confère au sol ses propriétés gonflantes. Est-ce qu'on peut distinguer à l'intérieur de la zone concernée des argiles différentes à la base de la présence et de la largeur des fentes de retrait? Dans la fosse étudiée (échantillon 523) à l'état fraiche, le caractère vertique n'était pas très accusé, il n'y avait que peu de "slickensides" (faces luisantes de glissement), mais peut-être on en apercevrait plus sur un profil déséché.

Détermination des carences par analyse des tissus des plantes

L'analyse des tissus de plantes est un moyen de découvrir des carences en certains éléments. Les analyses végétales doivent être faites en combinaison avec des analyses des sols, des essais de fertilité sur le terrain et en pots et des observations des autres facteurs de production. L'échantillonnage, l'analyse et l'interprétation exigent l'intervention des spécialistes et doivent être confiés à un organisme national, comme le S.R.C.V.O.

5.6 Quelques techniques culturales relatives au sol

Préparation du sol par mise en boue ("puddling") ou à sec

En Asie, les rizières sont labourées d'habitude à l'état très humide à fins de créer une couche boueuse. Le but principal est de diminuer les pertes d'eau par percolation. Aussi la boue retient beaucoup d'eau, favorise la reduction du sol, diminue les pertes d'eau par évaporation, et rend le repiquage facile.

Les sols de l'Office du Niger sont déjà très imperméables, donc il n'est pas nécessaire de les mettre en boue et on peut aussi bien préparer le sol à sec.

Le but de cette préparation est d'ameublir le sol et d'enfouir les mauvaises herbes et les chaumes.

Intensification de la riziculture

En général on reconnaît la nécessité d'augmenter les rendements. Pour une intensification de la riziculature on peut soit améliorer les techniques existantes, soit introduire de nouvelles techniques. Dans ce cadre la mode de semis est un choix crucial: semis direct ou semis en pépinière suivi d'un repiquage.

Au présent le type de culture pratiquée à l'Office du Niger est le semis direct. Pour ce type la maîtrise de l'eau est très délicate. L'insufficience de la maîtrise de l'eau a comme résultat une levée inégale des plantes, une compétition importante des mauvaises herbes, une efficacité basse de l'engrais, des pertes de l'humus, un moindre développement racinaire, et une moindre absorption des nutrients.

La prolifération des mauvaises herbes est très visible. Elle se produit aussi bien sur les champs des paysans en culture attelée que sur la ferme de semences à Dogofiry en culture mécanisée. Sans renoncer au semis direct les améliorations possibles résident surtout dans un planage parfait des parcelles et ensuite dans des sarclages plus tôt et plus nombreux, le semis en lignes et le placement de l'engrais directement dans la boue.

Le repiquage est actuellement pratiqué par un petit nombre des colons sous un accompagnement intensif par le projet ARPON. Il s'agit des exploitations relativement petites. Le but est d'augmenter le rendement par hectare.

Le riz repiqué exige aussi une bonne maîtrise de l'eau, mais cette exigence est moins sévère que sous semis direct. Ceci signifie que les conditions de croissance ne sont pas optimales non plus sous cette type de culture tant que le planage n'est pas achévé. La différence la plus grande est que le riz repiqué a un avantage en développement sur les mauvaises herbes, ce qui facilite leur suppression. Par conséquent les sarclages sont moins onéreux, mais le repiquage demande beaucoup de main d'oeuvre. La question quelle mode de semis est la meilleure dans une situation donnée est surtout un problème économique, il s'agit de comparer les rendements par hectare, par unité d'intrant et par unité de travail.

Enfin, il y a l'attitude des paysans qui joue un rôle. En général une adoption massale d'une nouvelle technique aura lieu seulement si son revenu est nettement plus élevé qu'avant.

6. Conclusions et recommendations

Les conclusions et recommendations peuvent être résumées comme suit:

- La nomenclature vernaculaire des sols employée à 1'0.N. ne permet pas une bonne caractérisation des sols. Il est recommendé de mettre au point un système technique de classification des sols basé sur les propriétés qui déterminent le potentiel productif des sols en riziculture irriguée.
- Les cartes des sols des périmètres de 1'O.N. doivent être interprêtées avec beaucoup de précaution. Elles ne sont pas aptes pour des observations ponctuelles, mais elles donnent plutôt une impression générale des types dominants de sol sur grandes superficies.
- Quelques propriétés des sols de l'O.N. qui sont souvent sous-optimales sont: compacité et dureté, alcalinité, sodicité, trop fort microrelief, fertilité basse, et localement sable mouvant.
- L'influence sur le rendemnt des conditions sous-optimales du sol est souvent masquée par l'influence des autres facteurs, y compris le facteur humain. Mais il est prématureé de conclure que le dévouement des paysan peut surmonter tout problème lié au sol.
- A fins de connaître l'importance relative des différentes contraintes sur la production il faudra intégrer les différents domains de recherche dans un programme de recherche sur le système complet de production. Ce programme comprendra l'agronomie, fertilisation, besoins et gestion de l'eau, agrométéorologie, pédologie, hydrologie, techniques culturales, enquêtes agro-économiques.
- Dans les rapports sur l'expérimentation agricole il faudrait toujours indiquer le type du sol concerné.
- Les sols des sites d'expérimentations doivent être caractérisés et cartographiés en détail.

- La compacité des sols doit être attribuée largement à la composition granulométrique (fine et hétérogène) des sols, ce qui est une propriété qu'on ne peut pas changer. D'autres facteurs qui contribuent à la faible stabilité structurale des sols sont la teneur très basse en matière organique (assez difficile à augmenter sensiblement), et localement l'alcalinité et la sodicité.
- Il y a probablement une tendance vers l'alcalininité dans l'évolution des sols de l'O.N. Pour obtenir une idée de la situation actuelle il faudra faire un inventaire systématique de pH des sols, y compris une prospection des endroits recouverts d'un salant noir.
- Des amendements de gypsum sont nécessaire pour supprimer la sodicité dans certains sols. Pour être efficace un drainage profond est normalement exigé, ce qui es très couteux à installer. On pourrait aussi essayer si le gypsum a déjà un effet sans drainage profond artificiel.
- Pour une bonne compréhension des risques de salinisation et d'alcalisation et les rémèdes possibles il est nécessaire de connaître les mouvements de l'eau souterraine. L'installation d'un réseau de piézomètres est à prévoir.
- La qualité de l'eau d'irrigation est très bonne. Cependant, par l'évaporation dans l'absence de drainage profonde la concentration de sels dans l'eau peut être multipliée, si bien que la qualité de l'eau de nappe représente un risque d'alcalisation, surtout par la présence du sel sodium bicarbonate.
- L'introduction des variétés adaptées aux conditions alcalines est une option intéressante à rechercher.
- Dans les sols fortement alcalins une attention particulière doit être payée aux possibilités de fixation de phosphate et de carences en Zn, et une plus grande volatilisation d'azote appliqué comme urée.
- Les teneurs en N, P et K dans les sols de l'O.N. sont en général très basses.

- Les essais de fertilisation avec N et P sont à poursuivre dans la recherche à haut rendement et en milieu paysan. Pour l'interprétation des résultats il est nécesaire de connaître les autres facteurs qui ont influencé le rendement, comme le régime d'eau, le pH du sol, les sarclages, etc.
- Les conclusions du projèt GEAU sur les besoins en engrais peuvent très bien servir d'hypothèses d'un programme de recherche.
- La teneur en K dans les sols est bas, mais il est bien possible que la quantité totale de potasse livrée par le sol et par l'eau d'irrigation couvre au présent complètement les besoins de la culture.
- Des analyses foliaires peuvent être utilisées pour mieux apprécier les carences éventuelles en éléments nutritifs.
- L'emploi des matières organiques doit être consideré comme alternatif pour l'emploi des engrais chimiques industriels, et la bénéfice des matières organiques apportées doit être exprimé comme économie d'engrais. Mais il ne faut pas attendre une amélioration notable des propriétés physiques du sol dans quelques ans.
- L'alternance des conditions saturée et aérée dans le sol de rizières pendant la période de mars à août conduit probablement à pertes de matière organique par minéralisation accelerée et par pertes de l'azote appliqué comme urée.
- La nature des argiles est kaolinitique, ce qui implique une faible capacité de retenir des éléments nutritifs. D'autre côté une argile kaolinitique est relativement facile à labourer, parce que pas très collante.
- On n'a pas pu détecter des différences en minéralogie et en granulométrie entre les sols du Delta mort et du Delta vif. La seule différence semble être le taux en matière organique qui est le plus élevé dans le Delta vif.

- Le problème de sable mouvant peut être une raison pour abandonnner les zones concernées. Un inventaire est nécessaire pour former une idée de la localisation et l'étendue de ces zones. Il dépendra du résultat de cet inventaire si une recherche approfondie est justifiée.
- Le microrelief est un obstacle sérieux pour l'amélioration de la maîtrise de l'eau au niveau de la parcelle. Une meilleure maîtrise de l'eau aura un bon effet sur le labour du sol, la levée et la croissance de la culture, l'efficacité de l'engrais, la suppression de mauvaises herbes.
- En général les payans ne sont pas capables de battre le microrelief et de point de vue technique il est mieux de faire le planage à l'aide des engins de terrassement.
- La mesure du pH dans le terain avec l'équipement de Hellige a donné des lectures plus basses qu'au laboratoire. Cette mesure n'est pas assez précise pour un inventaire systématique. Il est mieux de mesurer le pH dans une suspension du sol en eau (1:2) au laboratoire. On peut également monter le dispositif nécessaire sur une voiture (labmobile).
- Le laboratoire de la DRA à Niono a besoin d'entretien et de renforcement. Il est souhaitable de l'équiper pour des analyses de la physique du sol, du pH et de la conductivité électrique. Ces types d'analyse nécessitent des appareils relativement simples, tandis que le nombre et la masse des échantillons sont souvent grands.
- Il est recommendé de confier des analyses spécialisées (chimie du sol, analyse foliaire) à un service national des sols comme le laboratoire de la Sotuba à Bamako.
- Il serait utile de réunier tous les documents concernant la zone de l'Office du Niger, et quelques documents d'intérêt général dans un bibliothèque/cartothèque au sein du projet ARPON.

- Il est recommendé d'établir et de tenir à jour une archive de toutes les fiches des laboratoires des sols avec les résultats d'analyse et avec une indication précise des lieux de prélèvement.
- Il serait utile de standardiser l'emploi des noms géographiques employés.
- Pour une meilleure estimation de la texture par toucher aux doigts il sera utile de disposer de quelques échantillons de référence au centre de Niono.
- L'étude "Ressources terrestres au Mali" par le PIRT est trop sommaire en matière des sols pour fournir une base pour la planification des futurs périmètres de 1'0.N.
- Cette mission van Diepen a tiré beaucoup d'information pédologique dans les rapports et documents de Dabin, Toujan, GEAU et BEAU et il a pu y ajouter ses propres observations. Cependant la perspective sur les sols de l'O.N. est loin d'être complète et il y a encore trop de conjectures et lacunes dans la connaissance des sols de l'Office du Niger.

7. Bibliographie

- Ayers, R.S. 1976. Interpretation of quality of water for irrigation.

 Pages 221-240 <u>in</u> Soils Bulletin 31, Prognosis of salinity and alkalinity. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- BEAU, 1981. Rapport d'études. Besoins en eau au niveau arroseur. Riz Canne à sucre. Office du Niger, Ségou, Mali. Dépt. d'Irrigation et Génie Civil. Univ. Agricole Wageningen, Pays-Bas.
- Bertrand, R. 1974. Les systèmes de paysages des plaines inondables du delta vif du Moyen Niger (Mali). Une application de la cartographie morphopédologique en vue de l'aménagement hydro-agricole. L'Agron. trop. 29, no 2-3, p. 154-211.
- Bouyer, S. et B. Dabin. 1963. Etudes pédologiqes de delta central du Niger. L'Agron. Trop. 18, no. 12, p. 1300-1304.
- Centre de Formation Agricole. Texte du cours. Bloc 3, Le Labour Sujet 1, Le sol/les sols de l'Office du Niger, 11 pp.
- Commission de Pédologie et de la Cartographie des Sols (CPCS), 1976. Classification des sols, édition 1976. ENSA, Grignon, France, 87 pp.
- Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. FAO Soils Bulletin 38/2. FAO, Rome, 100 pp.
- Dabin, B. 1951. Contribution à l'étude des sols du Delta central nigérien. L'Agron. trop. 6, no 11-12, p 606-637.
- Dabin, B. 1954. Les problèmes d'utilisation des sols à l'Office du Niger. Page 1165-1176, Doc. 92. 2me Conf. Interafr. des Sols, Léopoldville 1954.
- DGIS. 1984. Rapport de la mission bilaterale d'évaluation pour l'Office du Niger. Texte provisoire. La Haye, Pays-Bas (en néerlandais).

- Eschenbrenner, V. 1977. Inventaire des études pédologiques effectuées dans le bassin du fleuve Niger (Bénin, Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Mali, Niger, Cameroun et Tchad). O.R.S.T.O.M., Paris, 159 pp.
- FAO-Unesco. 1975. Carte mondiale des sols. Vol. I. Légende. Unesco, Paris, 62 pp.
- GEAU, 1984. Rapport d'études du Projet Gestion de l'eau, Tome III, Expérimentation Agricole. Office du Niger, Ségou, Mali-Dépt. d'Irrigation et Génie Civil. Univ. Agricole Wageningen, Pays-Bas.
- Groupement d'Etudes de Recherche pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (GERDAT) 1980. Le phosphore dans les sols intertropicaux: appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore, Publ. Scientifique 2. Inst. Mondial du Phosphate (IMPHOS), Paris, 48 pp.
- International Land Development Consultants (ILACO). 1981. Agricultural Compendium for rural development in the tropics and subtropics. Elsevier Scientific Publ. Company, Amsterdam, ISBN 0-444-41952-7, 739 pp.
- Mehta, K.K. 1983. Reclamation of alkali soils in India. Oxford & IBH Publ. Co. New Delhi, India, 280 pp.
- Ministère de la Coopération. 1980. Mémento de l'agronome. 3ème ed. Min. Coop. Paris, 1600 pp.
- Office du Niger. 1947-1963. Cartes des sols (nature et microrelief) à 1:20.000. Bureau des Etudes Générales. Ségou, Mali (voir Eschenbrenner pour la liste complète).
- Office du Niger. Dossiers bibliothèque Nos 191 et 202. Service de Documentation, Ségou.
- Office du Niger. 1984. Plan triennale.

- Office du Niger, 1981. Plan d'ensemble à l'échelle 1/200.000. Projet de Réhabilitation de l'infrastructure hydraulique de l'Office du Niger. Esquisse du plan directeur hyraulique. SOGREAH.
- Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT), 1983. Ressources Terrestres au Mali-Atlas. Rapport technique, Annexes. Min. Dév. Rural, Bamako Mali. Société TAMS, New York, USA.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley Intern. Publ. John Wiley Sons. New York. ISBN 0-471-75200-2. 618 pp.
- Sombroek, W.G. and I.S. Zonneveld. 1971. Ancient dune fields and fluviatile deposits in the Rima-Sokoto River Basin (N.W. Nigeria). Soil Survey Papers 5. Soil Survey Inst. Wageningen, Netherlands, 109 pp.
- Stroosnijder, L. 1982. La pédologie du Sahel et du terrain d'étude. p. 52-71 dans: Penning de Vries, F.W.T. et M.A. Djitèye (Editeurs), 1982. La productivité des paturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Research Rep. 918. Pudoc, Wageningen, Pays-Bas.
- Toujan, M. 1980. Evolution des sols irrigués. Office du Niger, Rapports 320546 R23 et R29, SOGREAH Ingénieurs Conseils, Grenoble, France.
- USDA Soil Survey Staff (1975). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agr. Handbook 436. US Dept. of Agric. Washington DC 754 pp.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA Handbook 60, 160 pp.
- Viguier, P. 1949. Note sur la prospection des terres à aménager dans le Delta central nigérien. Communic. 69. Conf. Africaine des Sols, Goma, 1948. Bull. Agric. Congo Belge, 15 no 1, p. 877-886.

ANNEXE 1. LES DIFFERENCES EN RENDEMENTS INDIVIDUELS, CAS DE KL2

Introduction

Le rapport de la mission d'évaluation (1984) contient deux cartes des exploitations dans le partiteur KL2 sur lesquelles sont indiqués les rendements individuels en 1982-83 et 1983-84, les deux premières campagnes après le réaménagement. Sur une superficie totale de 450 ha il y a environ 75 exploitations.

En 1983-84 les rendements individuels se situaient entre 870 et 3400 kg/ha (paddy), ces extrêmes étant réalisées par deux colons voisins. Cependant, la carte montre qu'en général les rendements les plus bas et les plus hauts sont concentrés dans des parties bien distinctes à l'intérieur du partiteur, et la mission d'évaluation se demande alors si ces différences sont dues aux sols ou aux groupes des paysans. Le pédologue a essayé de donner une réponse à cette question. Il a fait une étude au bureau, suivie par une reconnaissance sur le terrain et il a discuté avec le personnel malien et néerlandais du projet qui connaissent le partiteur.

Etude de bureau: Le niveau général des rendements

Beaucoup de chiffres sur des rendements par zone, par secteur, par exploitation et par année circulent dans les rapports divers. Parfois ces chiffres ne sont pas compatibles, en tout cas on ne sait pas comment il ont été établis. Dans ce contexte il est peut être prudent de ne pas attacher un grand intérêt à un seul chiffre à forte déviation d'autres, comme par exemple le rendement individuel maximum de 3432 kg paddy/ha dans le KL2, et le minimum de 866 kg/ha.

Une meilleure perspective sur les chiffres est obtenue par la présentation dans le rapport GEAU (page C25) par un graphique du niveau de rendement par exploitant contre pourcentage cumulé des exploitants. Le graphique montre que dans le KL2 en année 1983-84:

50% des colons ont produit plus de 1900 kg/ha (rendement médian) 50% des colons ont produit entre 1550 et 2250 kg/ha (rendements entre les seuils de franchissement de 75 et 25%)

80% des colons ont produit entre 1180 et 2800 kg/ha (rendements entre les seuils de franchissement de 90 et 10%)

Il est à remarquer que le rendement moyen dans le KL2 était de 2075 kg paddy/ha. La différence entre rendement moyen et médian s'explique par le fait que les rendements par hectare des grandes exploitations (6 ha et plus) sont supérieurs à ceux des petites exploitations (3 ha).

Pour juger l'effet du réaménagement il ne faut pas comparer seulement les rendements avant et après réaménagement, mais il faut aussi faire la comparaison avec l'évolution de rendements dans le zones non-réaménagées.

Etude de bureau: hypothèses

1. Relation rendement - unité de sol

Selon l'ancienne cartographie les sols Danga et Dian sont les plus répandus dans le partiteur KL2. Il semble que les sols Dian sont un peu plus productifs que les sols Danga, mais la relation n'est pas très nette. Il en va de même pour les unités qui avaient un microrelief accusé selon la carte des sols: ces unités semblent être un peu moins productifs, mais l'effet n'est pas très net. Les autres unités (Moursi, Séno) ne représentent que de petites superficies sur la carte.

2. Relation rendement-arroseur

Le groupement des arroseurs selon les rendements donne le résultat suivant:

- L'ensemble des arroseurs 1g, 2g, 3g, et 4g (1154 ha) a donné un rendement moyen de 2.48 tonnes/ha.
- Le rendement de l'arroseur 4d (36 ha) se situe au même niveau, 2.50 tonnes/ha.
- L'ensemble des arroseurs 1d, 2d et 3d (133 ha) a donné un rendement moyen de 1.98 tonnes/ha.
- L'ensemble des arroseurs 5g, 6g et 7g (119 ha) a donné un rendement moyen de 1.87 tonnes/ha.
- Le rendement de l'arroseur 8g (39 ha) n'a été que 1.42 tonnes/ha.

 Dans l'optique du projet ARPON cette hypothèse n'est pas valable,

parce qu'en principe la maîtrise d'eau doit être la même pour tous les arroseurs. Cependant on peut imaginer que des différences existent entre arroseurs en ce qui concerne le fonctionnement des ouvrages la hauteur d'eau dans les canaux, et le respect du rôle d'eau. C'est peut être un facteur à suivre.

3. Relation rendement - distance entre village et champ

Les champs les plus éloignés se situent à environ 3 km du village, et le parcours est pénible pour mener une charette. On peut donc imaginer que les exploitations éloignées sont moins entretenues que celles proches au village. Ceci semble le cas dans la moitié gauche (arroseurs g) du KL2, mais pas au côté droit. Le personnel du projet estime l'importance du facteur distance minime par rapport aux autres facteurs humains comme la motivation du paysan, et les moyens disponibles. La distance est toutefois une facteur à étudier dans plusieurs casiers pour avoir des données permettant de calculer la rentabilité d'amélioration des voies d'accès dans les périmètres.

A titre de comparaison on peut noter que, dans les zones exondées, mieux accessibles que les casiers rizicoles, les paysans construisent souvent des cases saisonnières dans leurs champs de mil, situés à des distances de 6 à 12 km de leur village. Ceci indique qu'une grande distance gêne le suivi de la culture.

4. Relation rendement - moyens - taille de l'exploitation

La superficie rizicole du KL2 est de 441 ha partagée par environ 75 exploitations, dont la taille varie de 1.5 à 24.0 hectare. La taille moyenne est de 5.9 ha. Un classement des exploitations par taille donne 1 petite de 1.5 ha, 30 de 3 ha, 20 de 6 ha, 7 de 9 ha, 6 d'entre 11 et 15 ha et 1 de 24 ha. Les 10 autres sont de taille intermédiaire variant de 45 à 10 ha. Normalement les plus grandes exploitations sont le mieux équipées, surtout en boeufs de traction. Si on admet que la présence d'au moins deux pairs de boeufs est souhaitable pour assurer le bon déroulement des travaux du calendrier cultural on peut attendre les plus hauts rendements sur les exploitations relativement grandes. La situation dans le KL2 semble confirmer cette hypothèse: les rendements

moyens par groupement d'exploitations de la même taille sont calculés comme suit (1983-84):

- 27 exploitations de 3 ha: 1703 kg paddy/ha
- 20 exploitations de 6 ha: 1854 kg paddy/ha
- 7 exploitations de 9 ha: 2714 kg paddy/ha
- 7 exploitations de plus de 10 ha: 2380 kg paddy/ha

Le dernier groupe cultive une superficie totale de 104 ha. Deux choses à vérifier sont 1. est-ce qu'il existe une relation entre rendements et moyens disponibles comme boeufs, charrues, terres et 2. est-ce que la taille d'exploitation est un bon indicateur pour la disponibilité des moyens en général. Inversement, on pourra déterminer pour chaque type d'exploitation avec un niveau technique donné la taille optimale.

5. Relation rendement - personnes actives

Dans les statistiques on fait une distinction entre personnes actives (PA) et travailleurs-homme (TH). Il est évident qu'une relation doit exister entre le nombre de personnes activement engagées dans la riziculture et le rendement par exploitation, en combinaison avec les moyens disponibles et l'expérience des paysans. Dans l'absence de données cette hypothèse ne peut pas être substantiée.

Dans le but de juger l'aptitude relative des sols pour le riziculture on pourrait employer le niveau du rendement par travailleur (kg paddy par TH ou par PA) à côté du niveau de rendement par unité de surface (kg paddy/ha), pour chaque combinaison de type de sol et d'exploitation.

Reconnaissance de terrain

Le pédologue a parcouru le KL2 dans le but de chercher des relations entre rendements par hectare et les propriétés de sol. C'était dans la période de derniers labours, du semis, de la levée et du stade de plantule. Le jeune riz pousse comme en culture pluviale, sans irrigation, et il est souvent gêné par la prise en masse de la surface, où, en séchant, se développe une couche à structure de béton, difficilement pénétrable pour les racines et peu perméable pour l'eau.

Ce phénomène joue prèsque partout, quoique dans différents degrés de gravité. Les sols sablo-limoneux sont plus problématiques que les sols argileux.

D'autre propriétés apparamment défavorables sont une couche sablonneux en surface, peu fertile, un microrelief mouvementé, obstruant une bonne répartition d'eau sur les champs; une teneur basse en matière organique; ou un salant noir, probablement du soude, appelée parfois abusivement potasse. On peut y ajouter l'alternance des conditions saturées en eau et déséchées, entrainant des pertes d'azote.

Toutefois, l'absence ou la présence des propriétés défavorables des sols ne sont pas reflétées dans les rendements par hectare obtenus par des exploitations individuels. Il est possible qu'on trouvera des relations entre type de sol et rendement par traitement statistique de grands nombres des exploitations. Mais travaillant à l'échelle d'un seul partiteur et des exploitations individuelles on peut seulement observer que:

- les sols ne sont pas du tout homogènes à l'intérieur d'une exploitation, il y a de varations à courte distance, qui prêtent aux champs de culture un aspect hétérogène par des variations en densité et en hauteur des plantes. Les conditions défavorables se manifestent souvent par endroit, mais les différences en rendements par endroit sont masquées si on prend le rendement moyen sur toute l'exploitation.
- Les différences en productivité entre paysans sont plus grandes que les différences entre sols, si bien qu'un paysan peut obtenir un meilleur rendement sur un mauvais sol que son voisin sur un bon sol.

Mais on va un peu trop loin si on tire la conclusion que le facteur sol ne joue pas encore sur le niveau de rendements, ou si on dit, qu'un même effort (en termes de travail et d'intrants) conduira au même résultat sur n'importe quel sol.

La reconnaissance de terrain n'ayant pas donné des indications claires sur les causes de différences entre niveaux de rendements il est alors très intéressant d'apprendre les opinions du personnel du projet connaissant la zone, et d'avis des paysans mêmes.

Information du personnel du projet

En expliquant les différences en rendements individuels le personnel du projet met l'accent sur le facteur humain en premier lieu. On peut résumer leur argumentation comme suit:

- manque d'engagement, d'expérience, de motivation, de conscience professionnelle, d'esprit coopératif; mauvaise compréhension; pas très doué; mauvaise volonté; nouveau colon; quérelles dans la famille.
- Autres activités: hors casier (mil ou riz); artisanat (couture de boubous etc.); commerce; pêche; réligion (maître coranique).
- Manque de bras valides: maladie; décès; faiblesse; fatigue; absence des TH; petits enfants seulement; vieux ou très vieux même; trop grande superficie; travail par saisonniers (ou par élèves coraniques, selon le cas).
- Manque de moyens: boeufs faibles, non dressés, ou pas de boeufs du tout; il a vendu son engrais, mangé ses semences; trop de bouches à nourrir; la famine.
- Mauvaise condition des champs: dénivellation importante; buttes et bas-fonds; pas de sous-compartimentage; pas de sous-arroseur; prolifération de mauvaises herbes.
- Abandon d'une partie du terrain (résultat des facteurs précédents).
- Des retards: date de semis; épandage d'engrais.

Ce n'est qu'en deuxième instance qu'on reconnaît l'influence du facteur sol:

- le sol est bon, argile (type Moursi), meuble, mais le paysan ne s'adonne pas au travail.
- Ce sont des sols hétèrogènes, mais les meilleurs sols dominent, bien planés, mais le paysan n'a pas travaillé.
- Sol sableux, mais avec ses moyens le paysan peut faire mieux.
- Sol sableux, néanmoins un bon rendement.
- Sol argileux, et le paysan est un bon producteur.
- Il y a un sel noir sur 2 ha (sur 15 ha total).
- Il est le plus gros travailleur, cependant le rendement n'est pas très élevé.
- C'est un sol un peu difficile, durci, et le diga (une mauvaise herbe) a joué sur le paysan.

Information des paysans

Il serait très bon de laisser la parole aux paysans, mais dans le cadre d'une courte mission il n'est pas possible de les enquêter d'une façon détaillée. On ne peut pas attendre que les paysans, parlant de soi-même, vont dire que ce sont leur efforts qui font défaut. Les quelques échanges de mots entre pédologue et des paysans donnent déjà une idée de leurs points de vue en matière du sol et de l'eau:

- l'eau ne vient pas assez;
- hier, c'était encore mouillé, ajourd'hui c'est déjà trop dur, la charrue ne peut pas entrer dans le sol;
- le sol est trop dur même pour arracher les mauvaises herbes;
- le riz ne veut pas pousser ici;
- le sol n'est pas bon ici, c'est le sable;
- dans l'année il vient le potasse (sel noir, tchin-tchin fiment).

ANNEXE 2. INVENTAIRE DES ETUDES PEDOLOGIQUES (Eschenbrenner, ORSTOM, Paris, 1978)

Figure 16 - Légende

PERIMETRES DE L'OFFICE DU NIGER (O.N.)

1 - SYSTEME HYDRAULIQUE DU KOUROUMARI

TO THE PERSON NAMED IN COLUMN TWO IS NOT THE PERSON NAMED IN COLUMN TWO IS NAMED IN

- O.N. 1948 Carte des sols de la région de SOKOLO à 1/10.000.
- O.N. 1950 Carte simplifiée de la nature des sols au 1/50.000 ; (2 planches).
- O.N. 1950-51 Station expérimentale de KOGONI. Carte des sols (nature et microrelief) à 1/20.000.
- O.N. 1951 Casier de KOGONI. Nature du sol et microrellef à 1/20.000.
- O.N. 1951-53 Distributeur de KOGONI. Canal principal de SOKOLO. Carte de la nature du sol à 1/20.000.
- O.N. s.d. Casier de SOKOLO. Carte de la nature du sol à 1/20.000.
- O.N. 1954 Casier de SOKOLO. Quartier de BANIVI. Carte pédologique simplifiée, Zones coton riz à 1/20.000.
- O.N. 1954 Casiers de KOGONI et SOKOLO. Carte de la nature du sol au 1/20.000.
- O.N. 1959 Casier de KOGONI. Carte pédologique de détail à 1/2.000 sur les parcelles ayant subi un planage en 1959.

2 - SYSTEME HYDRAULIQUE DU KALA INFERIEUR

- O.N. s.d. Carte simplifiée de la nature des sols du KALA Inférieur au 1/50.000.
- O.N. 1947 Casier de MOLODO. Carte des sols (nature et microrellef) à 1/20.000.

 Carte de boisement à 1/20.000.
- O.N. s.d. Casier de MOLODO. Quartier de MOLODO Nord et FABA. Carte pédologique à 1/20.000., 3 coupures:
- O.N. 1947 Casier BLANC. Nature et microrelief du soi à 1/20.000.
- O.N. s.d. Casier BLANC. Carte des sols à 1/20.000.
- O.N. 1953 Casier BLANC. Quartier de NIONO, nature du sol à 1/20.000.
- O.N. 1954 Casier BLANC. Quartier RETAIL. Nature du sol à 1/20.000.
- 0.N. 1954 Casier BLANC. Nature du sol à 1/10.000, 2 planches 1, 11.
- O.N. 1954 Casier BLANC. Région des partiteurs N5 et N8, nature du sol à 1/10.000.
- O.N. 1958-59 Casier BLANC. Pédologie des parcelles superplanées à 1/2.000.
- O.N. 1963 Casiers de KOLODOUGOU et BLANC. Carte de la nature du sol à 1/20.000.
- O.N. 1954 Casier de N'DEBOUGOU. Carte de la nature du sol et du microrelief à 1/20.000.

- O.N. 1954 Casier de SIENGO. Nature du soi à 1/10.000, 2 planches.
- O.N. 1954 Casier de KOULA, Nature du sol à 1/10.000.
- O.N. 1963 Casiers de SIENGO, N'DEBOUGOU et PHEDIE. Nature du sol à 1/20.000.

3 - SYSTEME HYDRAULIQUE DU KALA SUPERIEUR

- O.N. 1948 Casier de KOLODOUGOU. Nature et microrelief du sol au 1/20.000.
- O.N. 1961 Casier de DOUGABOUGOU. Carte pédologique à 1/20.000.

4 - SYSTEME HYDRAULIQUE DU MACINA QUEST

- 0.N. 1947 Système hydraulique du MACINA. Nature et microrelief du sol au 1/20.000, 2 planches.
- O.N. 1947 Casier de BOKY-WERE. Nature du sol et microrelief à 1/20.000.
- O.N. 1955 Casier de BOKY-WERE. Nature des sols à 1/20.000.
- O.N. 1956 Casier de NIARO. Carte pédologique à 1/20.000.
- BERTRAND (R.) 1973 Cartes morpho-pédologiques de quelques plaines du delta vif du Moyen Niger à 1/50.000. Coupures DIAFARABE - DIAKERA et TENENKOU.
- DOUMBIA (A.) 1974 Carte morpho-pédologique de trois plaines du delta central du Niger à 1/50.000. (MACINA).

5 - SYSTEME HYDRAULIQUE DU MACINA EST

BERTRAND (R.) - 1973 - réf. id. anté. coupure : OURO MODI à 1/50.000.

6 - SYSTEME HYDRAULIQUE DU MEMA.

- O.N. s.d. Carte des sols de la région du MEMA à 1/100.000, 2 coupures.
- BELIME (E.) 1939 Carte des sols de la région du MEMA d'après les noms vernaculaires à 1/200.000.
- 7 SYSTEME HYDRAULIQUE DU KOKERI Pas d'études pédologiques
- 8 SYSTÈME HYDRAULIQUE DU FARIMAKE Pas d'études pédologiques
- 9 SYSTEME HYDRAULIQUE DU KARERI Pas d'études pédologiques

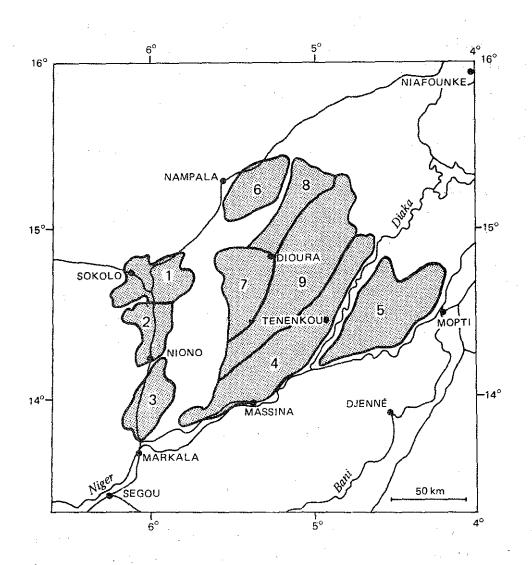


Figure 16 : BASSIN VERSANT DU NIGER AU MALI
PERIMETRES DE L'OFFICE DU NIGER (O.N.).

Annexe 3. Quelques résultats analytiques de l'ORSTOM en 1980. Couche superficielle seulement (0-25 cm)

Loca- lisation	No. prof.	Nom (1) sol	Argile	Poro- sité	Carb.	C/N	P ₂ 0 ₅		Catio	ons échans	geables			На
		1980	%	sec %	%		total ppm	ass. (2)	Ca	Mg me/100	K g	Na	Somme	eau
Kokry, K4	FO		11	42	0.19	10	180	15	1.8	1.2	0.14	0.03	3.2	6.4
Kokry, K5	SE	Danga	69	35	0.38	11	470	17	18.0	3.7	0.18	0.37	22.3	7.5
Kokry, K6	SA	Dian	54	49	0.66	10	1220	40	5.2	2.2	0.09	0.13	7.7	5-3
Kokry, K2	D1	Boi blé	72	43	0.68	10	940	. 25	4.8	1.9	0.15	0.38	7.3	5.6
Kokry, K2	D2	Boi blé	64	46	0.66	9	980	35	6.7	2.3	0.09	0.56	9.7	6.0
Kokry, K2	D3	Boi	65	39	0.68	11	1190	40	8.2	3.0	0.10	0.42	11.8	5.5
Molodo, M1	! M1	Dian	41	35	0.34	10	350	20	5.3	3.7	0.11	0.39	9.5	6.7
Molodo, Ma	2 M2	Seno	16	27	0.21	9	190	50	2.3	1.5	0.08	0.05	3-9	7.0
Molodo, M3	3 M3	Boi fin	45	31	0.29	11	200	15	12.7	4.5	0.17	1.40	18.8	8.2
Niono, N1	A	Moursi	59	32	0.31	11	360	20	14.3	4.2	0.20	0.74	19.4	8.1
Niono, G1	В	Séno	26	34	0.20	9	250	60	3.7	1.5	0.22	0.06	5.5	6.9
Niono, G2	С	Boi blé	35	31	0.08	6	190	25	7.8	4.5	0.11	1.34	13.8	8.8
Niono, G3	D	Moursi	78	33	0.41	13	510	18	20.2	6.0	0.40	1.48	28.0	8.5
Niono, N1	E	Seno fin	16	33	0.38	10	230	25	3.0	0.8	0.11	0.10	4.0	6.4
Niono, N1	F	Moursi	67	31	0.29	10	330	45	16.5	11.2	0.29	2.40	30.4	8.7
N'Deb. B3	7	Danga blé	20	35	0.16	7	270	18	2.7	1.5	0.11	0.06	4.4	6.7
N'Deb. B1	8	Boi	63	28	0.25	8	430	12	7.5	3.0	0.33	0.28	11.1	5.6

⁽¹⁾ Les noms composés donnés par Toujan sont ici simplifiés

Source: rapport Mission Toujan, 1980

⁽²⁾ Phosphore assimilable selon méthode Olsen - Danin

ANNEXE 4. ETUDE "RESSOURCES TERRESTRES AU MALI" PAR LE PIRT

Portée de l'étude

Le Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT) a completé une étude des ressources naturelles à une échelle de reconnaissance (1:200 000 reduite au 1:500 000) de la moitié sud du Mali à parti du Sahara, soit 575000 km². Publiée en 1983, l'étude "Ressources terrestres au Mali" comporte trois volumes: I Atlas, II Rapport technique, II Annexes.

Le PIRT distingue 68 unités sol-végétation au Mali, dont une douzaine est retrouvée dans la région du delta. En matière des sols le PIRT s'est concentré surtout sur les aspects de classification des sols dans le système américaine, et sur les descriptions des unités taxonomiques, tandis que les données de base indispensable pour une évaluation du potentiel agronomique manquent le plus souvent. Pour toute la superficie prospectée seulement 18 profils de sols ont été analysés au laboratoire, dont un profil à Ke-Macina.

Cependant, l'étude PIRT permet de dégager les grandes lignes de l'ensemble physiographique où sont situés les périmètres irrigués de l'Office du Niger. L'étude contient aussi beaucoup de données sur le climat, l'hydrologie, la végétation, l'utilisation de terre, la démographie et l'agro-économie.

Les sols dans la région du Delta

Les sols des périmètres rizicoles existants sont tous placés dans l'unité Terres inondées à rizières (TI2), Tropaqualfs typiques. Les sols sont évoluées en alluvions de rivière, sont profonds, ont une texture moyenne ou fine. En dehors des aménagements le même type de sol est classé comme Terres hydromorphes (TH), qui constituent des Aquepts et Aqualfs, sols à mauvaise drainage sous conditions naturelles. D'autres sols d'origine fluviatile, mais un peu mieux drainés grâce à une position topographique légèrement plus élévée sont placés dans les unités des Plaines à matériaux limoneux fins (PL) ou à matériaux limono-sableux (PS) et sont classés comme Haplustalfs. En association

avec les plaines fluviatiles on trouve des complexes dunaires d'origine éclienne. Dans la région du Delta mort on distingue des dunes mortes (unité D5 Haplargids psammentiques) qui servent de pâturages, mais surtout des dunes aplanies érodées (unité DA5, Haplustalfs aridiques), communement employées pour la culture du mil avec une longue période de jachère.

Résumant, pratiquement tous les sols de la région sont profonds, et ont une couche superficielle d'une texture qui est plus légère que celle du sous-sol. Les différences entre les sols sont relatées à leur origine (fluviatile ou éolienne), à leur couleurs reflètant leur âge ou leur stade d'altération et leur drainage interne, et à leur texture (argile, limon, sable). D'autre différences concernent le régime hydrique. Dans les sols exondés l'aridité du climat augmente un allant au nord, comme montre le tableau 1.

Tableau 1 (Annexe 4). Début et durée de la saison agricole à divers seuils de probabilité pour Ségou et Kogoni.

		pr	obabilité e	n années poi	ur 100
		10	20	50 1	
Ségou	début	30/6	6/7	13/7	21/7
	durée (jours)	122	116	105	92
Kogoni	début	18/7	27/7	16/8	
	durée (jours)	92	80	54	

Source: PIRT, 1983.

La pluviométrie annuelle moyenne est de 702 mm à Ségou et e 491 mm à Kogoni.

Potentiel pour la mise en valeur des terres

Le PIRT a préparé une carte des aptitudes des terres à la base des unités sol-végétation. On a tenu compte des contraintes du milieu, pour leur utilisation agricole, comme des facteurs liés au climat (pluviométrie; c), sol (capacité d'emmagasinage; s), mauvais drainage (w), ou érosion (e), et les possiblités d'atténuer ces contraintes par mesures de compensation comme irrigation (i) et drainage (d).

Les classes d'aptitude de terre en termes de potentiel de production dans le cadre national sont comme suivant:

terres arables	terres non arables (pâturage forêt									
classe I très élevé	classe V	•	variables							
II élevé	V	I	faible							
III modérement élevé	V	ΊΙ	très faible							
IV moderé		III ·	nulle							

La carte étant établie afin de permettre de planifier les utilisations des terres au Mali, il est donc intéressant de connaître l'évaluation du potentiel agricole dans la zone de l'Office du Niger, en vue des extensions futures.

Le tableau 2 montre que les périmètres déjà realisés (TI2) sont placés dans la classe II, tandis que les sols apparamment analogues, mais hors des aménagements actuels sont jugés moins favorables pour la culture irriguée et placés dans les classes III et IV.

Tableau 2 (Annexe 4). Principales unités sols - végétation dans la région du Delta et leur classification.

region du Delta	er leur classifica	PTOII+
unité	classe	classification américaine
sol-végétation	d'aptitude	(soil taxonomy)
D5	VII cs	Psammentic Haplargid
DA5	IV c	Aridic Haplustalf
PL6	IV c	Typic Haplustalf
PL7	VI cw/III ci	Aquic Haplustalf
PL 9 Nord	IV cw/II d	Plinthic Haplustalf
PS2	IV c	Aridic Haplustalf
PS3	IV c	Ultic Haplustalf
TC1	VII sc	Cambic Cuirorthid
TH2	IV cw/III ci	Typic Tropaqualf
TH3	VI cw/IV wi	Aqualf-Aquept
тн6	VI cw/IV ci	Typic Tropaqualf
TH7	VI cw/IV ci	Plinthic Tropaqualf
TI2	V w/II wi	Typic Tropaqualf
TI3	V w/III wi	Typic Tropaqulf
TI4	VII ws	Typic Haplaquept
X6	VIII W	masse d'eau

Par example, la grande unité dans laquelle se trouvent les plantations de canne à sucre de Seribala et Dougabougou présentent peu d'intérêt pour la culture irriguée, selon l'étude de PIRT.

Malheureusement, le PIRT ne donne pas de raisons spécifiques pour le jugement de l'aptitude des unités individuelles. Notre conclusion doit alors être que l'approche du PIRT est trop sommaire pour en tirer des conclusions sur l'aptitude réelle des terres, ou pour identifier des zones promettantes pour la mise en valeur au sein de 1'0.N.

	Λ						<i>y</i>					- Add		(<u>) </u>					
1.S.M.SP	Modi		YE AR ic	184								Country	ma	li					
. Depth	Gravel		Partio	cte size o	distributi	ion(um in		ilt	clay	Water	Hq	1:2.5	CaCO ₃	sodicity ESP	salinity E Ce colle ulater	P Olsen	[. Matter	r
. cm	mm	2000 1000	1000 500	500 250	250 100	100 50	50 20	20 2	₹2	disp. clay	11,0	Kal	%	%	from EC 1:25 (m5/cm)		* C %	N %	
5 surface	وا	1.7	5.9	8.4	16.0	34.9	17.3	3.5	12.3		10.3	10.0		127	34.5	16.5	0.21		
6 2-25		1.4	5.3	7.5	13.7	32.6	16.9	4.5	18.2		9.9	9.7		gy	16.0	lo, i	0.24		
2 50-91	3	2.5	4.3	4.3	6.6	28.7	15.6	3.6	34.4		0.5	7.1		0	0.92	1.9	010		
8 0-7		1.7	7.0	13.2	24.2	23.1	12.5	5.9	12.4		5.5	4.1		0	0.75	6.4	0.41		
9 7-30		1.7	6.5	11.1	15.1	21.5	11.5	5.8	26.8		7.2	5,4		0	0.43	2.6	0.16		
ठ ० - इ		1.1	4.7	11,2	30.4	25.5	12.2	3.2	11.6		9.4	8.1	<u></u>	76	5.37	7.6	0.29		
1 10-30	<u> </u>	1.0	3.3	9.1	31.0	26.5	12.2	4.1	12.9		10.0	8.2		108	3.25	1.2	0.07		
22 0-5		1.4	5.0	5.9	28.8	27.3	12.3	4.2	15.0	<u> </u>	100	84		100	6.62	40.5 -	0.13		
3 20-4	0 19,4	1.8	3.5	4.0	4,8	9.0	4.0	16.5	56.5	ļ	8.9	7.7		14	1.46	1,3_	0.28	 	_
		<u>L</u>	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·								<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	1	*	<u> </u>	
							···	··									ندورر		
Excha	ngcable car	tions							↓ EC		⊏ 5თ°. 3თ	uts (Is	2) Wi	2/1000	જે	gual. Cl		\sim	
Sample	Ca	Ма	Na	K	SUM	CEC	CEC c	1.	B.S. *:2 mS/cm	ca	ma	Na	K	•		ч	JU4	104	; 4
no.				-{meq/100g	<u>,)-</u>	ن ک چینا رہے کا کہنا:	,		(%)			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			7		**************************************	ŗ <u>-</u>	٠ ٦
84-515	4.8	0.3	4.2	0.9	10.3	3.3	z 6.8	>	309 2.7	6 0.32	0.05	2.99	0.20	ļ	<u> </u>	~	~	XXX	1
-516	4.8	0.9	5.1	0.5	11.4	5.4	2.g.)	209 1.5	0.71	0.30		Orn			×	×	×	_
-517	8.1	2.3	0.0	0.1	10.5	10.1	2 g -	1	104	3 0.13	0.02	0.20	0.01	out of the same of	<u> </u>				-
84-518	2.0	0.7	0.0	0.2	2.9	3.5	13	2.	82 0.00		1001	0.07	0.02				1		1
-519	7.7	2.0	0.0	0.2	10.0	10.5	39.	2	95 0.0	006	0.02	0.05	0.01						4
84-520	1.6	0.4	1.6	0.2	3.8	2.1	ı 8.c	;	180 0.4		80.0	1-1-13-	0.05	-				XX	4
-521	2.0	0.5	2.5	0.1	5.1	2.3	17.8		224 0.2		0.13	1.57	0.01			.		-	1
500	3.2	0.5	2.8	0.1	6.6	2.8	, D 7	r	235 05	3 0.40	016	2.09	0.03		·	. j	- 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	X	+
-522 84-523	17.9		3.4	0.2	27.9	23.9	·		117 0.		81.0			į.	í	ž.	į.	i	ı

							<u> </u>	(.	<u>) </u>					((f	4					
) de	1.S.M.	SP	Mali		YE AR	1984								Country	Mal	<u> </u>					
			Gravel		Partic			ion(um in v				Water	Hq i	1:2,5	CaCO	sodicity	salinity	1 1	Orc	g. Matter	n e
ab.	. De	epth	>7			sand				ilt	clay	disp.			1 3	ESP	ECe	Olsen	* €C	N N	C/N
10.	1 .	n	mm	2000 1000	1000 500	500 250	250 100	100 50	50 20	20 2	(2	clay	H ₂ 0	KOL	7.	%	from EC 112.5 (ms/cm	א מינקקן	1/8	76	
9y- 5 52	(y =	. 15		_ 1.8	4.4	5.3	6.9	13.8	6.9	6.1	54.8		8.0	6.9		4	0.89	2.1	0.58		
		45		1.4	3.4	4.6	6.3	11.8	6.3		61.1		8.4	7.0		4	0.60		0.30	ŧ .	
<u>52</u>	7 ±	= 75		1.3	3.3	3.9	5.2	11.2	7.4		63.2		8.4	7.0		3	0.71	1.5	0.50	ì	1
52		105		0.7	2.4	3.2	4.4	11.5	8.7	5.0	64.1		3.1	6.7		2		5.0 -	0.30		1
4- <u>53</u>	₹ <u>8</u> •	-20		2.2	7.7	12.8	17.1	31.5	12.4	2.8	13.6		7.0	5.4		0	L I	2.6	0.32	.	
	29 20	t									,	1	7.3	5.5		0	0.50	· ·	020		
	30 20										!		6.9	4.9		0	0.40	7	021		
	.	10-50		4.8	5.4	4.5	6.2	21.7	11.8	5. 3	40.3		7.5	5.2		5-	0.20		0.16		
5	35 20	0-30		2.5	8.6	2.3	12.1	27.6	14.2	3 . i	22.6		7.8	5.3		30		6.7			
				<u> </u>	P					····		'	<u> </u> '		<u> </u>						
			·	·		·								·					*corr	·.	
	E	xchang	eable cat	ions		-					EC	1	er 306	ture .	12 (11.	2) W	ne/1000	8 34	ral. test		no3
	Sample	ż	Ca	Ms	Na	К	5UM	CEC	CEC cl.	B.S.	#2.5 mS/cm		mg	Na	k			~	÷		NOF
-	no.			·	-((meq/100s)-				(%)			اريار (1100			4	CL	- <u>SO</u> 1	Pa	100000
	84-524	4	13.2	4.6	0.7	0.4	18.9	17.7	32.3	107	0.25	0.25	0.12	0.39	0.02					-	
	-525		15.8	5.3	0.9	0.2	22.2	20.3	33 Z	109	0.17	0.24	0.11	0.37	LOOL	Managar - pagan - pagan					
	-526		16.2	5.9	0.7	0.2	23.0	21.9	34.6	105	0.20	022	ملاما	0.31	0.01			4	1		-
	-527		16.6	6.4	0.5	0.3	23.8	22.1	34.5	108	0.17	81.0	0.09	0.27	- 0.01	t product more even.	and form on the second		The second secon	Name of the Owner, which the Parks	
	84-528	3	2.4	0.9	0.0	0.1	3.4	3.0	22.0	113	1	0.05	1	i i	5				· ·	,,,-	1
	-52 9)	4.5	1.5	0.0	0.2	6.2	5.7		110	0.05	10.11	0.03	الاها	0.02				· - }		
	-530	ð	3.2	2.0	0.0	0.2	5.4	5.6		96	P0.0	004	0.02	ــــــــــــــــــــــــــــــــــــــ	1001	£	-		***************************************		
	-531	i	4.9	2.4	0.4	0.2	7.9	8.8	21.8	90	1	1007	3	i -		3					
	-532	2	2.0	1.2	1.2	0.1	4.5	4.0	17.7	112	0.08	81.0	0.13	0.34	0.01		Idano	a Not	delectak	ble	
																	1000				

	1	Gravel		Partici	le size di sand	stribut#	ion(um in v	-	ilt	clay	Water	pH	1:2.5	CaCO ₃	sodicity ESP	salinity ECe ratalated	P. Glsen		. Matte	ır
• Dep сп	\	>? mm	2000 1000	1000 500	500 250	250 100	100 50	50 20	20 2	(2	disp. clay	H ₂ 0	KSI	7,	%	From GC 1:2.5 (m5/cm	ppm	* C %	N %	
3 5 mr	الحدو		2.8	6.7	7.8	9.0	24.2	16.1	4.8	28.5		5.3	4.1		2	0.57	1.8	1,11		
34 54	ırfale		2.7	6.0	6.4	11.5	18.6	14.9	12.6	27.3		6.6	4.9		н	0.71	3.8	0.84		
	crface		3.2	6.3	6.6	11.5	16.7	16.7	12.1	26.8		6.3	4.6		13	0.36	3.7	0.01		
1	ا دا د		3.7	3.2	5.3	9.6	13.3	6.9	14.9	43.1		6.2	4.5		2	٥٤		0.66		
	-10		0.5	0.6	1.4	2.6	3.4	5.4	14.4	71.7		6.1	4.4		2	0.28	6.2	0.76	1	_
30 10-	-25		0.7	1.0	1.5	2.3	2.8	4.4	10.8	76.5		6.0	4.4		2	0.21	7.4.	1.09		
18 0	2-10	<u> </u>	1.7	5.0	8.7	14.0	21.9	14.3	6.7	27.7		8.2	7.5		0	1.78	2.2	0.61		
			1							,] .			
		<u> </u>	4							,		<u> </u>		<u> </u>			╽ .	1	1	
			<u></u>			 						<u></u>				<u></u>	\\	*corr	1	÷
			<u></u>									·						1,3	+	
Ex	xchange	eable cati	ions					-	-	EC		i Sol.	salts	(42)	me/1	so E	qual.	test		1
Sample		Ca	Me	Na	K	SUM	CEC	CEC cl.	. B.S	S. mS/cm				*			~ 4	~		
no.				-(1	me9/1009)	,		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	(%)		Ca	ma	Na	K	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		<u>u</u>	SO ₁	Pay	-
84-533		4.5	1.8	0.2	0.4	6.9	8.9	31.2	78	8 000	0.02	0.03	027	200				1		_
-534		4.4	1.5	0.7	0.5	7.2	6.2	22.7	117	- 10	0.5	90.0	0.30	0,05	ļ	and the second s	a para di terreta de la composicione de la composic	-		
-536		4.1	1.5	0.9	0.5	7.0	6.9	25.3	101	1000	020	0.12	0.44	20.0	_	. po ja principio de la companya de	حدي المراجعة المحادث والمتحادث		n ag a somithment and a something and a someth	
84-537		5.0	2.1	0.2	0.4	7.8	11.0	25.5	71		0.02	امره	40,07	10,01		. Japan San San San San San San San San San S	.,		rum forsenseminyapan	
-538		12.9	3.8	0.5	0.4	17.7	21.9	30.5	81		0.03				1					
-539		11.2	3.4	0.4	0.7	15.7	19.4	24.9		1 000	0.03	0.01	0.09	0.01	-	anges and a second and a second	s de est assertes part			
84~548		14.7	1.9	0.0	0.3	16.9	11.5	41.5	12	46 025	1 5 1.16	10	17	1	1	1	1	1		

Samuel and the second of the second	e i de		4			: 'A0	. 144,	ray in Markana	ari, ka	i va nie	1					4.2	i ejas	
741						- 88 				l					i			
4																•		
																1		• !
E ST								· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-		·					: 		
shinesh. Maee I							!			**************************************					,		ا أ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ	
no ha																	:	
12. X-XX						4			,			-						
Well.																		
Hem						1							[
		××	X	_		-			}				}					
Country	to to	×-2/2/	7X	13/6	1 ion	77											viana . z4i	
Glab																		
		-	-			_							<u> </u>	<u>!</u> 				
T and the state of	<u> </u>		1 (
Ouar	X-X	XX	12. L.X.	104 10	2 153 1	79									1			!
			-1.2			1			-				-					
					ļ				<u> </u>		<u>.</u>	ļ						!
									j									
XIX			_ +		 		1		ļ	i			 	 	1			<u></u>
						_							ļ <u>.</u>		! !			i
(98)	4-1	7 7	la + + +	4-4	+	+												
Chlor									<u></u>				1	 				
Koa													<u> </u>					
W. Mate.						1												-
Apple 1111	40-4	t 12	12-+ 12-+	7 7	1/2	ix												
10.17				12.10			logy								1			
5.6.	+++ +++	<i>† † † † † † † † † †</i>	<i>† † † † † † † †</i>	+++ +++	+++	122	Sand mineralogy					***						
ISM Depth							m pur		1			!						
	79 6		~ ~ ~	2 ~	-	-	SS		-			 						
Code Lab	715-	520	200	5228	550	276		Lab. no.										