

**ELABORATION D'UN PLAN NATIONAL D'ACTION POUR
LA GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS AU MALI**

ZONE OFFICE DU NIGER

Contrat n° Ref. N/L/N°00893/IER-DSAT/ du 15/12/99

C00
0251

RAPPORT PROVISOIRE

MARS 2000

BECIS

Table des matières

I. PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE

- 1.1.1. Données climatiques succinctes
- 1.1.2. Géologie – géomorphologie
- 1.1.3. Sols avant les aménagements des périmètres
- 1.1.4. Caractéristiques actuelles des sols

II. SYSTEMES DE PRODUCTION

- 2.1.1. Zone de maîtrise totale de l'eau
- 2.1.2. Zone de submersion contrôlée
- 2.1.3. Zone de cultures pluviales
- 2.1.4. Une évaluation des principaux impacts sur le système de production de ces différentes zones

III. NATURE ET DEGRE DE DEGRADATION DES SOLS CULTIVES

- 3.1.1. Les facteurs explicatifs
- 3.1.2. La sensibilité des sols à dégradation et superficies cultivées soumises aux différents types de dégradation
- 3.1.3. Classification des sols cultivés en catégories de problématiques agro-pédologiques

IV. BILAN DES ELEMENTS MINERAUX

- 4.1.1. Azote
- 4.1.2. Phosphore
- 4.1.3. Potassium
- 4.1.4. Calcium
- 4.1.5. Magnésium et Souffre
- 4.1.6. Zinc
- 4.1.7. Matière organique

V. SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

- 5.1.1. Mesures envisagées contre la salinisation et l'alcalinisation
- 5.1.2. Mesures envisagées en riziculture de submersion contrôlée et en zone exondée
- 5.1.3. Mesures de défense et de restauration des sols (lutte anti-érosive)
- 5.1.4. Ressources locales pour l'amélioration de la fertilité
- 5.1.5. Aspects institutionnels complémentaires à la mise en œuvre des technologies
- 5.1.6. Politique sectorielle et marco-économique

VI. ELEMENTS POUR UN PLAN D'ACTION

- 6.1. Actions technico-économiques comme réponses aux dégradations par alcanisation et sodisation
- 6.2. Actions technico-économiques comme réponses aux déficiences minérales – pauvreté des sols (Zones ON – ORS) submersion contrôlée – cultures pluviales
- 6.3. Actions technico-économiques comme réponses aux dégradations par acidification
- 6.4. Actions technico-économiques de CES/DRS pour lutter contre les érosion éoliennes et hydriques

ANNEXE

Termes de référence

I. PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE

L'Office du Niger, créé en 1932, avait pour but de mettre en valeur par l'irrigation, les terres alluviales du Delta mort en dérivant une partie des eaux du Niger en amont d'un ouvrage : le barrage de Sansanding communément appelé le barrage de Markala.

Actuellement les superficies mises en cultures irriguées par l'Office du Niger sont de 50 à 60 000 ha repartis suivant les systèmes hydrauliques : Kala inférieur, Kala supérieur, Kouroumari et Macina.

1.1 *Données climatiques succinctes.*

Les plaines de l'Office du Niger se situent dans la zone climatique sahélienne. Les précipitations y sont de l'ordre de 500 à 600 mm ; elles décroissent vers le nord. Elles sont concentrées sur une courte période de 3 mois environ (Juillet à Octobre). On distingue : une saison pluvieuse qui va de Juillet à Septembre ; une saison fraîche de Novembre à Février et une saison sèche chaude de Mars à juin avec une forte évaporation entre 6 et 11 mm/j (Projet Gestion de l'Eau, 1989)...

L'évaporation est très élevée (>2000 mm/an), elle excède très largement les précipitations. Du point de vue des cultures il faut souligner que les températures minimales sont inférieures à 20° C de Novembre à Mars. Ces basses températures sont peu favorables à la germination rapide et régulière du riz.

La fréquence élevée et la force des vents constituent d'autres faits saillants du climat de cette région avec toutes les conséquences du point de vue des consommations en eau et des risques d'érosion éolienne en période chaude.

1.2 *Géologie-Géomorphologie*

Les sols du Delta central sont formés à partir d'alluvions du Quaternaire reposant sur des dépôts plus anciens. L'essentiel des connaissances actuelles est dû aux travaux de R. Bertrand (1973 et 1985), J. Tricart, J.P. Blanck, R. Bertrand, B. Keita (1988-1989). Ainsi de grands ensembles géomorphologiques ont été formés par étapes successives correspondant aux effets des oscillations climatiques sur le régime hydrologique du Niger et du Fala de Molodo.

La région que l'Office du Niger met en valeur occupe une des marges du Delta intérieur du fleuve Niger. Ce delta est construit dans une région affaissée entre le Plateau de Bandiagara, à l'Est, et des régions à structure complexe encore pratiquement inconnues, à l'Ouest. Il s'agit, à première vue, d'une série de compartiments inégalement soulevés et gauchis, probablement séparés par des failles.

Cette tectonique influe de manière souvent déterminante la disposition du réseau hydrographique que les aménagements de l'Office du Niger tentent d'utiliser, soit pour amener l'eau (distributeurs), soit pour se débarrasser de celle qui est en excès ("collecteurs").

Des épandages alluviaux se sont mis en place dans les cuvettes occupant des compartiments affaissés. Les principaux ensembles se situent le long des défluenters recrusés plus ou moins en canaux de drainage.

Ces ensembles deltaïques sont constitués principalement de matériaux fins, imperméables, de sorte que seul un écoulement très lent (en raison de nombreux seuils sableux mis en place postérieurement) et l'évaporation permettent l'évacuation des eaux excédentaires.

1.3 *Sols avant les aménagements des périmètres.*

Avant les aménagements des périmètres irrigués, Dabin (1948) a défini les caractères des sols du Delta central nigérien, en rapport avec la végétation et leurs vocations culturales. Les sols ont été caractérisés en

langue vernaculaire bamanan. Ce sont : Séno, Danga, Danga blé, Danga fing, Dian, Dian-péré, Moursi, Boi fing et Boi blen.

1.4 Caractéristiques actuelles des sols.

Un certain nombre d'études récentes ont été réalisées avec divers buts et ont été traduites ou non par des cartes à des échelles allant du 1/10.000^e au 1/20.000^e

L'étude morphopédologique de 30 000 ha par Keïta et al distingue 4 grands types de sols dans le Kala inférieur à l'Office du Niger : les Moursi (22 %), les Dian (35 %) et les Danga (40 %) et les Séno (3 %). A des unités de sols correspondent des unités géomorphologiques : cuvette, Deltas d'épandage terminaux.

Les caractères communs à toutes les unités morphopédologiques sont les suivantes :

- la densité apparente des sols relativement élevée variant entre 1.4 et 1.8 entraînant un encroûtement superficiel (forte compacité, cohésion d'ensemble élevée et prise en masse);
- la teneur relativement faible en matière organique de tous les sols.

Les Séno et les Danga sous riziculture semblent les plus sensibles à la salinisation/alcalinisation mais les Moursi et les Dian sont les plus affectés en maraîchage (N'Diaye, 1990).

Les diverses études pédologiques évoquées plus haut avant et après les aménagements des périmètres ont mis en évidence l'existence et l'évolution de la salinisation et/ou de l'alcalinisation des sols.

On a distingué 3 grands types de sols, comme le montre le tableau n

Tableau n0 Types de sols dans la zone Office du Niger

TEXTURE	NOM LOCAL	LIAISON GEOMORPHOLOGIE
Sableux	Séno, Peu évolués d'apport alluviaux	Hautes levées alluviales, dunes
Limoneux	Danga, Hydromorphes minéraux Amphigley	Delta d'épandage terminaux, Petites levées
Argileux	Moursi, Dian, Vertisols grumosoliques ou non	Cuvettes de décantation

Source : B> Keita et Bertrand R. 1992

Ces unités morphopédologiques étudiées par IER (1990) donnent les caractéristiques suivantes :

UNITES ΔQ et $\Delta S1$: Sols sableux à sablo-limoneux ou appelés SENO, profonds excessivement drainés sont des sols totalement inaptes (classe d'aptitude N2 =Non apte) pour la riziculture irriguée suite au drainage excessif, à la texture trop grossière et à la fertilité naturelle médiocre. Dans le cadre de la diversification des cultures, ces sols pourraient être réservés à la culture du mil et particulièrement aptes au maraîchage avec la classe d'aptitude S1.

UNITE $\Delta S2$: Sols limono-sableux à sableux, passant à de l'argile entre 40 et 50cm de profondeur. Ce sont la plupart des SENO et/ou des DANGA très sableux et qui, sont marginalement aptes (Classe d'aptitude S3) à cause de la combinaison de la texture grossière en surface du drainage interne rapide et de la fertilité naturelle assez faible.

UNITE $\Delta L1$ et $\Delta L2$: Sols limoneux assez bien drainés passant à de l'argile entre 25 et 50 cm, 50 et 100cm ou plus de profondeur sont considérés des sols aptes (classe d'aptitude S1/2) suite à une combinaison de faibles contraintes liées à la texture, le drainage interne, la fertilité naturelle faible et leur sensibilité accrue à l'alcalinisation.

UNITES C1 et C2 : Sols argileux à drainage imparfait ont été classés comme des sols aptes (classes d'aptitude S1/2) au niveau actuel et demandant un assainissement par drainage profond. Ils sont alcalinisés.

II SYSTEMES DE PRODUCTION

La zone de l'Office du Niger peut être divisée en 3 grandes unités de production :

- Zone de maîtrise totale de l'eau (Zones aménagées)
- Zone de submersion contrôlée (ORS)
- Zone pluviale à cheval sur l'ON et ORS

2.1 *Zone de maîtrise totale de l'eau*

La zone de maîtrise totale de l'eau correspond aux secteurs irrigués de l'Office du Niger et qui couvrent les systèmes hydrauliques du Kala Supérieur, Kala Inférieur, Kouroumari et Macina.

C'est une zone de concentration de population à activités agricoles liées à l'irrigation. Elle couvre une superficie de 9740 km² avec une densité de 31.7 habitants/km².

Le système de production est dominé par la riziculture et l'élevage avec une tendance très nette vers le développement des cultures maraîchères de contre saison.

On observe en plus une diversification de cultures avec le développement de la culture du maïs et de la pomme de terre.

La zone comprend également les périmètres sucriers de SUKALA.

La pêche, la pisciculture et l'exploitation du bois y sont également pratiquées.

La pêche est pratiquée en plus des professionnels résidents par (Bozos et Somonos), par certains exploitants de la zone agricole. La pisciculture se développe dans le système d'irrigation

Le cheptel est évalué à 482 000 têtes avec une forte prédominance de bovins. 160 000 têtes de bétail appartenant aux exploitants de l'Office du Niger (agro-éleveurs)

Les superficies cultivées à l'Office du Niger ont augmenté de 3%/an et la production totale estimée de paddy aurait progressé de près de 11%/an, selon les données de campagne de l'Office du Niger.

La superficie totale irriguée cultivée en 1998/99 est de près de 59 600 hectares dont 89% en riz de l'hivernage et 3% en riz de contre saison.

Tableau 2 Évolution de la production et rendement du riz dans la zone de l'Office du Niger 1973/74- 1998/99

Campagnes	Superficie (ha)	Rendement Moyen (kg/ha)	Production (T)
1973/74	40 139	2 071	83 128
1974/75	40 774	2 109	86 000
1975/76	39 916	2 254	90 000
1976/77	39 567	2 385	94 400
1977/78	37 946	2 662	101 000
1978/79	36 557	2 899	95 000
1979/80	35 104	1 775	62 314
1980/81	35 589	1 977	69 290
1981/82	34 802	1 780	62 801
1982/83	35 181	1 607	56 524
1983/84	36 920	1 751	64 663
1984/85	38 154	1 680	64 086
1985/86	39 433	2 100	82 957
1986/87	39 910	2 205	88 011
1987/88	42 125	2 346	98 194
1988/89	43 352	2 253	97 796
1989/90	44 251	2 411	108 593
1990/91	43 872	3 280	143 938
1991/92	44 435	4 071	180 909
1992/93	43 700	4 300	187 910
1993/94	45 600	4 900	223 400
1994/95	44 950	4 600	209 978
1995/96	46 407	5 000	232 206
1996/97	47 984	5 290	246 112
1997/98	49 314	5 490	267 186
1998/99	49 680	6 000	298 123

Source : Maïga, A.S., 1994 et Direction Générale Office du Niger, 1999

Ces résultats encourageants sont liés en partie au comportement des exploitants face à l'utilisation des intrants, le paramètre de production qui a le plus évolué vers la hausse. La fertilisation minérale composée d'azote et de phosphate est la plus utilisée.

On constate dans l'ensemble de l'ON une augmentation significative de l'urée et en revanche une diminution du DAP.

L'augmentation de la consommation d'engrais a été très importante de même que l'utilisation de la fumure organique (0.93 t/ha en 1988/89 à 2.57 t/ha en 1998/99 ces dernières années. On note une progression encore plus forte du repiquage (4% en 1987/88 et 98% en 1998/99.

Tous ces éléments ont contribué à l'augmentation des rendements à tel point que le bilan de campagne 1998/99 fait apparaître une différence de 900 kg de paddy entre les casiers réaménagés et les casiers non réaménagés.

Les superficies maraîchères sont passées de 1307 ha pour la campagne 1994/95 à 3159 ha en 1998/1999 sur l'ensemble des zones de l'Office du Niger (y compris la zone de Bewani). Parallèlement la production est passée de 29429 tonnes à 75889 tonnes.

La culture de la canne à sucre au cours de ces 3 dernières années. une stabilisation des superficies en canne autour de 3900 hectares et la production est passée de 261 304 tonnes en 1988/1989 à 318556 tonnes de canne en 1998/1999.

2.2 Zone de submersion contrôlée

Elle appartient à la zone Bani Niger de (Tamani à Saro). C'est une zone à vocation agro-sylvo-pastorale. L'Office Riz de Ségou s'occupe de l'encadrement des plaines rizicoles en submersion contrôlée le long du fleuve Niger.

La submersion contrôlée est type d'aménagement hydro-agricole à maîtrise partielle de l'eau, basé sur le contrôle et l'épandage des eaux du fleuve ou des canaux dans les plaines.

Comparée à l'irrigation à maîtrise totale de l'eau comme le cas des zones aménagées de l'ON, l'approvisionnement en eau ne dépend pas du débit d'eau disponible en amont des périmètres, mais plutôt au niveau de l'eau par rapport au niveau du terrain dans le périmètre. Avec ce système, on parvient à une certaine sécurisation par un aménagement hydraulique approprié.

L'ORS couvre 34 000 ha en submersion contrôlée, 60 000 ha de zone de cultures pluviales et 600 ha de maraîchage le long du fleuve Niger et le long des canaux d'irrigation

Tableau 3. Surfaces aménagées en submersion contrôlée à Ségou

Zones	Surface brute (aménagée en ha)
Sossé Sibila	3000
Ké-macina	4000
Dioro	
Farako	
Tamani	

Tableau 4 Evolution de la production et rendement du riz dans la zone ORS

Campagnes	Superficie (ha)	Rendement (kg/ha)	Production (Tonnes)
1991/1992	12505	1021	12776
1992/1993	9123	1011	9227
1993/1994	9786	1040	10180
1994/1995	11785	1144	13556
1995/1996	19305	1273	24588
1996/1997	23519	1511	35530
1997/1998	24696	1647	40675
1998/1999	25781	1197	30861

Source : Direction Générale Office Riz Ségou, 1999

En riziculture de submersion contrôlée la production reste encore faible. Elle est tributaire du régime pluviométrique.

2.3 Zone de cultures pluviales

La spécificité de cette zone est qu'elle est peu peuplée d'une part à cause de la nappe au niveau des puits. Elle couvre 11036 km² avec près de 52000 habitants. Les surfaces cultivées sont de 11035 hectares. Les caractéristiques agro-écologiques de la zone permettent la production du mil, du sorgho sur des sols peu évolués, essentiellement sableux ou sablo-argileux. L'agriculture pluviale intéresse de moins en moins l'Office

du Niger a causes des aléas climatiques des attaques d'oiseaux granivores et des avantages comparatifs du système irrigué

Les cultures sèches constitue la presque totalité des surfaces cultivées, le maraîchage étant insignifiant. Les activités d'élevage sont les plus importantes pour les populations avec un cheptel évalué à 175 000 têtes (Etude du schéma Directeur d'Aménagement pour la zone de l'ON, 1999).

La matrice 2 donne les caractéristiques des systèmes de culture par zone

Matrice 2 : caractéristiques des systèmes de culture/Zone

Rubriques	ZONE	Riz	Elevage	Maraic	Cs	Maïs	Pisc	Bois	Autres		
	OFFICE DU NIGER	Cultures irriguées	Niono	E	E	M-E	-	F	M	M	F
Molodo			E	E	M-E	-	F	M	M	F	
NDébougou			E	E	M-E	-	F	F	M	F	
Kouroumari			E	E	M-E	-	M-E	F	F	M	
Macina			E	E	M-E	-	M-E	F	F	M	
SUKALA			F	F	M-E	E	M	F	F	M	
BEWANI			E	E	M-E	-	F	F	F	M	
Cultures pluviales			Nampala	N	TE	F	N	N	N	F	M
			Monimpe	TF	E	F	N	N	N	F	E
			Tenenkou	F	E	F	N	N	N	F	E
	Togore C	F	E	F	N	N	N	F	E		
OPERATION RIZ DE SEGOU	Submersion contrôlée	DIORO	E	E	F	N	F	F	F	E	
		FARAKO	E	E	F	N	F	F	F	E	
		TAMANI	E	E	F	N	F	F	F	E	
		SOSSE SEBILA	E	E	M	N	F		F	E	
	Cultures pluviales	KE-MACINA	E	E	M	N	F		F	E	
			N	E	N	N	N		F	E	
			N	E	N	N	N		F	E	
			N	E	N	N	N		F	E	

F : Faible - M: Moyen - E : Elevé - Cs : Canne sucre - Pisc : Pisciculture

2.4. Une évaluation des principaux impacts (atouts et contraintes) sur le système de production de ces différentes zones a été réalisée

1. Les atouts

La zone de l'Office du Niger présente des potentialités certaines pour son développement en général et en particulier pour la gestion de la fertilité des sols.

Elle dispose de nombreuses ressources (naturelles, humaines, animales). Les différents projets, réformes institutionnelles, les formes d'organisation des acteurs de la production et l'amélioration des systèmes de culture sont autant de facteurs qui augurent d'une bonne gestion de la fertilité des sols. Les principaux atouts en rapport avec la gestion de la fertilité des sols se résument comme suit :

1. Disponibilité de surfaces irrigables
2. ressources naturelles variées
3. potentiel de diversification
4. zones pastorales disponibles
5. disponibilité de ressources humaines qualifiées et organisées
6. conseil rural (URDOC, collectivités décentralisées)
7. réformes institutionnelles
8. existence de structures financières
9. organisation socio-professionnelle
10. existence d'un service de recherche
11. projet d'implantation d'une usine de bulk blending
12. projet d'installation des exploitants modernes
13. projet de création de fertilisants biopost

Le tableau n° 5 résume les différents atouts en fonction du type de zone (aménagée a maîtrise totale de l'eau, submersion contrôlée).

Zones	Atouts												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ZONES AMENAGEES													
Niono	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Molodo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
N'Débougou	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kouroumari	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Macina	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sukala	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bewani	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
O R S													
Dioro	X	X	X	X		X		X	X	X	X		X
Farako	X	X	X	X		X		X	X	X	X		X
Tamani	X	X	X	X		X		X	X	X	X		X

2. Les contraintes :

Les contraintes liées au maintien et à la restauration de la fertilité des sols à l'Office du Niger (ON) sont de plusieurs ordres et dépendent du système d'exploitation.

En zone exondée, le déficit hydrique suite à une irrégularité de la pluviosité, la faible valorisation des eaux de pluies et la faible intensification de la production sont les contraintes majeures de cette zone. De telle situation se traduit par l'extension des superficies avec son corollaire, la dégradation du couvert végétal par des défrichements incontrôlés.

Cette situation est aggravée par la mauvaise gestion des parcours et des pâturages.

La baisse de la fertilité des sols est liée à l'influence des facteurs climatiques (érosion) et à l'épuisement en éléments minéraux des terres sous culture.

La fertilisation minérale est inexistante et l'utilisation de la matière organique reste très faible du fait de sa faible disponibilité liée au mode de conduite des troupeaux (transhumance). Le bilan minéral effectué par sol (Veldkamp et al 1991) pour l'ensemble des sous systèmes de culture au Mali est négatif.

Les sols s'épuisent sous l'effet de la culture. Le mode traditionnel de restauration qui est la jachère a une durée de plus en plus courte sous l'effet de la pression démographique.

En riziculture de submersion contrôlée, l'irrégularité de la pluviométrie entraîne des irrégularités de crues et de décrues.

La baisse de la fertilité des sols en riziculture irriguée fait suite à la mauvaise gestion des cultures, à la dégradation des sols sous irrigation (alcalinisation, sodisation et salinisation) due à la mauvaise gestion de l'eau et aux propriétés souvent défavorables des sols dans un environnement climatique particulier (climat sahélien à forte évapotranspiration). Ces facteurs constituent des contraintes importantes pour la production et la productivité des systèmes irrigués : canne à sucre, riz et cultures maraîchères (CISSE, A.B et N'DIAYE, M. K 1998).

Si le déficit pluviométrique constitue une contrainte pour la riziculture en submersion contrôlée, le gaspillage de l'eau d'irrigation est une des causes principales de dégradation des sols en riziculture sous maîtrise totale de l'eau. En effet, des quantités d'eau nettement supérieures à la demande de la culture et du climat, entraînent une augmentation de la nappe phréatique favorisant des remontées capillaires importantes. Ainsi, les eaux se concentrent sur place et du fait de leurs spécificité géochimique elles deviennent sodiques et alcalines et aboutissent à la dégradation des sols.

A ces différentes contraintes, il faut ajouter la faiblesse de l'encadrement, de l'organisation paysanne, de la maîtrise du crédit agricole. Les contraintes liées à l'envahissement des adventices, aux dégâts des prédateurs, à la pression agricole (démographique et animale) et aux problèmes inhérents à la dévolution du foncier sont à prendre en compte.

En conclusion, les principales contraintes en rapport avec la gestion de la fertilité des sols en zone Office du Niger (ON) se résument comme suit :

1. pauvreté initiale des sols
2. baisse de la productivité des sols
3. dégradation des sols par sodisation / alcalinisation
4. dégradation des sols par acidification
5. érosion éolienne/ hydrique
6. mauvaise gestion de l'eau d'irrigation (gaspillage)
7. production optimisée de la matière organique
8. irrégularité des crues
9. faiblesse de l'encadrement
10. organisation paysanne
11. faible maîtrise du crédit agricole
12. adventices
13. prédateurs
14. pression agricole (démographique et animale)
15. dévolution de l'institution foncière

Le tableau n° 5 bis résume les différentes contraintes en fonction du type de zone (aménagée a maîtrise totale de l'eau, submersion contrôlée).

ZONES	Contraintes														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ZONES AMENAGEES															
Niono	X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
Molodo	X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
N'Débougou	X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
Kouroumari	X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
Macina	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
Sukala	X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
Bewani	X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
O R S															
Dioro	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X		
Farako	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X		
Tamani	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X		

III. NATURE ET DEGRE DE DEGRADATION DES SOLS CULTIVES

Le facteur inducteur du processus de dégradation physique et biologiques des sols est régi par les évolutions de la composante chimique de la fertilité des sols (principalement le complexe d'échange cationique et sa garniture cationique, les taux de carbone de phosphore et de bases) sont à l'origine et constituent. De ce fait, on prendra en compte les interventions portant sur le déterminant principal de ces évolutions pour la résolution de problématique d'entretien, d'amélioration voire de régénération de leur fertilité.

A l'Office du Niger, 3 grands types de processus interviennent dans la dégradation des sols : celui de la salinisation, (sodisation-alcalinisation), celui de l'acidification.

Les processus de salinisation, sodisation-alcalinisation sont essentiellement associés à la dynamique de l'eau dans le sol.

Le processus d'acidification principalement dans la zone de Macina est plus directement lié au cycle du carbone et aux caractéristiques du sol qui lui sont associées (MOS, CEC, Bases échangeables et pH).

Les interventions pour contrôler ces processus relèvent donc principalement de la gestion de l'eau et des caractéristiques hydrodynamiques des sols dans le cas de la salinisation, sodisation/alcalinisation, et de la gestion de la biomasse végétale (production, restitution au sol) et de sa minéralisation (transformation) dans l'acidification. Bertrand 1986, 1993 ; N'Diaye 1987, 1990

3.1 Les facteurs explicatifs

3.1.1. Dégradation par salinisation, sodisation/alcalinisation

A l'origine, les sols étaient légèrement acides parfois même acides (pH 5.2 à 6.4 Béline 1940) à tel point que des essais de chaulage dans la Zone de Macina (Bouyer et Dabin 1963 ; Dabin 1953) ont été réalisés pour corriger cette acidité. Par ailleurs ces terres étaient réputées non salines et non sodiques, quoique Dabin (1959) ait constaté un certain déséquilibre du rapport sodium sur calcium (Na/Ca).

Le développement des activités d'irrigation dans la zone de l'Office du Niger a produit une remontée générale de la nappe. Initialement, la nappe était à une cinquantaine de mètres de profondeur, elle est maintenant sub affleurante (Bertrand 1986, 1993 ; N'Diaye 1987, 1990, Vallès 1989). L'explication tient à un drainage naturel très faible (fraction de drainage l'ordre de 1/230, Barral, 1996), laissant l'évacuation des eaux se faire par drainage superficiel.

Par ailleurs, l'eau dans la zone est carbonatée sodique et présente une alcalinité « résiduelle calcique positive » c'est à dire que lorsque la calcite (CaCO_3) précipite, l'eau devient alcaline et son taux de sodium s'élève.

L'eau de ces nappes est souvent nettement sinon légèrement salée et l'eau d'irrigation oriente l'évolution des sols vers la sodisation et alcalinisation. En fait, les eaux du Niger ont une alcalinité résiduelle calcite positive (tableau 6). Avec ce minéral précipite en entraînant un enrichissement de la solution en sodium et un appauvrissement en calcium.

Tableau 6. Composition ionique (méq/l), alcalinité et alcalinités résiduelles calcite et gypse.

Rubriques	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	HCO ⁻ + CO ⁻	Alc.	Alc. rés. calcite	Alc. gypse
Fl. Niger	0.13	0.12	0.03	0.13	0.01	0.01	0.00	-	0.39	0.26	0.26
Djabali Nappe	0.97	0.55	0.99	2.95	0.96	2.13	0.04	16.08	2.37	1.40	0.73

En saison sèche des efflorescences salines blanches et noires (salant noir) apparaissent en surface et forment des taches dispersées sur l'ensemble des périmètres. Par ailleurs de nombreuses parcelles ont été abandonnées par les paysans tandis que d'autres ne donnent que des rendements très faibles en raison de la dégradation de la fertilité des sols.

3.1.2. Dégradation par acidification

Le processus d'acidification des sols du Macina correspond à la désaturation du complexe d'échange cationique. Cet appauvrissement en bases du sol résulte :

- De l'entraînement par les eaux de percolation des cations en équilibre dans la solution du sol (drainage modéré du à la proximité du fleuve Niger)
- de déficits chroniques dans les bilans en éléments minéraux entre les éléments apportés par les fumures et amendements et ceux exportés par les récoltes de culture de riz.

Cependant la baisse de fertilité (fatigue) des sols après plus de 50 ans de mise en valeur dans des conditions de mauvaise maîtrise technique peut s'expliquer par :

- L'absence de fertilisation organique et minérale, mauvaise maîtrise de l'irrigation et du drainage ;
- Disponibilité insuffisante en équipements agricoles et en intrants y contribue à des carences de potassium (IER-PRI, 1998) dans le village de Dar-Salam

Nous ne possédons pas de données sur le bilan du carbone à l'Office. Pour comprendre les pertes des éléments d'exportations minérales, nous nous sommes référés aux travaux de Pieri (*1989).

Tableau 6. Exportations minérales d'éléments fertilisants

Cult. Rdts	Exportations minérales Kg/ha d'éléments fertilisants											
	Récoltes				Résidus				Totales			
	P2O5	K2O	CaO	MgO	P2O5	K2O	CaO	Mg	P2O5	K2O	CaO	MgO
Mil-sorg (750 kg/ha)	5	5	0.5	1.5	3	37	9.5	8.5	8	42	10	10
Riz (2400 kg/ha)	14	8	0.5	4	3	68	9	6	17	76	9.5	10
Mais (1200 kg/ha)	6	7.5	1	2	2	20.5	9	7	3	31	10	9

C. Piéri. 1989. Fertilité des terres de savanes.

Par ailleurs, la situation géographique favorable du Macina est en partie liée aux possibilités d'évacuation d'une bonne partie de l'eau de drainage dans le fleuve Niger.

3.1.3. Dégradation des conditions climatiques dans les zones pluviales (ON et ORS)

C'est la dégradation des conditions d'alimentation en eau des cultures pluviales résultant :

- d'une diminution de la pluviométrie
- d'un raccourcissement de la durée de la pluviométrie
- d'une détérioration des états de surfaces qui sont à l'origine des ruissellement des eaux de pluies

L'encroûtement des sols dépend de la granulométrie des horizons de surface avec un particulier des limons.

La majorité des sols de la zone pluviale sont sableux à limono-sableux.

On peut dire que le coefficient de ruissellement est la gestion des résidus de culture. Or, l'exportation des résidus de cultures qui joue un rôle de protection des sols contre le ruissellement particulièrement dans la zone de l'ORS.

Par ailleurs dans cette zone de cultures pluviales, on utilise très peu d'engrais minéraux.

Ces sols d'une manière générale sont soumis à un décapage par déflation et à un encroûtement par ruissellement des horizons de surface.

La monoculture de mil exigeante et non accompagnée sans techniques culturales appropriées (association et Matière organique)

Les facteurs explicatifs et l'intensité des processus de dégradation dans la zone de l'Office du Niger et de l'Opération Riz Ségo (ORS) sont consignés dans la matrice 1 de l'annexe.

Matrice 1 Intensité des processus de la dégradation des sols cultivés par zone

Zones	Erosion		Acidification		Salinisation Alcalinisation Sodisation		P ₂ O ₅	Observation
	Éolienne	Hydrique	MOS	CEC	Nappes	Sols		
Niono	3-4	1	0*		4	4-5	1	
Molodo	3-4	1			5	4-5	1	*Déficiency en zinc, azote amenagé 0 et non amenagé 3
N'Débougou	3-4	1	0		4	4-5	1	
Kouroumari	3-4	1			3	3-4	1	
Macina	3-4	1	3	2	1	1	3	Carences K et S
ORS								
Dioro	3-4	1-2	3*	3	1	1	3	Rôle reserve utile
Farako	3-4	1-2	3*	3	1	1	3	
Tamani	3-4	1-2	3*	3	1	1	3	Carences N P K

Echelles

	EROSION	ACIDIFICATION	SODISATION/ALCALINISATION
0	Inexistant	Pas de problèmes	Pas de problèmes
1	Rigoles (traces)	PH acide Pas de carence en calcium	Efflorescences salines
2	Quelques ravines	PH acide Pas de carence en calcium	Efflorescences salines
3			Efflorescences salines blanches et noires
4	Nombreuses ravines		Efflorescences huileuses PH >8. Dispersion des argiles
5	Très forte toxicité (rigoles et ravines)	Déficiences K/Ca/Mg Toxicité Aluminium (Al) PH voisin de 4	Sols salins

3.2. La sensibilité des sols à dégradation et superficies cultivées soumises aux différents types de dégradation

Les travaux de Keïta en 1996 ont montré dans les sols à texture grossière en surface tels que le Séno. le Danga sableux que la mesure de pH et de conductivité électrique sur un extrait dilué suffisent pour diagnostiquer la sodisation et alcalinisation des sols.

Dans les matériaux argileux des cuvettes (Moursi et Dian), la présence d'une structure (fondue) permet le plus souvent de sortir de l'indétermination tout comme l'existence d'efflorescences salines à certaines saisons. Mais ce sont là des observations qualitatives, parfois subjectives notamment pour ce qui concerne la structure.

L'évaluation de ces surfaces dégradées est encore sujette à discussions en raison de la méconnaissance de valeurs seuils fiables, fidèles et surtout adaptées à la diversité des conditions locales. La traduction agronomique de cette dégradation est encore plus délicate par l'absence d'indicateur facile à relier à la fertilité. Les travaux de Keïta en 1996 ont conduit à identifier ces indicateurs d'une part, et d'autre part, d'en déterminer les valeurs critiques au-delà desquelles les sols se dégradent par sodisation et alcalinisation.

Keïta (1996) ayant mis en évidence une valeur seuil de l'ESP de 7% au-delà de laquelle on observe une forte dispersion des agrégats, les sols sensibles à une dégradation de leurs propriétés physiques. Il existe alors 2 groupes de sols bien différenciés : sols neutres à acides (pH de 4.7 à 7.0) non sodiques (ESP < 5% et sols alcalins (pH > 8.2) et sodiques (ESP > 7%).

L'inventaire des sols dégradés dans le Kala inférieur, Molodo. Niono Macina (IER, 1998) donne par rapport à la présence d'efflorescences saline, blanches et noires ou huileuses constatées par les paysans 50% des exploitants concernés dans le Kala Inférieur. La méthode est une enquête d'opinion dans le Kala Inférieur et le Macina et une cartographie à l'aide d'un conductivimètre électronique (EM 38) sur le périmètre de Bévani. La répartition des surfaces dégradées par zone est consignée dans le tableau 7.

On constate que les surfaces des taches de dégradation représentent 7.6% en moyenne des terres dégradées. La zone de Molodo vient en tête avec 13%, suivie de la zone de Niono 7% et N'Débougou 0.8%.

La prédominance des taches à Molodo s'expliquerait par le non réaménagement de la zone et aussi à cause de la proportion importante de sols sableux et sablo-limoneux.

La sensibilité des sols sableux à la dégradation, et l'impact positif du drainage comme moyen de contrôle de la remontée capillaire ont été mis en évidence par N'Diaye et al (1990).

La zone de Molodo n'étant pas encore réaménagée demanderait à être réhabilitée et des mesures d'accompagnement envisagées.

La zone de N'Débougou présente une prédominance des sols argileux des cuvettes. Ces sols Moursi et Dian avec leur teneur de calcium et leur capacité d'échange cationique élevée sont moins sensibles à la salinisation. Des mesures de restauration s'imposent quoi que réhabilitée.

La zone de Niono constitue la zone de transition entre Molodo et N'Débougou. Réhabilitée, elle est constituée autant de sols limoneux (Kolodougou) que de sols argileux (Gruber). A ce niveau des mesures à fois de restauration et d'entretien devraient être réalisées

Tableau :7 Répartition des surfaces dégradées par type de sol en (%) par zone

Types de sols	SURFACES DEGRADEES (%) PAR ZONES		
	Niono	N'Débougou	Molodo
Moursi	6.82	1.09	10.06
Dian	8.81	0.19	3.33
Danga	9.39	0.45	5.31
Seno	6.26	0.65	18.25
Boi	6.19	0.51	3.26
Boifing	6.49	0.37	45.47
Boiblen	2.25	0.71	12.07
Moyenne	6.90	0.8	12.90

IER Etude environnementale 1998

Tableau 8 : Estimation des superficies dégradées par "salinisation" par zone

	SUPERFICIE DES TERRES DEGRADEES (ha)			
	Niono	Molodo	N'Débougou	Macina
Superficie dégradée	832	1080	435	-
Superficie étudiée (ha)	1613.66	1079.35	2261.7	2502

L'analyse de ce tableau fait ressortir que les sols relativement sableux sont dégradés par sodisation (infiltration élevée dans les matériaux alimentant la nappe) et par voie de conséquence les sols argileux se dégradent par alcalinisation et/ou sodisation.

Dans le Macina, on constate que les sols sont très peu affectés par la salinisation (3% de la superficie totale). Les villages les plus atteints sont Goulan Coura avec 26% et Rasogoma avec 7.7% et Les signes sont encore très faibles (0.5%).

Cette zone du point de vue dégradation par salinisation nécessite que de simples mesures d'entretien, sa contrainte majeure étant l'acidification.

Dans cette zone, des mesures de restauration et d'entretien sont nécessaires.

Tableau 9. Répartition de la dégradation des sols suivant les casiers

	Kokry	Niaro	Boky Wéré	Macina	Béwani
% exploitation	26	40	48	27	8
% surface dégradée	1.7	2	8.2	3.1	0.5

Source : IER. Etude Environnementale 1998

Les différentes cartes établies par le projet ont été reprises pour digitalisation au Laboratoire Sol-Eau-Plante Sotuba afin de donner les surfaces exactes en fonction de l'importance des phénomènes de salinisation. Ces cartes ne sont pas encore disponibles (cf cartes).

L'étude morphopédologique de Keïta et al (1990-91) donne ici la répartition des différentes unités dans le Kala Inférieur (Niono, Molodo et N'Débougou).

Tableau 10 : Répartition des surfaces par type de sol dans le Kala inférieur (Keïta et al 1991)

Zones	REPARTITION DES SOLS (%)							
	C1	C2F	C2L	L2	L1	S2	S1	La
Niono	31	4	16	14	7	7	4	2
Molodo	12	6	8	26	34	10	4	0
N'Débougou	15	23	17	24	23	7	3	9
Moyenne	19	11	13	22	20	8	4	4

Par rapport à la riziculture les sols sont repartis en 4 grands groupes :

C1, C2F, C2L : Faible teneur en matière organique, sensibilité à l'alcalinisation et la sodisation, drainage difficile à contrôler, nappe peu profonde, très forte cohésion dans l'ensemble du profil, dégradation conséquente, pH élevé.

L2 et L1 Très peu de contraintes majeures, sensibilité à la sodisation

S2 et S2 Texture grossière, perméabilité relativement élevée, faible fertilité, alcalinisation et sodisation.

La zone de Kouroumari n'a été prise en compte par l'étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Néanmoins, les sols sont dégradés et par sodisation et par alcalinisation (N'Diaye, 1987 et Keïta, 1997). Cette devrait être réhabilitée.

3.3. Classification des sols cultivés en catégories de problématiques agro-pédologiques

Tous les sols apparemment peuvent être sodisés (Keïta, 1996). Ces sols dégradés se divisent en 3 groupes texturaux. Les sols sableux (Séno et Danga sableux), les sols limoneux (Danga 2 et 3) et les sols argileux (Dian et Moursi)

3.3.1. Les sols sableux

En général les sols de texture grossière sont les plus dégradés par salinisation. Il s'agit principalement des épandages deltaïques anciens (Danga blen et Séno), des épandages terminaux (Danga).

Par ailleurs, les taux d'infiltration sont souvent élevés et les réserves en eau utilisable limitées du fait de la texture grossière. Enfin ces sols sableux à sablo-limoneux montrent une grande sensibilité à la sodisation dont les symptômes (efflorescences de salant noir) apparaissent ici plus fréquemment qu'ailleurs.

La zone de Molodo qui n'est encore réaménagée est la plus dégradée car la majorité des sols affectés ont une texture grossière. Cela ne veut pas dire pour autant que ces sols soient condamnés car s'ils se sodisent facilement ils peuvent aussi être réhabilités plus aisément que les sols argileux ou limoneux.

On remarque, qu'en raison de ces contraintes parfois sévères en riziculture, ces zones à caractères physiques, hydro-pédologiques et chimiques défavorables sont en voie d'abandon. Toutefois, elles peuvent convenir à d'autres cultures que le riz (céréales, maraîchage, palmier dattier...)

Ces terres sableuses dégradées sont inaptes à la riziculture et par conséquent elles doivent être éliminées. Elles sont redevables de réhabilitation pour la diversification des cultures notamment le maraîchage avec contrôle strict des doses d'irrigation. Cela suppose à la fois la réalisation d'aménagements soignés et une discipline sévère de la conduite de l'irrigation qui impliquent une éducation et une responsabilisation des communautés paysannes et l'amélioration du réseau d'assainissement actuel

3.3.2. Les sols limoneux des d'épandages terminaux

Ces sols sont sujets à la dégradation par sodisation. Ce sont des sols limoneux passant à de l'argile entre 50 et 100 cm de profondeur et des sols limoneux passant à de l'argile entre 20 et 50 cm de profondeur.

Les premiers sont des sols limoneux très sensibles à la dégradation de la structure et de la porosité sous l'effet des submersions et/ou de la sodisation. Ces sols ont un rapport Na/Ca élevée et que la porosité et la stabilité des agrégats y étaient faibles.

Le second groupe sont des sols caractérisés par un régime où l'action du battement de la nappe devient de plus en plus évident mais où les conséquences de la submersion par les irrigations sont encore très marquées, est finalement une unité relativement hétérogène tant au point de vue modelé de détail que du point de vue granulométrie ou de celui des types de sols qui sont représentés (tantôt Danga 3 tantôt Danga blé argileux).

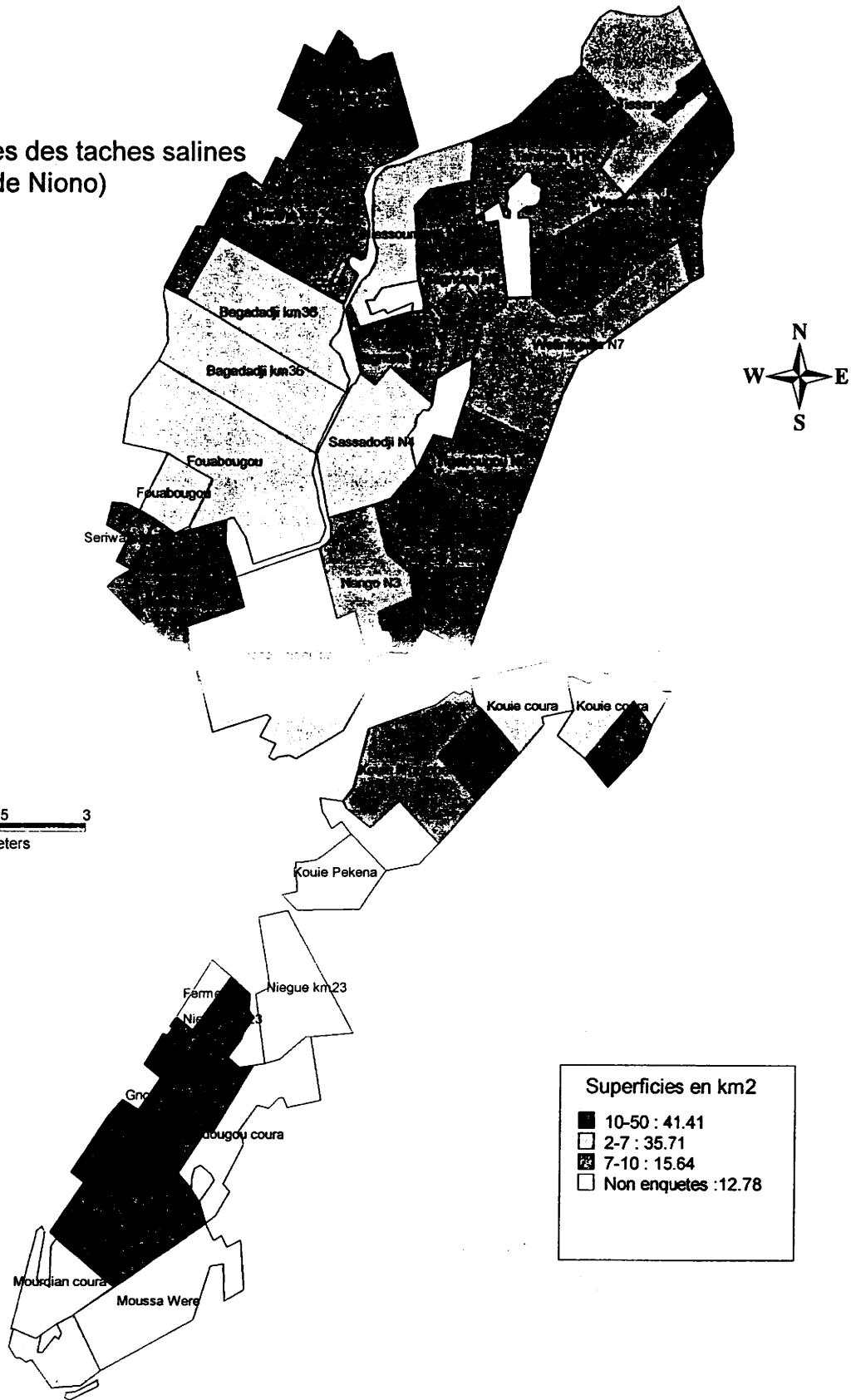
En définitive la présence localisée des facteurs limitants et d'un fort battement de la nappe avec ses conséquences d'alcalinisation et de sodisation relativement très apparente doivent être pris en compte pour la réhabilitation des terres.

En ce qui concerne tous ces sols des deltas d'épandage limoneux, on peut dire que la présence non pas générale mais très fréquente d'horizons argileux à une profondeur plus ou moins grande (50 à 100cm) a plusieurs conséquences :

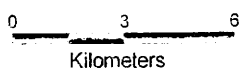
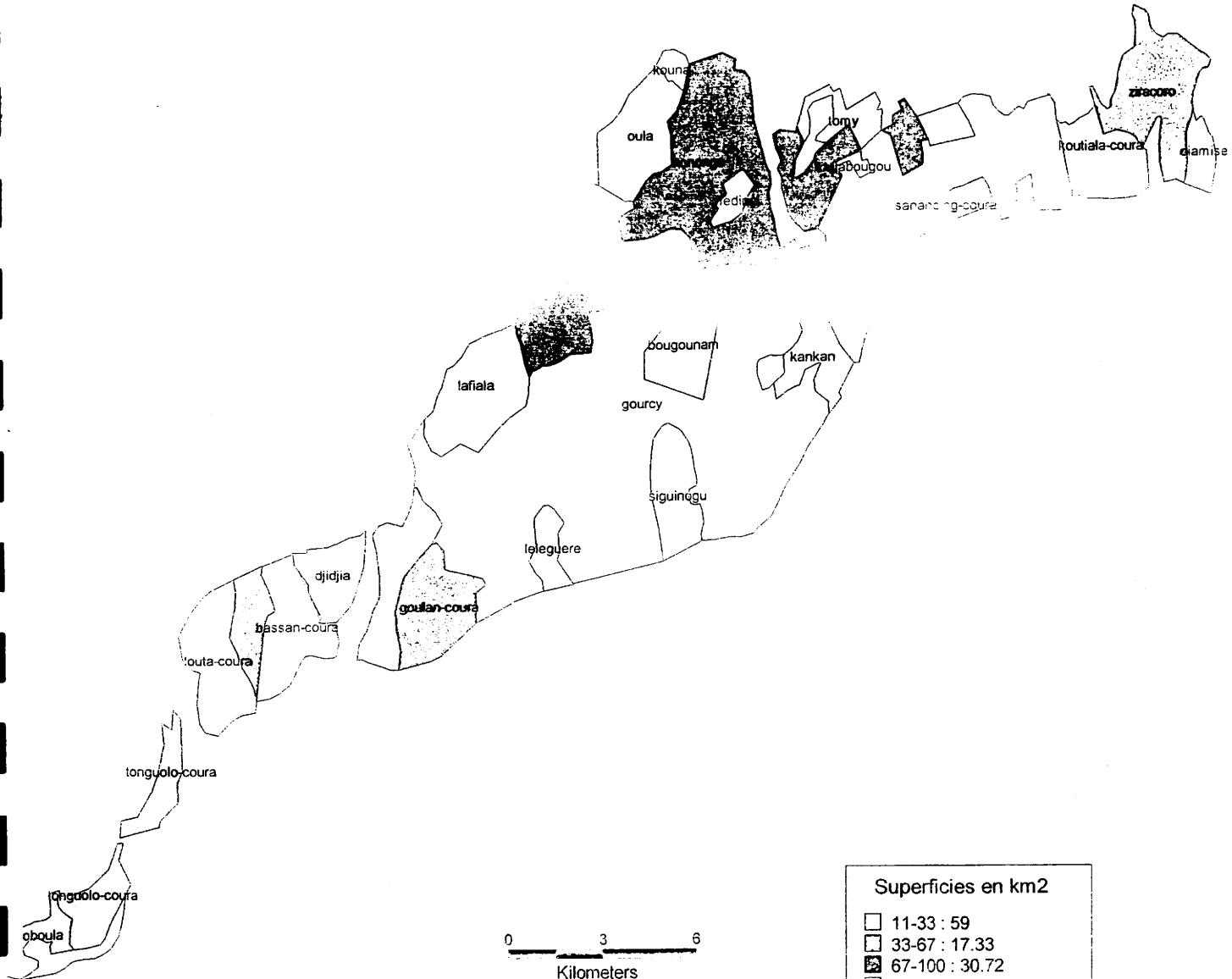
-en riziculture cet horizon imperméable permet de maintenir l'eau dans les rizières. C'est là un effet positif.

- dans le cadre de diversifications des cultures la présence de cet horizon imperméable risque de provoquer des engorgements d'une partie importante du profil. En limitant la profondeur d'enracinement cet engorgement conduit à accélérer les fréquences d'irrigations et, si l'on n'y prête garde, à provoquer des maladies et des troubles nutritionnels.

Superficies relatives des taches salines
(zone de Niono)



Superficie des taches salines (Zone de Macina)



Superficies en km2	
	11-33 : 59
	33-67 : 17.33
	67-100 : 30.72
	Non enquete : 128.95



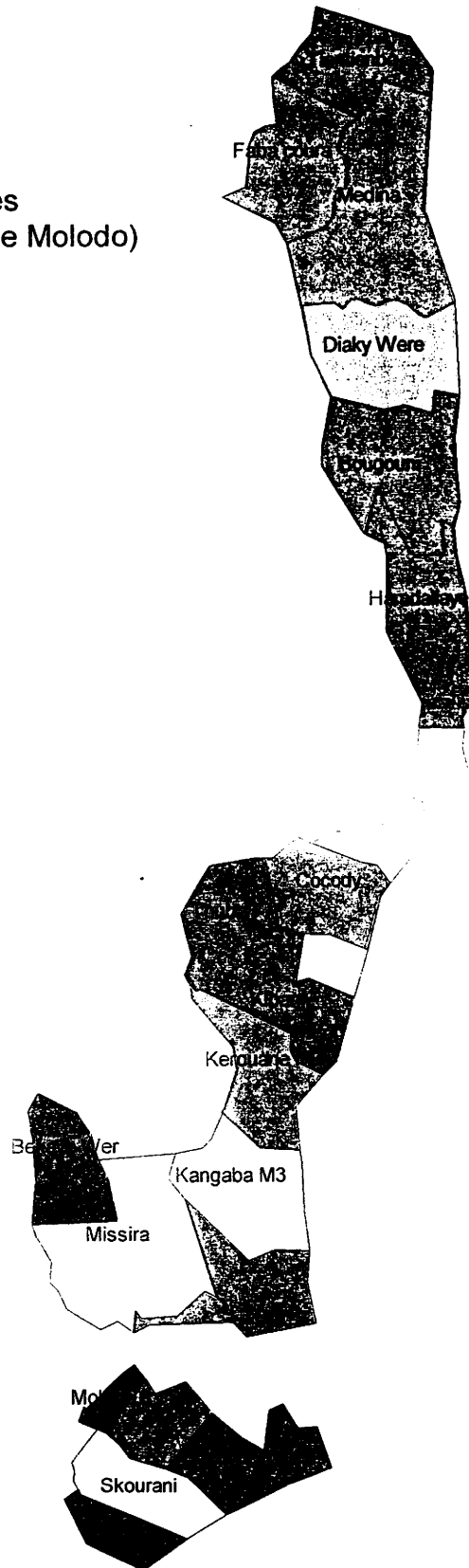
© LaboSEP / IER, 2000



Superficies relatives
des taches salines (Zone de Molodo)



0 2 4
Kilometers



Superficies en km2	
□	1-11 : 25.43
■	50-100 : 40.89
▒	14-50 : 39.77
▓	11-14 : 6.99



- dans la même éventualité et en fonction de la nécessité très probable qu'il y aura de drainer ces sols pour lutter contre la sodisation et la salinisation, la présence de cet horizon argileux (et souvent très épais) en profondeur compliquera singulièrement la conception des travaux de drainage.

Ces sols nécessitent des mesures d'entretien car ne présentant pas de contraintes majeures

3.3.3. Les sols argileux à limono-argileux (Dian et Moursi)

Ces sols sont affectés par une alcalinisation et/ou une sodisation évidente.

Pour les sols à pH élevés ($\text{pH} > 8$), cette alcalinité peut créer des problèmes de fertilité: diminution de la disponibilité de phosphore, plus forte volatilisation d'azote appliquée comme l'urée et apparition éventuelle de déficiences en micro-éléments notamment en Zn.

Quant à l'équilibre des cations du complexe, le magnésium est d'une façon générale très représenté sur le complexe absorbant soit 4..38 mé/100 g en surface et croît progressivement avec la profondeur.

Toutefois le calcium demeure toujours dominant puisqu'il représente pour les 3 horizons respectivement en moyenne 13,5, 14,2 et 15,2.2 mé/100 g de terre fine.

Le rapport Na/Ca est très élevé respectivement dans les 3 horizons 7%, 9% et 12%, faisant apparaître le phénomène de dispersion de l'argile malgré la teneur élevée de celle-ci et en conséquence entraîne une instabilité structurale du sol et une perméabilité très faible.

Toutefois, il ne faut pas en conclure que les Moursi sont des terres sodiques car les teneurs absolues en sodium sont encore faibles soit de l'ordre 3 à 6% de la capacité d'échange. mais les teneurs en calcium échangeable pouvant être faibles, la proportion de sodium par rapport au calcium peut être élevée.

La salinité de ces sols est faible étant donné que leur conductivité

Ces sols sont redevables d'amélioration de leur capacité de production.

A l'office du Niger, malgré la dégradation apparente des sols, on constate ces dernières années une augmentation globale des rendements en paddy (2 à 5 tonnes/ha). Cela tient essentiellement au fait que, de plus en plus, la technique de repiquage, dans les rizières submergées, a remplacé le semis direct. Submersion et repiquage permettent, dans les conditions actuelles, de limiter considérablement l'incidence de l'alcalinisation des sols sur la croissance et la production du riz. Mais l'utilisation du repiquage a des conséquences importantes sur la performance de la riziculture. La charge de travail par unité de surface, la pénibilité, le risque sanitaire (du fait des longues stations des paysans dans l'eau) ont beaucoup augmenté. En schématisant, on pourrait dire que la dégradation des sols a conduit à une modification substantielle du système de culture, une diminution des surfaces per capita, une augmentation des intrants et une aggravation du risque sanitaire.

Ainsi, est-il particulièrement intéressant de relier l'évolution dans le temps des caractères pédologiques et hydrologiques aux variations des performances de l'agriculture prises non pas dans le sens restreint et un peu simpliste du rendement par hectare mais étendu au système de culture et de ses conséquences économiques et humaines.

Quel peut être le rôle de la simple ou de la double culture du riz pour la prévention des processus de sodisation/alcalinisation? Les avis sont très partagés. Les simulations faites à l'université de Wageningen par Wijnja et Bruggenwert (1994) montrent que, même avec un drainage de 1350 m³/an les horizons de moyenne profondeur se salent et deviennent sodiques. De plus ces mêmes travaux font apparaître que, par rapport au cycle unique de riz annuel, la double culture du riz permettrait: (i) de retarder l'apparition de la sodisation, (ii) d'en minimiser la gravité et, (iii) d'abaisser la profondeur de l'horizon le plus dégradé. Ces simulations qui tiennent compte à la fois de la gestion de l'eau et des processus géochimiques peuvent être critiquées par leur prise de position du système de culture (simple ou double culture).

La gestion de l'eau paraît donc essentielle. Or, la sodisation et l'alcalinisation ont une grande influence sur les propriétés hydrodynamiques des sols. En s'alcalinisant les horizons de moyenne profondeur s'imperméabilisent et rendent de plus en plus difficile la percolation de l'eau dans le sol et par suite les possibilités de lessivage. La péjoration des propriétés chimiques se traduit donc par une dégradation des caractères physiques amorçant une baisse de fertilité qu'il est difficile d'inverser. Aussi, conjointement à la gestion de l'eau, faut-il tenter de contrôler les caractéristiques chimiques des sols soit par l'utilisation d'engrais acidifiants (chlorures, nitrates, sulfates) ou pour le moins à réaction neutre et soit par application d'amendements minéraux (gypse...) et organiques (fumier, compost...) susceptibles de corriger la sodicité ou l'alcalinité.

Par ailleurs, la réhabilitation actuelle des casiers rizicoles a considérablement contribué à la réduction du phénomène de dégradation des sols par sodisation/alcalinisation.

L'alcalinisation des sols a aussi des effets sur la dynamique de l'azote et sur la disponibilité de certains oligo-éléments. Ainsi, des carences induites en zinc ont déjà été constatées à l'Office du Niger. Mais ce qui est plus préoccupant ce sont les importantes pertes de l'azote des engrais bien connus dans les sols de rizières à pH supérieur à 8 (Sahrawat 1990). A l'Office du Niger les données de Veldkamp et Traoré 1990 semblent montrer que ces pertes seraient de 38% (par volatilisation et dénitrification) auxquelles il faut ajouter des pertes de 7% liées à la circulation des eaux d'irrigation et 20% par lixiviation, soit au total 65% de pertes. Cet aspect à des incidences économiques immédiates qui pourraient limiter considérablement les possibilités d'intensification de la riziculture.

Une analyse du bilan des éléments minéraux des sols de l'Office du Niger a permis d'apprécier l'importance des déficits de ces éléments dans les sols dégradés voire en voie de dégradation par sodisation et alcalinisation. Ces éléments sont les suivants :

IV. BILAN DES ELEMENTS MINERAUX

4.1. Azote

L'azote est essentiellement apporté sous forme d'urée et en partie par le phosphate d'ammoniaque (DAP).

La dose d'apport varie de 200 kg à 400 kg d'urée.

Les pertes en azote sont estimées à :

- 7% des pertes dues à la gestion de l'eau d'irrigation (4-11 kg N)
- 13% des pertes par volatilisation (8-20 kg N)
- 25% des pertes par la dénitrification (19-42 kg N)

Les pertes par lixiviation sous l'action du drainage sont estimées à 24 kg N/ha.

Les pertes totales varient entre 55 et 97 kg N/ha avec une moyenne de 76 kg N. Les pertes concernent l'azote soluble apporté.

La réserve azotée du sol n'est pas sujette aux pertes. La dynamique de l'azote dans ces sols est une dynamique actuelle c'est à dire pendant la culture.

Le bilan de l'azote est encore équilibré, mais reste faible. En effet, le rythme actuel d'intensification de la riziculture (5 à 6 tonnes de paddy) exige la restitution de la paille ou le renforcement de la dose d'azote (constaté chez certains paysans). La maîtrise de l'eau d'irrigation et l'enfouissement de l'azote pourraient considérablement diminuer les pertes.

4.2. Phosphore

Le bilan du phosphore est positif à l'Office du Niger, avec un apport de 100 kg/ha de DAP pour un objectif de rendement de 5 tonnes et sans restitution de la paille (Veldkamp et al. 1991).

3.4.3. Potassium

Ce bilan est négatif en cas d'exportation de la paille. Le besoin en potassium dans la formule de fertilisation du riz à l'Office est confirmé par la recherche. L'intensification de la riziculture (5 à 6 tonnes/ha) sans restitution de paille est à l'origine de cette situation.

4.4. Calcium

Le bilan du calcium est positif. Les sols de type Dian et Moursi ont un taux élevé en calcium échangeable. Les sources d'appauvrissement sont : l'eau d'irrigation, la nappe phréatique et les eaux de pluies (Veldkamp et al, 1991)

4.5. Magnésium et Soufre

Malgré quelques résultats négatifs, le bilan du magnésium reste également positif. D'après Veldkamp et al, 1991, les réserves en Mg à l'Office du Niger sont importantes.

Quant au soufre, sa situation est mal maîtrisée à l'Office du Niger. Les réserves sont estimées faibles et le bilan montre une situation précaire.

4.6. Le Zinc

En riziculture irriguée et en condition d'alcalinisation la déficience en Zinc est bien connue. L'Office du Niger ne fait pas exception à la règle. Les sols Moursi et Séno sont les plus touchés.

4.7. La matière organique

La littérature disponible actuellement ne permet pas d'établir un bilan de la matière organique à l'Office du Niger. Cependant, l'effet de l'apport de la matière organique est sensible sur l'augmentation du rendement. Cinq (5) tonnes de fumier à l'hectare ou la restitution de la paille produite plus un complément minéral, semble maintenir les rendements et la fertilité des sols en simple culture de riz (CISSE et N'D'AYE) et Henk-Kieff et al, 1994, les applications de fumure organique sur le riz sont rentables et la seule contrainte de son utilisation est sa disponibilité.

Le bilan des éléments minéraux sont résumés dans la matrice ci-après :

Bilan carbone et éléments minéraux moyens annuels par zone

Matrice 5 Bilan minéral à l'Office du Niger.

Zone	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Matière Organique
Niono	P	P	N	P	P	N	N	NE
Molodo	P	P	N	P	P	N	N	NE
Ndebougou	P	P	N	P	P	N	N	NE
Kouroumari	P	P	N	P	P	N	N	NE
Macina	P	P	N	P	P	N	N	NE
SUKALA	P	P	N	P	P	N	N	NE
Bewani	P	P	N	P	P	N	N	NE
ORS								
Doiro	P	P	N	P	P	N	N	NE
Farako	P	P	N	P	P	N	N	NE
Tamani	P	P	N	P	P	N	N	NE

Equilibre

Positif >0

Négatif <0

Non Etudié

P

N

NE

V SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

5.1 *Les mesures envisagées contre la salinisation et l'alcalinisation.* Elles portent sur 3 points essentiels :

- a L'aménagement et la gestion de l'eau
- b L'amélioration du système de culture
- c L'information et la sensibilisation du monde rural

a. L'aménagement et la gestion de l'eau :

l'état de l'aménagement et la gestion de l'eau ressortent comme étant parmi les facteurs jouant un rôle prédominant dans le développement du processus de dégradation. Quelques dispositions pratiques simples peuvent être prises au niveau de la manifestation du processus de dégradation .

- Les réhabilitations

Elles visent à améliorer l'aménagement du réseau hydro-agricole et la gestion de l'eau. Sur les 50 000 ha aménagés, 20 000 ha environ ont été réhabilités. L'analyse de la faible performance des aménagements hydro-agricoles a fait ressortir la dégradation des réseaux comme une des causes essentielles de ces insuffisances.

Les types de réaménagements ont varié en fonction des bailleurs de fonds et des années mais ils gardent tous un caractère commun, qui est l'amélioration du réseau d'irrigation et de drainage. Les différences d'option essentielles se situent au niveau parcellaire, notamment le planage. Les travaux de réhabilitations ont permis de créer de meilleures conditions de maîtrise d'eau. Les importantes quantités d'eau gaspillées jadis ont été réduites.

N'Diaye et al. 1990 ont noté un impact positif au réaménagement sur la salinisation des terres. L'impact des réaménagements est d'autant plus grand que les zones non officiellement réaménagées font l'objet de travaux de compartimentage leur permettant d'atteindre des performances très appréciables souvent comparables aux zones aménagées.

Tous les changements techniques par rapport à la riziculture irriguée ont été possibles surtout avec la réhabilitation.

-Planage parcellaire .

Cette opération donne la possibilité de maintenir une certaine lame d'eau sur la parcelle faisant disparaître les effets de butte, évitant ainsi l'évaporation localisée, ce qui empêche les dépôts de sel.

-Réduction du niveau de la nappe phréatique.

Deux options se présentent : la fermeture des canaux pendant la saison sèche durant quelques mois pour permettre de faire baisser la nappe. La seconde plus difficile à réaliser consiste au bétonnage des canaux d'irrigation pour réduire sinon supprimer l'alimentation de la nappe par les canaux.

- Prise en compte des risques de dégradation de certains types de sol dans les aménagements.

Les sols à texture grossière (Sénos et Danga) sont reconnus comme étant les plus sensibles à la salinisation et à l'alcalinisation, avec un développement plus rapide. En plus des propriétés physico-chimiques favorables leur position topographique en rendant difficile l'irrigation (difficulté de submersion), entraîne une accentuation de l'évaporation et la remontée capillaire avec le dépôt de sels. Il serait souhaitable d'éviter lors des reamenagements de récupérer les zones hautes habituellement laissées au compte des cultures sèches, mais souvent cultivées par les paysans en riz au lieu du Mil, Maïs, Niébé ou reboisement.

b. Amélioration du système de culture :

- La double culture

La double culture du riz permet de retarder la sodisation en minimisant ses effets et en abaissant la profondeur de l'horizon le plus dégradé. Elle améliore l'intensité culturale en permettant l'exploitation de plus de surface par an. Malgré les surfaces réaménagées, la double culture reste une pratique très timide. Elle se pratique essentiellement dans les périmètres du Retail et ARPON. Le taux d'intensité culturale théorique recherché dans ces zones est de 1.25, mais l'on constate que les réalisations sont en dessous de cet objectif.

Les contraintes à la double culture du riz sont de plusieurs ordres :

- L'inadaptabilité du matériel végétal aux constantes photothermiques : basses températures en début de végétation et hautes températures en période de floraison.
- Les fortes pressions des oiseaux granivores.
- La gestion difficile du calendrier agricole.

Lorsqu'elle est réussie la production en double culture permet de créer une source de revenus prenant en charge les dépenses pour l'installation de la culture de saison et souvent couvrir certains besoins alimentaires de début de campagne.

Actuellement la problématique de la double culture se pose en terme de gestion ou partage de l'eau et d'impact sur la dégradation des sols par salinisation ou alcalinisation. Il reste certain que lorsqu'on ne fait pas une organisation spatiale de la double culture les gaspillages d'eau avec les conséquences sur l'alimentation de la nappe qui en découlent peuvent être préjudiciable à la durabilité du système.

- La pré-irrigation :

la pré-irrigation faite lorsque la nappe est basse permet un lessivage des horizons de surface alors que le drainage est encore possible. Les quantités transportées peuvent être améliorées par une double pré-irrigation.

- Introduction de variétés tolérantes de riz et d'espèces tolérantes en cultures maraîchères.

La réaction de la plante aux sels dépend de la variété et de l'espèce. le riz présente une certaine tolérance variétale qu'il serait judicieux d'exploiter (criblage variétal).

En culture maraîchère il semble que la fréquence d'irrigation nécessaire au développement des plantes soit corrélée à la tolérance des espèces maraîchères. La diversification des cultures avec l'introduction d'espèces de maraîchage adaptées est envisagée et des activités de recherche sont en cours dans ce contexte.

- Utilisation des engrais acidifiants.

Les amendements pour éliminer le sodium doivent, pour être efficace, être accompagnés d'un drainage, par contre certains ont, par leur réaction chimique, la possibilité d'acidifier les sols. Les engrais tels que le sulfate d'ammoniaque, le chlorure de potassium pourraient être introduits dans la fertilisation, l'efficacité du premier ayant déjà été montré, comme engrais azoté.

c. ^{formalis} Information et sensibilisation du monde rural.

Il est nécessaire d'informer et de sensibiliser les paysans sur les solutions technologiques disponibles permettant de lutter contre l'alcalinisation et la sodisation en assurant une meilleure gestion de l'eau et un meilleur système de culture.

5.2 Les mesures envisagées en riziculture de submersion contrôlée et en zone exondée (zone de l'ORS).

La contrainte principale au développement des cultures de la zone est le déficit hydrique dont les effets sont accentués par la faible valorisation des eaux de pluies. Cette situation conduit à un faible niveau de production surtout lorsque le matériel végétal utilisé est inadapté aux conditions de sécheresse et que l'utilisation des intrants est très faible.

La baisse de fertilité des sols souvent observée est liée à l'épuisement en éléments minéraux (déficiences minérales) et à l'acidification des terres.

Les principales technologies envisagées contre ces processus de dégradation portent sur les points suivants :

- la fertilisation des cultures : fertilisation minérale et fumier
- les mesures de conservation des eaux et
- les mesures de défense et conservation des sols

Fertilisation minérale des cultures :

La fertilisation minérale composée d'azote et de phosphore est la plus utilisée. La fumure organique, basée sur l'utilisation de divers matériaux organiques, a une expansion ralentie à cause de sa faible disponibilité.

l'azote

L'azote est essentiellement apportée sous forme d'urée et en petite partie par le DAP. D'autres engrais complexes sont utilisés. Les essais sur la source d'azote ont montré que les formes ammoniacales étaient les mieux indiquées (urée, sulfate d'ammoniaque) pour la riziculture.

Des quantités importantes d'urée sont employées dans la riziculture. En fonction des exploitants, la dose à l'hectare va de 200 Kg à 400 Kg.

Avant l'intensification, l'emploi de l'urée était de 50 à 100 Kg/ha. Le bilan azote en intensification n'est équilibré en cas d'exportation de paille qu'avec un apport légèrement supérieur à 250 Kg/ha d'urée, pour un rendement de 5 t/ha.

le phosphore

L'utilisation moyenne du phosphore est de 100 Kg/ha de phosphate d'ammoniaque. La libéralisation du marché a provoqué l'entrée d'autres types d'engrais. Avec un objectif de rendement de 5 000 Kg/ha, le bilan cultural pour le phosphore est positif, même si la paille est exporté.

L'utilisation du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) est faible, à cause de ses caractéristiques physiques défavorables et de son effet faible en première année.

La dose moyenne est 300 kg/ha lorsqu'il est utilisé.

le potassium

Le potassium a toujours été exclu de la formule de fertilisation du riz, même l'intensification n'a pas changé cette situation. De façon involontaire, avec l'utilisation des autres complexes, quelques kilogrammes de potassium sont épandus.

Les études récentes montrent que le potassium commence, dans certaines zones, à être déterminant dans l'amélioration de la production. Dans le Macina, l'apport de potassium à 60 K₂O/ha améliore de façon interactive avec le phosphore le rendement de 800 Kg/ha. Les recherches en cours montrent qu'il est nécessaire de commencer à penser à la prise en compte du potassium dans la politique de fertilisation, surtout qu'avec la compétition entre l'agriculture et l'élevage, l'exportation des pailles est très importante.

En effet le bilan cultural potassium pour un rendement de 5 000 Kg/ha est très déficitaire, lorsque la paille n'est pas enfouie.

le zinc

Le zinc est l'un des micronutriments dont la carence est très fréquente en riziculture. Le sulfate de zinc est l'engrais le plus souvent utilisé pour corriger la carence en zinc. Son apport est ponctuel.

L'accès au crédit est une condition essentielle pour une meilleure utilisation de la fertilisation minérale.

- le fumier

L'utilisation de 5 T/ha de fumier est recommandée mais les paysans arrivent difficilement à obtenir cette quantité. Les contraintes essentielles à l'utilisation de la matière organique sont la faiblesse des quantités produites et la disponibilité de charrettes pour le transport.

- Mesures de conservation des eaux.

En vue d'améliorer l'alimentation hydrique des cultures et d'assurer une meilleure gestion des eaux de pluie dans des zones à forte irrégularité du climat comme dans la zone de l'ORS, l'accent a été mis sur l'intérêt des principales opérations culturales visant la protection et la préparation du sol.

Les techniques de protection du sol

L'agressivité des pluies en régions sub-sahariennes du fait de leur forte intensité conduit généralement à une destruction des agrégats et à la formation de croûtes de battance qui limitent considérablement l'infiltration des eaux de pluie (Casenave et Valentin, 1989). Pour réduire l'effet de battance et conserver l'état initial du sol (rugosité, propriétés hydrodynamiques, caractéristiques structurales), deux techniques de protection du sol peuvent être retenues: le paillage et la couverture végétale du sol.

Le paillage

Le mulch pailleux permet de protéger le sol en limitant le ruissellement et l'évaporation à partir de résidus végétaux laissés sur le sol en couverture.

L'efficacité du paillage pour une bonne protection contre la pluie dépend de la quantité de résidus culturels laissée sur le sol. Pour obtenir une bonne protection, une quantité d'au moins 8 tonnes de paille de mil ou sorgho par ha serait nécessaire (Chopart et al., 1976, cités par Vlaar, 1992). Par contre pour ces cultures, une bonne récolte de 1500 kg (graines) peut seulement fournir environ 4 t/ha de paille. D'autre part, dans la pratique peu de paille reste sur les champs, la paille étant soit utilisée pour des besoins domestiques, soit consommée par le bétail en saison sèche.

Les fascines en débris végétaux

Les fascines sont une des techniques de CES/DRS (Conservation des Eaux et Sols/Defense et Restauration des Sols) les plus vulgarisées au Mali pour la protection contre l'effet érosif des eaux de ruissellement. Elles consistent en un dispositif (alignement) de pieux, de branchages et de résidus de récolte en amont des champs de culture, facile à réaliser et nécessitant peu de main-d'oeuvre. Elles conviennent aux zones où les pierres sont rares. Elles permettent la végétation des zones érodées et la fermeture des rigoles par le dépôt solide emporté par les eaux de ruissellement.

Le gros problème avec les fascines est l'entretien annuel obligatoire, car les branchages sont attaqués par les termites. Par ailleurs, l'utilisation des branches comme matière première est controversée en raison des possibilités de mutilation et même de déforestation.

La couverture végétale du sol

L'existence d'une couverture végétale vivante sur le sol réduit le ruissellement et son impact dépend du type de formation végétale présente. C'est ainsi que par rapport au sol nu, la quantité de terre érodée a été réduite de 40% pour les céréales, 20% pour un niébé rampant et 5% pour une savane brûlée, selon une étude conduite au Burkina Faso (INERA, 1992).

Si la protection du sol en surface n'est pas réalisable, il est possible de lutter contre la destruction de la structure du sol en maintenant une rugosité de surface qui réduit le ruissellement. De nombreuses techniques culturales existent pour cela.

Travaux de préparation du sol

Le labour

Le travail du sol avec retournement (labour) augmente la porosité globale des horizons superficiels, quelles que soient les conditions de sa réalisation (Nicou et Lemoigne, 1990). Cet accroissement de la porosité globale, qui peut paraître faible (10 à 20%), a des conséquences très importantes sur le

développement du système racinaire des cultures annuelles. Ce développement du système racinaire a des conséquences très favorables sur l'alimentation hydrique et minérale de la plante. La décomposition après la récolte d'un chevelu racinaire plus développé a aussi une importance non négligeable pour l'aération et le statut organique des sols.

La préparation du sol aux dents

La préparation du sol aux dents permet de travailler le sol sans le retourner, en l'éclatant à sec ou en le remuant, en humide.

En culture attelée, le scarifiage à sec est réalisé avec différents types de dent qui permettent un éclatement du sol sur le passage de la dent. Ce travail reste très souvent localisé et superficiel, limité en largeur et en profondeur par la force de traction des animaux. En sol humide, certains types de dent sont utilisés pour effectuer un travail du sol plus profond que celui réalisé en sol sec et couvrant une plus grande surface.

En culture motorisée, le sous-solage est une opération demandant un investissement important, hors de portée du paysan moyen. Il a un effet immédiat sur l'alimentation hydrique en permettant une bonne pénétration des premières pluies et donc une réduction importante du ruissellement.

La technique d'éclatement du sol aux dents permet d'emmagasiner les pluies précoces dans le sol, ce qui facilite les préparations de sol ultérieures telles que le labour dont l'exécution nécessite une plus grande humidité.

Techniques complémentaires d'économie de l'eau

En plus des techniques de préparation du sol citées ci-dessus, il existe d'autres façons culturales qui permettent d'améliorer l'alimentation en eau et le rendement des cultures. Ce sont, principalement:

Le buttage

Le buttage est une opération culturale consistant à ramener la terre de l'interligne au pied des plantes à un stade avancé de leur développement. Il se fait sur parcelle labourée et semée à plat, scarifiée ou non. En assurant une bonne économie de l'eau, le buttage permet de lutter contre la verse mécanique et les adventices.

Le désherbage

Le contrôle des mauvaises herbes est une opération essentielle qui doit être effectuée dès qu'elles apparaissent. Les opérations de sarclage (destruction des mauvaises herbes) et de binage (travail du sol) contribuent à l'effet bénéfique des entretiens culturaux sur l'alimentation hydrique des plantes.

Un binage grossier, n'affinant pas trop le sol, peut améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et augmenter sa résistance à l'érosion pendant un temps limité, comme cela a pu être observé au Sénégal (Nicou et Lemoigne, 1990).

L'aération du sol par le binage peut être favorable au développement racinaire, surtout lorsque ce binage est précédé d'un épandage d'engrais. Inversement, on peut lui reprocher de détruire certaines racines, surtout lorsqu'il est tardif.

Les zay ou «trous de plantation»

C'est une technique traditionnelle que l'on retrouve au plateau Dogon (Mali) et qui est bien adaptée à la zone soudano-sahélienne. Elle est traditionnellement appliquée au Burkina Faso (province du Yatenga) et elle est également connue au Niger (sous le nom de «tassa»). Les zay, appelés aussi «poches d'eau», sont généralement des trous creusés dans des terrains colmatés (en surface) afin d'y recueillir les eaux de ruissellement et les y faire infiltrer. On y dépose du fumier ou du compost pour améliorer la porosité et la fertilité du sol.

A partir de 1993, dans la zone de Tominian (zone soudanienne Nord du Mali), le nombre de paysans ayant adopté la technique a été multiplié par 14 principalement à cause de sa capacité de récupération des terres dégradées et de son efficacité en combinaison avec l'application du fumier (rapport d'évaluation du Projet Environnement Communautaire de Tominian PECT/SOS Sahel, Novembre 1993, cité par Sidibé, 1994).

La technique du zay n'est pas adaptée dans les zones plus humides, où des problèmes liés à l'asphyxie des sols apparaissent, et dans les zones plus sèches où un grand risque de brûlure des plantes existe à cause du fumier.

Les demi-lunes

Ce sont des demi-cercles creusés perpendiculairement à la pente et entourés en aval de levées de terre dites lunettes, également en demi-cercles, prolongées par des ailes en pierre ou en terre. Ils ont pour but de collecter l'eau sur une surface donnée, de stabiliser les sols sur les pentes fortes et de récupérer les terres dégradées.

En tant qu'ouvrage de collecte des eaux de ruissellement, la demi-lune est surtout adaptée aux zones sahéenne et soudano-sahélienne. Par rapport au zay ou aux cordons pierreux, la demi-lune a connu peu d'essor auprès de la population, en partie pour les raisons suivantes (Sidibé, 1994):

- elle empêche la mécanisation des travaux agricoles et nécessite un entretien assez important sur une parcelle de demi-lune, 20% seulement de la superficie sont ensemencés contre 100% pour le zay
- sa rentabilité économique n'est pas évidente, son coût étant environ 3 fois plus élevé que celui des cordons pierreux et 2 fois plus que celui du zay.

Adoption de techniques de conservation des eaux en milieu paysan

Pour bien gérer les eaux de pluie à l'échelle de la parcelle de culture, il existe toute une série de façons culturales qui peuvent se prêter à diverses combinaisons.

Les statistiques montrent une faible pratique de façons culturales autres que le labour et le sarclage mécanique.

5.3 Mesures de défense et de restauration des sols (lutte anti-érosive)

La Division de Recherche sur les Systèmes de Production Rurale (DRSPR) de l'Institut d'Economie Rurale du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de l'Environnement du Mali a développé et fait passer à la vulgarisation une approche de lutte anti-érosive visant surtout la protection de la zone de cultures. Les techniques évaluées sont présentées par zone de paysage:

- la zone des cultures: les glacis
- la zone sylvo-pastorale: les plateaux, escarpements et berges des marigots.

a) Mesures techniques pour la zone des cultures : céréales sèches

Les haies vives

Les haies vives d'*Euphorbia balsamifera* sont vulgarisées comme plantation sur les limites et à l'intérieur des champs. Les contraintes à la vulgarisation de l'*Euphorbia* sont la faible disponibilité de boutures dans certains villages et son utilité limitée à la conservation des sols. D'autres espèces présentant plus d'usages (fourrage et bois de chauffe) que l'*Euphorbia* ont été testées: elles incluaient: *Cajanus Cajan* (pois d'Angole), *Leucaena leucocephala*, *Jatropha curcas* (pourghère, boutures et semis direct), *Citrus limon* (citron), *Parkinsonia aculeata* et *Agave sisalana* (sisal, bulbilles). La diversification des espèces plantées en haies vives a été encouragée, en incluant davantage le pourghère, le sisal et d'autres espèces que les paysans jugent intéressantes. (Hijkoop et al., 1991).

Des activités de recherche sont en cours par le programme ressources forestières de l'IER sur la mise au point de techniques d'installation et de gestion de haies vives en zones irriguée et exondée de Ségou (projet RFO 11). Les espèces retenues sont : l'*Euphorbia balsamifera*, le *Jatropha curcas* (pourghère) le *Prosopis juliflora* et le *Parkinsonia aculeata*.

Les bandes enherbées

Les bandes d'absorption enherbées permettent de réduire le ruissellement dans les champs et de les séparer. Des tests avec le niébé (*Vigna anguiculata*), le fonio (*Digitaria exilis*) et le *Brachiaria ruziziensis* effectués en 1985 et 1986 ont pris en compte les suggestions des paysans de réduire la largeur des bandes de 5 à 3 m (Van Der Poel et Kaya, 1990). Cela a réduit la perte de superficie à 6% maximum (au cas où les bandes sont à un intervalle de 50 m). L'érosion a diminué, certaines rigoles ont disparu et l'humidité a augmenté (Diarra, 1986, cité par Van Der Poel et Kaya, 1990). Le service de vulgarisation a conseillé d'associer les espèces *Brachiaria ruziziensis* et *Stylosanthes hamata*, cette association étant plus viable en terme de temps que chacune des espèces prise séparément. L'*Andropogon gayanus*, en souche ou semé directement, bien que difficile à implanter, demeure plus longtemps.

Les pratiques culturales

Le billonnage à sillons cloisonnés, le grattage à sec et les travaux perpendiculaires à la pente sont des pratiques culturales qui diminuent l'érosion et permettent une meilleure infiltration d'eau. Les sillons cloisonnés peuvent augmenter l'infiltration de 10 à 20 mm d'eau par pluie, ce qui représente une diminution importante du ruissellement et une réserve d'eau très utile aux cultures en cas de périodes sèches (Souaré, 1987, cité par Hijkoop et al., 1991). Des résultats obtenus en 1986 et 1987 sur grattage à sec ont montré une augmentation de rendements de coton de l'ordre de 36%. Un autre avantage du grattage à sec réside dans la possibilité de faire des labours et des semis précoces.

L'utilité de ces pratiques culturales est bien connue et les contraintes à leur adoption incluent la disponibilité de matériel approprié (multiculteur avec pics fouilleurs), la faiblesse des animaux pour le travail lourd du corps buteur et les effets de la diminution de l'érosion qui ne se montrent qu'à long terme.

Les soles fourragères

L'inclusion dans la rotation d'une sole légumineuse ou d'une jachère de courte durée en légumineuses devient nécessaire dans le système actuel de culture conduisant à une diminution de la durée de jachère et à un épuisement des terres arables.

L'adoption des cultures fourragères est en progression dans la zone de Ségou sous l'impulsion spécifique du Projet CILSS/FAO "Développement de cultures fourragères et améliorantes en zone soudano-sahélienne". Bien conduites, les cultures fourragères assurent l'intégration Agriculture-Elevage.

La production de semences est une des contraintes au développement des cultures fourragères .

b) Mesures pour la zone sylvo-pastorale

Afin d'atteindre un équilibre écologique pour l'ensemble du terroir villageois dans le contexte d'une protection de la zone agricole de l'ORS, il faut envisager des mesures à prendre pour la zone sylvo-pastorale. Les problèmes majeurs à prendre en considération sont:

- . la diminution du surpâturage de la zone sylvo-pastorale
- . la disponibilité en bois de feu et de construction pour les villageois
- . la régénération des espaces dénudés.

Diminution du surpâturage

La qualité et la quantité de fourrage des parcours naturels diminuent par les effets conjugués du surpâturage, des feux incontrôlés et de la sécheresse. Pour diminuer le surpâturage, les options possibles incluent une augmentation de la production de fourrage et une diminution de l'effectif des animaux présents sur les parcours naturels. Ces deux options seront possibles surtout si la rentabilité par animal augmente et si l'élevage est considéré comme une activité économique et non une activité de prestige.

Production de bois et plantation

La production de bois peut être mieux garantie grâce à une protection contre les troupeaux des zones de reboisement et un contrôle de la coupe de bois afin de faciliter la régénération de la végétation. Les plantations à grande échelle sont difficiles à réaliser (investissements nécessaires en temps et financement) et une régénération naturelle de la végétation ligneuse paraît une meilleure option pour couvrir les besoins en bois des villages, en maîtrisant la divagation des animaux (Baltissen et Coulibaly, 1988).

Régénération des endroits dénudés

Les résultats d'une évaluation de différents dispositifs de régénération ont permis de proposer le système suivant (Hijkoop et al., 1991):

- . confectonner des cordons pierreux ou des bandes en tiges de coton en suivant des courbes de niveau et en laissant approximativement 7 m entre les bandes;
- . protéger l'endroit contre les animaux et le laisser hors pâturage en impliquant les bergers:

c) Contraintes liées à l'adoption des techniques disponibles

Bien que les paysans soient souvent conscients de la dégradation de leur terroir, ils ne parviennent généralement pas à y apporter des solutions efficaces et durables, à grande échelle. Il existe diverses techniques de conservation des eaux et des sols adéquates, dont l'adoption se heurte à de nombreuses contraintes.

Quelques unes des raisons de la faible adoption des techniques sont:

Contraintes techniques

Le matériel technique nécessaire pour la réalisation des actions de CES n'est pas toujours disponible pour le paysan: charrette pour le transport des cailloux, charrue ou équipements à dents pour préparer la terre avant l'installation des plants ou des bandes enherbées, semences ou boutures, etc.

Certaines techniques, bien qu'efficaces, ne sont pas toujours connues par un grand nombre de paysans. Les méthodes d'installation ne sont pas toujours évidentes pour le paysan: endroit et période d'aménagement, choix du matériel à installer, etc

Recommandations

- Adoption des techniques en tenant compte des réalités du milieu, par exemple proposer des haies vives ou des lignes de cailloux dans des zones où les cailloux et l'eau ne sont pas rares. Thèmes à proposer à partir d'une analyse approfondie du contexte.
- Amélioration de conditions d'acquisition de moyens de travail (crédit agricole, subvention à partir de projets, comme les cas de moyens de transport avec la plupart des projets au Burkina et au Niger, ...)
- Assistance technique renforcée, sous forme de formation et de suivi par l'encadrement de l'ORS.

Contraintes socio-économiques

- Le manque de main-d'oeuvre et de temps pour l'exécution des mesures anti-érosive est une contrainte principale indiquée par le paysan. L'éclatement des grandes exploitations est aussi une des causes souvent avancées
- Le délai d'obtention de résultats attendus, la lutte anti-érosive est une entreprise de longue haleine. Le fruit des efforts fournis ne se récolte qu'après des années dans certains cas, alors que les paysans préfèrent investir leur temps et leurs moyens dans des travaux pouvant leur apporter des bénéfices à court terme.
- Le manque d'intérêt pour les travaux collectifs. Les relations au sein des villages n'étant pas toujours faciles, de graves tensions existent souvent entre groupes sociaux (lignages, organisations socio-professionnelles) pour la gestion de l'espace: problème d'appartenance des terres, problème d'accès à l'eau pour les éleveurs et les pêcheurs pendant la période des cultures, etc. Ces problèmes freinent la participation de la population, les uns pensant travailler pour les autres et vice-versa.
- La sécurisation foncière. Le mode d'appropriation de la terre, qu'il soit du droit coutumier ou de la législation nationale, surtout les prêts, fait que certains paysans se sentant en insécurité foncière, hésitent beaucoup à investir sur des terres qu'ils ne sont pas sûrs d'exploiter pendant longtemps.

Recommandations

- Inclure dans les actions de CES des mesures incitatives, qui permettent d'apporter des solutions concrètes aux problèmes considérés comme prioritaires par les populations, lesquelles mesures ne seront pas forcément du domaine de la protection ou gestion des ressources naturelles. Par exemple banque de céréales ou moulin mixte dont 10% des charges assurées par les populations, dans le cadre du PGRN.
- Etablir un code Foncier rural qui prend en compte les réalités socio-coutumières et assurer sa diffusion en langues locales. Reconnaître les capacités juridiques des chefs de terres dans l'attribution des terres
- Adapter les techniques au calendrier agricole du paysan, et tenir compte de la simplicité des techniques et des conditions physiques du milieu. Il est aussi important d'identifier et de valoriser les connaissances paysannes.

5.4. Ressources locales pour l'amélioration de la fertilité

Au Mali, comme dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, la faiblesse de la fertilité des sols est une des contraintes majeures de la production agricole. Les carences généralement identifiées sont celles de l'azote, du phosphore, du calcium, du soufre et de certains oligo-éléments. Ces carences sont généralement exacerbées par un problème de forte acidité et le développement de la toxicité aluminique qui l'accompagne. L'utilisation de produits organiques (fumier, compost, ordures ménagères, etc) et de fertilisants locaux (phosphates naturels, gypse, calcite, dolomie) constitue des potentialités énormes dans le cadre de l'amélioration de la production et des propriétés physico-chimiques du sol. Des travaux de recherche conduits sur l'utilisation des ressources locales dans l'agriculture malienne, nous retiendrons les résultats relatifs au fumier et aux minéraux locaux.

Le fumier

Potentialités agronomiques

L'analyse des résultats d'une enquête sur la valeur fertilisante des principaux types de fumier en zone Mali-Sud réalisée conjointement par la Section de Recherche sur le Coton et les Fibres Jutières (SRCFJ) et la Division de Recherches sur les systèmes de production Rurale (DRSPR) sur 281 échantillons révèle une très grande variabilité dans les teneurs en éléments nutritifs et en matière organique des produits.

es résultats d'études sur les modes de fertilisation minérale, organique et organo-minérale conduites par la SRCFJ, on peut retenir les points suivants:

- les modes de fertilisation organo-minérale et organique paraissent être meilleurs conservateurs du potentiel de production et occasionnent une dégradation des sols moins prononcée;
- associé à une fumure minérale, le fumier à la dose de 5 t/ha permet un surplus de rendement coton de 30% par rapport à celui d'une application simple. A cette dose, on observe aussi une amélioration du taux de matière organique du sol après 17 ans;

L'utilisation du fumier s'inscrit dans le cadre d'une approche globale de consommation de ressources disponibles permettant à la fois une exploitation plus productive du milieu naturel et un meilleur impact sur l'environnement.

Autres produits organiques

- Le biopost, produit localement pour une fertilisation des cultures à partir de produits organiques locaux.

- Ordures ménagères: les quantités d'ordures générées en milieu urbain ou rural sont très importantes. Aucun système n'est en place pour le traitement des ordures, la solution actuellement appliquée par la voirie étant le brûlis. Cependant, il existe des particuliers qui commandent des chargements d'ordures non triées pour des fins de fertilisation agricole et certains dépotoirs sont traités par des particuliers par tamisage pour récupérer le terreau. Des potentialités existent pour le traitement et le recyclage des ordures ménagères mais les principales contraintes à leur utilisation sont le triage des déchets non biodégradables(fer, verre, plastique, ...) et le transport.

Le phosphate Naturel de Tilemsi (PNT)

La carence en phosphore des sols du Mali a été identifiée comme un des facteurs les plus importants limitant la production agricole. Comme cette carence peut être corrigée avec le PNT, l'utilisation de cette ressource locale présente un avantage certain pour les paysans à faible revenu du Mali.

D'autres avantages attendus de l'utilisation du PNT sont:

- La réduction des importations d'engrais phosphatés, ce qui devrait permettre des économies en devises pour le pays;

- La possibilité d'un approvisionnement des paysans sans retard et à moindre coût

- L'indépendance du pays vis à vis des cours du marché international des engrais phosphatés.

Cependant, malgré les nombreux résultats concluants de la recherche agronomique, les performances confirmées dans des tests de démonstration et les efforts de vulgarisation déployés par les organismes de développement, les paysans n'ont pas encore largement adopté le PNT.

Pour une meilleure utilisation du PNT, le compostage avec la litière de parcs de bétail en milieu paysan a été préconisé. Deux modes de réalisation de compostage ont été évalués par la recherche: dans les parcs de saison sèche et dans les parcs d'hivernage, avec un apport de 300 kg de PNT/ 5 t de fumier.

Autres minerais locaux

En plus du PNT, d'autres matières premières locales pourraient avantageusement être utilisées dans la fertilisation des terres au Mali. Il existe de nombreux gisements non exploités de minerais (dolomie, gypse et calcite) très utiles pour la nutrition des plantes et aussi pour l'équilibre ionique des sols acides.

La dolomie

Des réserves de dolomie existent en de nombreuses localités: Tombouctou, Hombori, Dioïla, Douentza, Koulikoro, Diamou, etc. Les gisements les plus importants de par leur facilité d'accès et leur proximité des zones d'utilisation sont ceux de Dioïla et de Douentza. Les minerais contiennent 30% de CaO avec 18% de MgO pour celui de Dioïla et 20% de MgO pour celui de Douentza. Contrairement au PNT, la dolomie malienne n'est pas utilisée par les paysans et les informations sur ses potentialités au champ sont limitées.

Le gypse

Il existe d'importantes réserves de gypse dans la région de Taoudeni et de In Kereit, estimées à 35 millions de tonnes. Le gypse (sulfate de calcium) présente l'avantage d'apporter du calcium et du soufre. Il est cependant utilisé surtout pour faire du plâtre à Tessalit.

Les gisements non exploités de dolomie, gypse et calcite pourraient présenter de grandes potentialités dans la correction du phénomène d'acidification de certaines terres dégradées du Mali. Pour satisfaire les besoins d'information dans ce cadre, des investigations économiques et agronomiques devraient être envisagées.

5.5. Aspects institutionnels complémentaires à la mise en œuvre des technologies.

L'Office du Niger s'occupait de plusieurs activités en plus des activités de production agricole. Cette situation a constitué une entrave au développement du grand potentiel existant à l'Office.

Devant ce constat le Gouvernement s'est engagé dans une politique de restructuration de l'Office du Niger par la lettre de politique de développement de la filière rizicole du 15 Janvier 1993.

Ainsi le gouvernement a décidé de limiter les missions de l'Office du Niger comme suit:

- maîtrise d'ouvrage déléguée pour les études et le contrôle des travaux.
- maintenance des aménagements.
- gestion des eaux,
- conseil rural.

Ce recentrage des missions de l'Office du Niger implique que la nouvelle structure se désengage de toutes les autres activités qui ne rentrent pas dans son mandat : achat et usinage du paddy, vente du riz, travaux neufs de réhabilitation ou d'entretien des aménagements, crédit agricole, assemblage du matériel agricole, production des semences, gestion des centres d'accueil, transport routier ou fluvial, élevage, exploitation des vergers, gestion de la centrale électrique, de garage et d'un centre de formation.

Outre les réformes de structure, conformément aux objectifs généraux de la politique de décentralisation et de participation des populations, le gouvernement s'engage à associer les usagers des réseaux d'irrigation et de drainage au contrôle effectif des dépenses des travaux d'entretien de ces réseaux pour lesquels ils s'acquittent d'une redevance. Le gouvernement s'engage à déléguer aussi aux groupements, l'attribution et la gestion des parcelles aménagées et des terroirs environnants et à améliorer le statut foncier des exploitants (Office du Niger, 1993)

5.6. Politique sectorielle et macro-economique

La fixation du prix du paddy qui se faisait par l'Etat, est devenue libre depuis 1985/86. Parallèlement aux ventes des producteurs, on assiste maintenant à une participation très importante des Associations Villageoises et Tons dans le processus de commercialisation du paddy et du riz.

En ce qui concerne le matériel agricole et les intrants, les subventions ont été supprimées. Les paysans arrivent à s'équiper grâce aux crédits contractés par les Associations Villageoises (AV) au niveau des institutions financières. Actuellement les AV utilisent les lignes de crédit de la BNDA ou le fond du développement villageois. S'agissant de l'encadrement du monde rural, plusieurs projets

interviennent dans la zone en vue de l'amélioration de la production du riz. Il s'agit du : projet ARPON, projet FED, projet RETAIL.

Notons aussi que la récente restructuration de l'O.N. a entraîné des changements dans le système de vulgarisation. Ainsi, certaines activités assurées par l'O.N. au départ ont été transférées aux associations villageoises. Il s'agit des activités de battage, de la collecte primaire du paddy, et de l'approvisionnement en semences améliorées.

Sur un plan macro-économique, les mesures Gouvernementales prises en faveur de la filière riz à la date du 15 Janvier 1993 comportent la protection de la production nationale de riz grâce à une limitation de l'aide alimentaire et des importations.

Matrice 1 : Synthèse des solutions alternatives par problématique (contraintes majeures identifiées)

Problématique : contraintes majeures	Zone de culture	Solutions technologiques disponibles ou en développement	Observation
Dégradation par alcalinisation et sodisation	Zone de culture irriguée : Niono Molodo N'Debougou Kouroumari Macina	<p>Aménagement et gestion de l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réhabilitation, visant à améliorer l'aménagement du réseau hydro-agricole et la gestion de l'eau - Prise en compte des risques de dégradation des sols de texture grossière (Séno et Danga par exemple) dans les aménagements. Ainsi éviter de récupérer les zones hautes réservées aux cultures sèches (mil, maïs ou niébé notamment) et au reboisement. - Intégration des hors casiers dans le système d'irrigation pour améliorer l'utilisation des eaux usées et améliorer le drainage. <p>Amélioration du système de culture</p> <ul style="list-style-type: none"> - Double culture du riz pour retarder la sodisation, en minimiser les effets et abaisser la profondeur de l'horizon le plus dégradé. - La diversification des cultures notamment avec les cultures maraîchères (échalote, tomate, ...) pour atténuer les effets de la sodisation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Largement appliquée (20000 ha sur les 50000ha aménagés) - Application variable; information et sensibilisation des paysans nécessaires. - Faible adoption de la double culture; contraintes majeures liées au matériel végétal, à la pression des oiseaux et à la gestion difficile du calendrier agricole. - Mesure d'accompagnement à la réhabilitation . Technologie

		<ul style="list-style-type: none"> - Pré-irrigation ou double pré-irrigation faite pour un lessivage des horizons de surface (pH abaissé) et la préparation du sol (labour). - Utilisation d'engrais acidifiants tels que le sulfate d'ammoniaque ou le chlorure de potassium dans la fertilisation minérale du riz 	<p>faiblement adoptée.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Technologie envisageable : les engrais acidifiants notés pas utilisés actuellement en zone O.N.
Déficiences minérales - pauvreté des sols.	<ul style="list-style-type: none"> - Zone de culture irriguée - Zone de submersion contrôlée - Zone exondée (cultures pluviales) 	<p>Fertilisation minérale: basée notamment sur l'azote et le phosphore pour le riz ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apport de potassium dans la fertilisation minérale du riz en cours <p>Fertilisation organique, à raison de 5t/ha de fumier.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Forte utilisation des engrais en zone aménagée. Fertilisation peu ou pas utilisée sur les cultures pluviales. - Faible application de fumier en raison de contraintes de disponibilité
Dégradation par acidification	<ul style="list-style-type: none"> - Zone de culture irriguée (Macina) - Zone de submersion contrôlée - Zone exondée (cultures pluviales) 	<p>Utilisation du PNT</p> <p>Fumier ou compost avec PNT</p> <p>Amendement calco-magnésien (dolomie).</p>	<p>Faible adoption en raison de contraintes techniques, économiques ou socio-économiques. Produit local pouvant être développé pour améliorer la fertilité des sols.</p>
Erosion éolienne ou hydrique(ORS)	<ul style="list-style-type: none"> - Zone de submersion contrôlée - Zone exondée (cultures pluviales) 	<p>Mesures biologiques de DRS (défense et restauration des sols) :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Haies vives . Plantation (manioc), regeneration ou entretien d'arbres champêtres, agroforesterie <p>Mesures mécaniques de DRS</p> <ul style="list-style-type: none"> . cordons pierreux 	<ul style="list-style-type: none"> - Technologies en développement
Dégradation des conditions climatiques (ORS)	<ul style="list-style-type: none"> - Zone de submersion contrôlée 	<p>Mesures mécaniques ou biologiques de CES (conservation des eaux et des sols) :</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Technologies en développement

	- Zone exondée (cultures pluviales)		
Pression des adventices	- Zone de culture irriguée (Macina) - Zone de submersion contrôlée	Extirpation manuelle concernant diga, cyperacées... Faucardage Utilisation de produits herbicides efficaces contre les espèces vivaces	Technologies paysannes Faible adoption, développement en cours pour proposer des molécules efficaces et à moindre coût.
Faible intégration agriculture – élevage	- Zone irriguée - Zone exondée	- Gestion des parcours - Points d'abreuvement - Productions fourragères	- Technologies envisageables, en développement.

A court et moyen terme, il y aura des résultats de travaux entrepris par le programme riz et l'ESPGRN dans le cadre du plan stratégique de l'IER (CRRA de Niono) liste ci-dessous :

Le plan d'action consécutif prendra en compte ces travaux de recherche.

Tableau de classement des projets par priorité

N°		Intitulé du projet	Note	Priorité	Observations
1	Bov 8	Test d'adéquation des rations alimentaires pour les boeufs de labour en zones irriguées	96	1	
2	Ri 3	Etude de l'évolution de la fertilité des sols en monoculture du riz et diversification des cultures	90	1	
3	Ri5	Mise au point des variétés performantes adaptées à la double culture du riz irrigué	87	1	
4	Ri4	Evaluation des techniques de mise en place de la culture du riz en intensification	86	1	
5	Spr 36	Etude du système de crédit et de l'épargne	86	1	
6	Mil 1	Mise au point des techniques de restauration et d'amélioration de la fertilité des sols dans les systèmes de culture à base de mil	84	1	
7	Bov 1	Mise au point des techniques de restauration et d'amélioration des productions de viande à partir des races locales (toronké, maure et peuhl)	84	1	
8	Spr 35	Amélioration de la gestion de l'eau du fleuve Niger	84	1	
9	Ri 2	Mise au point des techniques de lutte intégrée contre les adventices du riz irrigué	83	1	
10	Str 1	Mise au point des techniques de lutte intégrée contre le striga et autres adventices	83	1	
11	Mar 3	Mise au point des techniques culturales adaptées (tomate, échalote, gombo)	83	1	
12	Can 3	Mise au point des techniques culturales économiques pour la production du sucre	83	1	
13	Vol 3	Etude des causes de mortalités et de morbidité de la volaille en aviculture villageoise et élaboration d'un plan de lutte	83	1	
14	Eco 11	Analyse du circuit d'approvisionnement des équipements et intrants agricoles	83	1	
15	Eco 5	Analyse de la sous filière lait et produits laitiers	83	1	
16	Sor 1	Mise au point des techniques de restauration et l'amélioration de la fertilité des sols dans les systèmes de culture à base de sorgho	82	1	
17	Maï 1	Recherche de variétés de maïs à haut rendement adaptées aux zones climatiques	82	1	
18	Spr 37	Amélioration de l'intégration des cultures de dah fibre, de Calebasse, de pastèques et de sésame dans les systèmes de production	82	1	
19	Mar 1	Introduction et développement de variétés performantes échalote, ail, oignon, piment, aubergine africaine et gombo	81	1	
20	Can 1	Introduction et adaptation de variétés de canne performantes et tolérantes aux maladies et aux insectes	81	1	
21	Bov 2	Mise au point des techniques d'amélioration des productions de lait à partir des races locales (toronké, maure et peuhl)	81	1	
22	Bov 3	Mise au point des rations alimentaires économiques pour la production de lait de métis en zone péri urbaine	81	1	
23	Mil 4	Mise au point des techniques de lutte contre les maladies du mil	80	1	
24	Spr 30	Elaboration d'outils de gestion de l'espace rural	80	1	
25	Pr 1	Mise au point des rations alimentaires économiques pour l'engraissement des petits ruminants	79	1	
26	Rfo 3	Amélioration des techniques de production des plants	79	1	
27	Rfo 12	Mise au point des méthodes de lutte contre les loranthacées du karité	79	1	
28	Ri 6	Mise au point des techniques de lutte intégrée contre les insectes nuisibles et aux maladies du riz irrigué	78	1	
29	Eco 17	Etude de la filière poisson	78	1	
30	Eco 12	Etude de la filière commercialisation du bétail et de la viande	78	1	
31	Eco 7	Etude de la commercialisation du riz de l'office du Niger	78	1	
32	Spr 29	Caractérisation du fonctionnement des UP	78	1	

33	Spr 31	Amélioration de la situation des femmes au sein de l'exploitation	78	1
34	Spr 32	Test des techniques de production et d'amélioration des ressources fourragères	78	1
35	Spr 34	Réhabilitation des terres irriguées dégradées	78	1
36	Spr 38	Amélioration de l'intégration des cultures de dah fibre, de calebasse, de pastèques et de sésame dans les systèmes de production	78	1
37	Bov 5	Etude des pathologies ayant un impact sur la production laitière en zone pén urbaine et élaboration d'un plan de lutte	77	1
38	Rfo 13	Mise au point des techniques de culture des essences forestières	77	1
39	Can 2	Mise au point des techniques de lutte intégrée contre les adventices et les foreurs de tiges	76	1
40	Mil 3	Mise au point des techniques de lutte intégrée contre les insectes ravageurs du mil	75	1
41	Ri 1	Mise au point de formules économiques de fertilisation organo-minérale du riz d'immersion profonde	75	1
42	Ri 3	Introduction et développement de variétés de riz d'immersion profonde, tolérantes à la sécheresse et à la submersion	75	1

VI. ELEMENTS POUR UN PLAN D'ACTION

- La place stratégique de l'Office du Niger dans les systèmes de production du riz en particulier, ou dans l'économie nationale en général ne souffre d'aucune confusion.

Les résultats actuels des réhabilitations et restructuration ont favorisé des performances technico-économiques reconnues et appréciées de tous les observateurs.

- Cependant des contraintes majeures altèrent la fertilité des sols socle de toutes productions végétales.

Faire face aux dégradations majeures, il faut des décisions volontaristes et hardies. Il est reconnu que la pérennisation et l'expansion des résultats obtenus à partir des réhabilitations (ARPCN – Rotail, etc) et de la Restructura l'application du contrat Plan Etat-ON, etc. dégageront conséquemment des ressources supportant les efforts de fertilisation de toutes sortes.

- Les conditions du marché, toutes choses égales par ailleurs s'y prêtent tant au plan national, qu'à ceux sous régional (UEMOA) et international – Les travaux ci-après attestent des réponses favorables du Marché.

Les résultats de l'analyse d'avantage comparatif suggèrent que le Mali dispose généralement d'un avantage comparatif prononcé dans la production et la commercialisation du riz sur son territoire national et que cet avantage s'étend sur les territoires ivoirien, guinéen et sénégalais. L'avantage comparatif du Mali est à créditer en grande partie au compte de l'Etat malien qui a déployé le gros efforts pendant les huit dernières années pour réhabiliter les infrastructures d'irrigation, créant ainsi les conditions favorables pour une amélioration de la productivité dans les zones de production de l'Office du Niger. Le niveau relativement élevé des cours du riz sur le marché international et la dépréciation du franc CFA par rapport au dollar américain ont aussi contribué de façon effective à l'établissement de cet avantage sur les marchés Ouest-africains, positivement le Mali comme un exportateur potentiel de riz dans la sous-région.

- Le futur du secteur rizicole malien est d'autant plus prometteur que les conditions sur le marché mondial du riz semblent favoriser la demande au détriment de l'offre. La demande semble croître plus vite que l'offre dans certains pays exportateurs. Par exemple, la demande intérieure de l'Inde est croissante depuis quelques années suite à la croissance du revenu par tête induite par le boom économique. Du fait que la pauvreté touche une large portion de la population de ce pays, une croissance économique engendrera une augmentation de la consommation intérieure de riz et de ce fait, les exportations seront en baisse dans les années à venir. Celles de la Thaïlande montre aussi la même tendance et pour la première moitié seulement de l'année 1998, elles ont baissé de plus de 300

milles tonnes à cause d'une demande intérieure forte. Les conditions du marché intérieur Thaïlandais sont en grande partie provoquées par la substitution du riz aux autres produits alimentaires pour juguler les effets pervers de la crise économique qui frappe l'Asie depuis l'année dernière (97).

- Une analyse de l'évolution des prix sur le marché international de riz suggère qu'ils sont constants en terme réel. Face à cette évolution, la productivité agricole est en pleine expansion dans les zones de production de l'Office du Niger, réduisant ainsi les coûts de production du riz malien et *améliorant par conséquent l'avantage comparatif du Mali sur les marchés aussi bien intérieurs que sous-régionaux.*

Une démarche que pourraient entreprendre les responsables maliens en vue de promouvoir les exportations de riz serait de faire créer une catégorie spéciale pour le riz dans les organisations sous-régionales en vue de rendre sa circulation plus fluide. Une proposition qui pourrait être faite pour le riz, produit dont la sensibilité est notoire dans les centres urbains ouest africain, est qu'il soit exempté des droits de douane lorsqu'il est exporté par un pays de la sous-région. Cette proposition semble d'autant plus justifiée que la valeur ajoutée sur le riz est négligeable. Elle pourrait incorporée dans la réflexion en cours sur le Tarif Extérieur Commun (TEC) de l'Union Economique Monétaire Ouest-Africain (UEMOA) dont l'objectif est de renforcer la coopération économique et créer un ensemble économique viable et plus vaste.

- (a) Encourager que les organisations sous-régionales inscrivent le riz dans la catégorie de produits de crû et que le riz soit exempté de droit de douane et de taxe. La gamme de produits exportés par le Mali dans la sous-région semble beaucoup plus fine que celui des pays comme la Côte d'Ivoire et le Sénégal dont le tissu industriel est relativement plus dense. Le Mali, vaste marché pour les produits industriels de ces pays, devrait mettre sur la table de négociation le cas de son potentiel de production et d'exportation de riz vers les marchés régionaux et amener les pays voisins à faire des concessions sur l'inscription du riz sur la liste des produits de crû des organisations sous-régionales, surtout l'UEMOA. Cette proposition est d'autant plus importante que le riz malien sera exempté de droit de douane s'il est échangé dans la sous-région et pourra par conséquent mieux rentrer en compétition contre le riz du marché international. Le succès d'une telle proposition dans une organisation plus restrictive posera les jalons d'un précédent qui pourrait être une référence dont tiendront compte les autres organisations sous régionales comme la Communauté Economique de l'Afrique de l'ouest CEDEAO
- (b) Spécialisation du Mali dans l'exportation du riz de haute qualité et importation de riz de qualité inférieure. Etant donné la diversité des consommateurs de riz en Afrique de l'Ouest, les commerçants maliens devraient cibler le marché ivoirien où les revenus sont relativement plus élevés et où la classe moyenne en croissance a développé un appétit pour le riz frais et de haute qualité. L'exportation de cette qualité aiderait le Mali à asseoir une réputation incontestée en vue de mieux se positionner pour conquérir d'autres marchés sous-régionaux. Par la même occasion, des efforts devraient être déployés par les décideurs maliens pour imposer un niveau de taxation relativement faible sur le riz importé du marché international, permettant ainsi au Mali de combler le fossé entre l'offre et la demande locales.
- (c) *Exempter les intrants de droit de douane et taxes.* Pour renforcer et améliorer la compétitivité de son riz, le pouvoir public malien devrait exempter les consommateurs intermédiaires utilisées dans la production de riz de droits et taxes.
- (d) Réduire les droit de douane et taxes sur les véhicules utilitaires et pièces de rechange. Etant donné que les coûts de transport sont en grande partie induits par le niveau élevé de droits de douane et taxes et que ceux-ci ont un effet pervers sur la compétitivité du riz malien, *il serait souhaitable que les décideurs maliens adhèrent à l'idée de réduire ces droits et taxes.*
- (e) Promouvoir les investissements sous-régionaux et internationaux à l'Office du Niger. Le code foncier ayant été fondamentalement changé pour encourager les investissements à l'Office du Niger, il serait opportun que le pouvoir public malien mène une campagne agressive aussi bien au niveau sous-régional qu'international en vue d'attirer les investisseurs privés pour promouvoir la

production du riz. Cette campagne pourrait être faite par le réseau de l'autoroute de l'information, soit par des déplacements à des forums ou symposiums internationaux d'investisseurs.
Promouvoir les exportations de riz malien vers les pays de la sous région USAID, AIRD 1998 DW Barry, SD Diarra, D Diarra.

- Il ressort de ces résultats et propositions. l'avantage comparatif national de l'ON comme premier bassin de production et d'exportation donc de création absolue de revenus pour les producteurs, et par conséquent centre principal de renforcement des grands équilibres macro-économiques, (PIB, Balance commerciale, etc). Le maintien et le renforcement durable de cet avantage de macro-économie financière, exige des solutions durables à l'arrêt de tous les phénomènes de dégradation des sols qui altèrent la fertilité des sols. Des solutions technologiques (ch V) proposées, il sera élaboré un plan d'actions qui tiendra compte également des enjeux technico-économiques cités ci-dessus.

6.1. Les actions technico - économiques comme réponses aux dégradations par alcanisation et sodisation

6.1.1. Les actions de réhabilitation du réseau hydro-agricole pour une gestion efficace de l'eau

Les acquis des programmes/projets ARPON et RETAIL, etc recommandent la mise en œuvre de projets similaires (dont l'extension de BEWANI). Ces nouveaux projets répondent tant aux besoins d'installation de nouveaux agro-pasteurs, qu'aux impératifs macro-économiques (revenus, emploi, lutte contre la pauvreté, etc)

6.1.2. Les aménagements hors casiers avec l'emploi optimal des eaux usées (après drainage)

Il s'agira actuellement d'employer de façon optimale les eaux usées des casiers, qui se déversent vers le Sahel (Nampala et autres, etc). Des producteurs agro-pasteurs sont déjà installés. Les nouveaux aménagements centrés sur la polyculture-élevage-sylviculture mettront l'accent sur le sorgho, le maraîchage et l'élevage bovin. C'est une préoccupation de l'ON. Le projet prendra en compte les actions de recherche fondamentale et de recherche développement (cf tableau des classements des projets prioritaires CCRRA-Niono + EN)

6.1.3. Les actions de valorisation des sols (SENO DANGA) des zones hautes par le développement de la céréaliculture (associée aux légumineuses) et à la sylviculture : mil + niébé, maïs, agroforesterie.

6.1.4. Les actions de double culture de riz pour freiner la sodisation

Ce sont des actions essentiellement de recherche - développement focalisant sur la maîtrise des aspects indispensables à des productions commercialisables.

- Les variétés adoptées aux conditions agro-alimentaires
- L'adaptation et la maîtrise optimale du calendrier agricole par les agro-pasteurs
- La disponibilité d'un conseil rural adapté à ces nouvelles techniques
- La nouvelle fertilisation
- Les techniques et méthodes de lutte contre les adventices de saison sèche. (cf Projet riz)

6.1.5. Les actions de diversification par le maraîchage marchand (échalotte, tomate, pomme de terre, ail, etc...) aux conditions des marchés nationale et sous régionale.

Ce sont autant des actions novatrices de production, des conservations de transformation locale, que de recherche développement du calendrier, les technologies de conservation et de transformation agro-alimentaires, la connaissance de circuit de conservation (Projet Mar1, Par 3 etc).

6.1.6. Les actions de vulgarisation, la pré- irrigation et de labours profonds

Il s'agit d'améliorer, voire de compléter le paquet technique vulgarisé. Les actions seront de l'information et de la formation des agro- pasteurs (cf R1, R3 etc IER – CRRA-Niono)

6.1. Les actions de vulgarisation et de promotion des engrais acidifiants

Elles revêtent deux aspects technico- économiques et financiers essentiels.

- la mise au point de formule comprenant le soufre à dose optimale d'où une action R&D (apport gypse.)
- des actions de R&D et de vulgarisation formation tendant à l'amorce de modification comportementale vers une attitude économique plus favorable à la pérennisation d'un système de crédit agricole efficace. (cf Eco11-CRRA-IER-Niono)

6.2. Les actions technico- économiques comme réponses aux déficiences minérales – pauvreté des sols (zone ON-ORS) submersion contrôlée – cultures pluviales

6.2.1. Les actions de promotion d'un programme engrais Azoté, phosphore – potassium) à composantes actifs

- formation – information donc de vulgarisation avec une requalification d'un conseil rural de proximité
- de facilitation financière à l'accès au crédit bancaire pour un approvisionnement optimal. A cet effet il faudra envisager une défiscalisation en amont qui pourra être récupérée dans la filière (transformation – consommation exportation etc.) (cf Eco11 CRRA-IER-Niono)

6.2.2. La Promotion du fumier et des améliorations biologiques.

A partir des multiples essais concluant du CRRA NIONO (Y. Koné 1999) etc des actions spécifiques de fertilisation organiques seront promues

6.2.2.1. Le fumier à partir des Parcs améliorés (CRRA-URDOC, etc..). Avec un potentiel de 120.000 bovins appartenant aux agro-pasteurs et résidents, il sera mis en œuvre un projet PARCS AMELIORES en direction d'au moins 30% des exploitants. La stabulation sera améliorée, avec abreuvement et complémentation de la ration et suivi vétérinaire. Il est estimé une production -/ emploi annuels de 775.000 – 800.000 tonnes de fumier à raison de 5 tonnes/ha. (Bov8 ; Bov2 ; Bov3 ; etc IER-CRRA-Niono)

6.2.2.2. Les autres actions d'amélioration biologique avec les cultures améliorantes (fourrages, dolique etc), enfouissement optimale des pailles (exple de Kogoni) *et Mollo,*

Le projet consistera en la formation – information et la facilitation à l'accès aux semences par l'intermédiaire de partenaires qualifiés ONG, Association Paysanne etc...

La recherche sera sollicitée pour la diffusion du paquet et du matériel végétal adéquat selon les zones concernées.

6.2.2.3. La promotion de la diffusion du compost. *(DAP + PNT)*

C'est une action de recherche développement pour accompagner les expériences actuellement entreprises à Ségou à partir des sous produits agricoles.

6.3. Les Actions technico-économiques comme réponses aux dégradations par Acidification

Elles consistent en des actions de vulgarisation et de promotion de l'emploi du PNT associé et/ou au fumier et/ou au compost dans la zone de MACINA et dans les autres zones de submersion contrôlée ou de cultures pluviales de l'ORS. (cf Ri1 ; Ri2 ; Ri3 etc IER-CRRA-Niono)

6.4. Les actions technico-économiques de CES/DRS pour lutter contre les érosions éoliennes et hydriques.

6.4.1. Les actions d'amélioration biologiques par la diversification agricole avec la promotion du manioc et de l'hitascus, et de la culture associée, mut légumineuses.

6.4.2. Les actions d'Agro-foresterie avec comme base les acacias, le zizuphus Mauritania, les haies vives à base de prosopis, l'euphorbie etc.

Matrice 1: Solutions technologiques – Actions technico-Economiques – Plan.

A. Dégradation par alcalinisation

Solutions technologiques disponibles ou en Développement	Zone de culture : Niono – Molodo N'Débougou, Kouroumari – Macina		
	Actions technico-Econo.	Prog/Projets Existants	Coûts estimatifs
Aménagement et gestion de l'eau 1. Réhabilitation, visant à améliorer l'aménagement, du réseau hydro-agricole et la gestion de l'eau.	- Actions de réhabilitation superficie Max 30.000 – 70.000 ha – horizon 2010.	Extension M'Bewaniet et au.. – Financement ON-PNIR – etc.	5 à 140 milliards de FCFA
2. Prise en compte des risques de dégradation des sols de texture grossière (Séno et Danga par exemple) dans les aménagements. Ainsi éviter de récupérer les zones hautes réservées aux cultures sèches (mil, maïs ou niébé notamment) et au reboisement.	Valorisation des sols (DANGA-SENO) par la céréaliculture		
3. Intégration des hors casier dans le système d'irrigation pour améliorer l'utilisation des eaux usées et améliorer le drainage.	Aménagements hors casiers	6000 Ha (ON).	
4. Amélioration du système de culture Double culture du riz pour retarder la sodisation, et minimiser les effets et abaisser la profondeur de l'horizon le plus dégradé.	Action R & D	IER – CRRA – NIONO	
5. La diversification des cultures notamment avec les cultures maraîchères (échalote, tomate, ...) pour atténuer les effets de la sodisation	Action développement du maraîchage marchand avec l'appui de la recherche	ON ; (ARPON - Retail) autres Appui R&D IER/CRRA	
6. Pré-irrigation ou double pré-irrigation faite pour un lessivage des horizons de surface (pH abaissé) et la préparation du sol (labour)	Action R&D – Vulgarisation	IER/CRRA-ON	
7. Utilisation d'engrais acidifiants tels que le sulfate d'ammoniaque ou le chlorure de potassium dans la fertilisation minérale du riz	Action R & D	IER - CRRA	

B. Dégradation par Déficiences minérales –pauvreté des sols

Solutions technologiques	Zones : ON (maîtrise complète), ORS : submersion contrôlée ; cultures pluviales		
	Actions Tecnico-économiques	Programme/Projets existants	Coûts estimatifs
1. Fertilisation minérale : basée notamment sur l'azote et le phosphore pour le riz	Idem	«	
2. Apport de potassium dans la fertilisation minérale du riz en cours	«		
3. Fertilisation organique, à raison de 5t/ha de fumier.	Projet PARCS Améliorés	URDOC – IER etc.	

C. Dégradation par Acidification

Solutions technologiques	Zones ON :Macina ; ORS :submersion contrôlée et cultures pluviales		
	Actions Tecnico-économiques	Programme/Projets existants	Coûts estimatifs
1. Utilisation du PNT	Action – Formation - Vulgarisation	ON Autres	Budget ON
2. Fumier ou compost avec PNT	Action – Formation - Vulgarisation		Appui Monde Rural 1.000 millions
2. Amendement calco-magnésien (dolomie)			

D. Erosion éolienne ou hydrique (ORS)

Solutions technologiques	Zone ORS :submersion contrôlée et cultures pluviales		
	Actions Tecnico-économiques	Programme/Projets existants	Coûts estimatifs
1. Mesures biologiques de DRS (Défense et Restauration des Sols)	Amélioration biologique	R&D / IER	
2. Haies vives Plantation (manioc) régénération ou entretien d'arbres champêtres, agroforesterie	Développement Manioc-Hibicus	ORSS	
3. Mesures mécaniques ou biologiques des CES (conservation des eaux des sols).			

E. Autres Actions : Adventiices – Intégration Agriculture – Elevage

Solutions technologiques disponibles ou en Développement	Zone ON (Macina) Toutes zones ORS		
	Actions Tecnico-économiques	Programme/Projets existants	Coûts estimatifs
1. Expiration manuelle concernant diga, cyperacées			
2. Faucardage	R&D	IER / CRRA	-
Elevage - Gestion des parcours - Points d'abreuvement - Production fourragères	Action Parc – fumier	-	-

Annexes

1 termes de référence

2 cartes agro – écologiques du delta, du hodh et de koutiala

ZONE OFFICE DU NIGER

L'élaboration du plan d'action régional sera réalisée en cinq phases :

- 1^{ère} phase : Diagnostic et identification des problèmes liés à la fertilité des sols
- 2^{ème} phase : Les solutions technologiques envisagées
- 3^{ème} Phase : Elaboration d'un plan d'action
- 4^{ème} phase : Organisation d'un atelier régional de validation du plan d'action
- 5^{ème} phase : Mise en forme définitive du plan d'action régional

Termes de référence pour le diagnostic et l'identification des problèmes liés à la fertilité des sols

Objectif général :

Caractériser (nature et degré) la dégradation de la fertilité des sols cultivés à l'Office du Niger en vue de définir et cibler les interventions en matière de gestion de la fertilité des sols, notamment en rapport avec les phénomènes de salinisation ou d'alcalinisation, les contraintes agro-pédologiques majeures identifiées.

Cette première phase analysera la perception des opérateurs vis à vis de la fertilité des sols, en étroite collaboration avec l'ensemble des partenaires : les producteurs et les organisations paysannes, les techniciens d'appui au monde rural (vulgarisation, recherche, ONGs. ...) et des représentants des opérateurs économiques.

Objectifs spécifiques :

- Caractériser les systèmes de production (agriculture, élevage, foresterie, pêche) et préciser les enjeux, les atouts et contraintes agro-pédologiques et socio-économiques liées au maintien et à la restauration de la fertilité des sols correspondant à chacune des entités géographiques (y compris les contraintes foncières et financières).
- Identifier la nature et le degré de la dégradation des sols cultivés et leur répartition géographique dans la zone de l'Office du Niger.
- Estimer les superficies cultivées soumises aux différents types de dégradation.
- Classer les sols cultivés en catégories de problématique :
 - ▷ sols dégradés redevables de mesures de réhabilitation de leur capacité de production
 - ▷ sols en voie de dégradation redevables de mesure d'amélioration de leur capacité productive
 - ▷ sols de bonne aptitude à produire redevables de mesure d'entretien.
- Identifier et faire l'inventaire des différents intervenants en matière de gestion de la fertilité des sols sur le plan géographique et thématique afin d'identifier les partenaires de la mise en œuvre du plan d'action et les lacunes relevant d'actions complémentaires ou de renforcement.

Produits attendus :

Matrice 1 : intensité des processus de dégradation dans la zone agro-écologique

Matrice 2 : caractéristiques des systèmes de culture / unité « zone-région »

Matrice 3 : variables « enjeux » / unité « zone-région »

Productions végétales quantités et valeurs

Populations concernées et revenus de ces populations

Matrice 4 : atouts et contraintes / unité « zone-région »

Tableau : bilan carbone et éléments minéraux moyens annuels / unité « zone-région »

Termes de référence pour les solutions technologiques envisagées

Objectif général :

Réaliser une revue exhaustive des solutions technologiques disponibles afin de lever les contraintes dans le cadre de la gestion de la fertilité des sols de la zone.

Objectifs spécifiques :

- Inventorier et décrire les technologies testées, évaluées et validées en milieu paysan pour l'entretien, l'amélioration et/ou la restauration des capacités productives des sols, pour des mesures collectives ou individuelles :
 - Technologies paysannes traditionnelles
 - technologies vulgarisées
 - technologies en développement ou susceptibles d'être développées
- Evaluer l'impact attendu des différentes technologies (y compris les technologies traditionnelles) mises en œuvre à différentes échelles d'application et à différents stades d'application
- Déterminer l'acceptabilité sociale et économique des technologies évaluées.

Produits attendus :

Matrice 1 : solutions alternatives / problématique (= processus + degré de dégradation)

Matrice 2 : coûts – effets attendus / technologie

Matrice 3 : mesures d'accompagnement / technologie + contraintes à la mise en œuvre des technologies

Termes de référence pour l'élaboration d'un plan d'action général

Objectif général :

Elaborer un plan d'action régional qui définira les orientations à moyen et long termes. spécifiera les mesures prioritaires à développer à court terme et établir un premier chiffrage des proportions.

Objectifs spécifiques :

- Elaborer des proportions concrètes de micro-projets,
- Définir des actions de renforcement des projets existants dans la zone et des mesures d'accompagnement, sous forme de fiches de projets : conception, description sommaire, estimation de coûts.

Profils des compétences requis :

Le bureau d'étude devra proposer une équipe présentant les profils suivants :

- Un agronome généraliste, connaissant les problèmes agronomiques de la zone

- Un ou plusieurs spécialistes de la fertilité des sols
- Un agro-économiste
- Un spécialiste de l'approche participative en milieu rural

Durée de travail

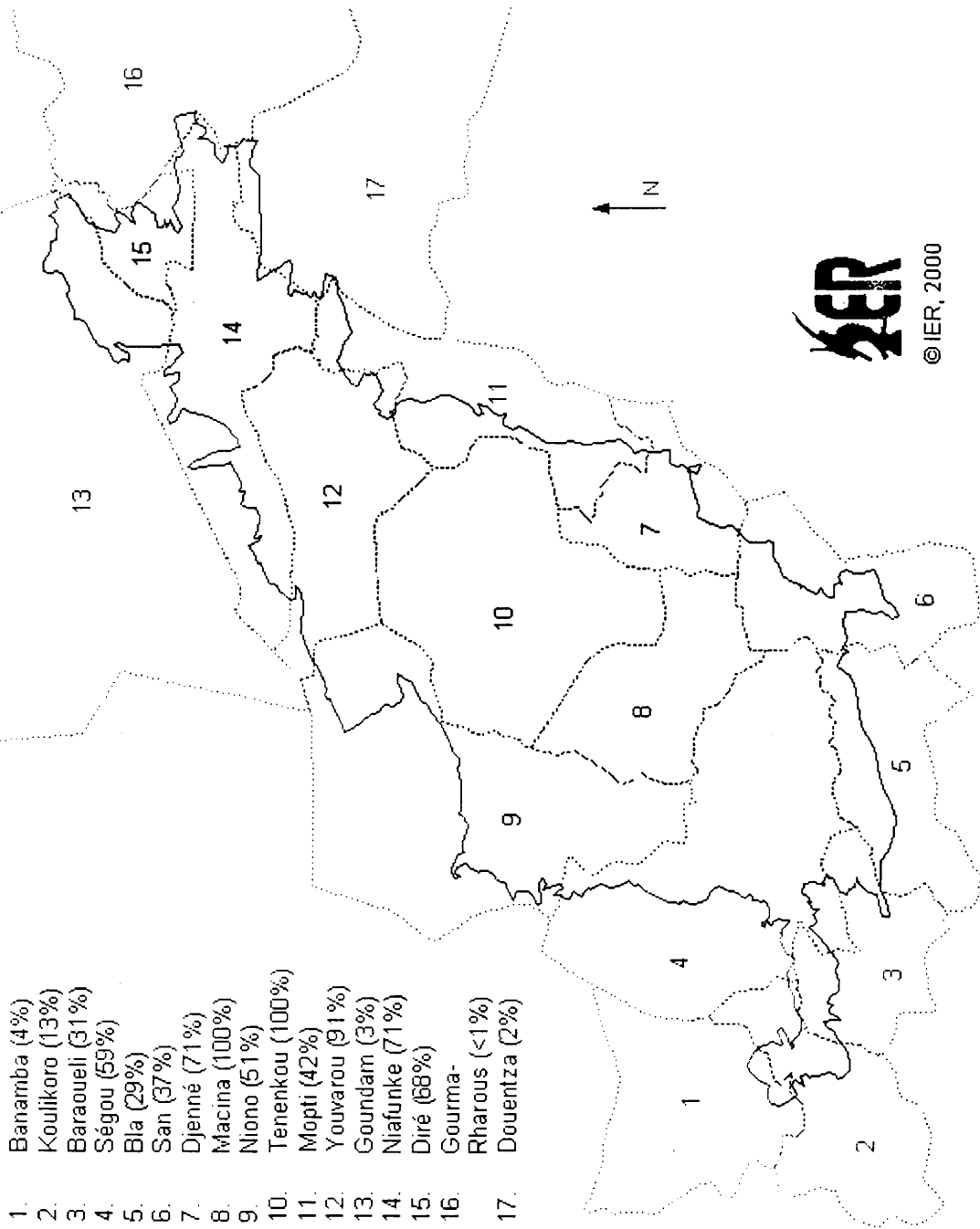
La durée du travail ne devrait pas excéder 60 jours.

Cette durée comprend la recherche de la documentation de base, l'exploitation des divers documents, les travaux de terrain et la préparation de rapport et des annexes.

Rapports attendus

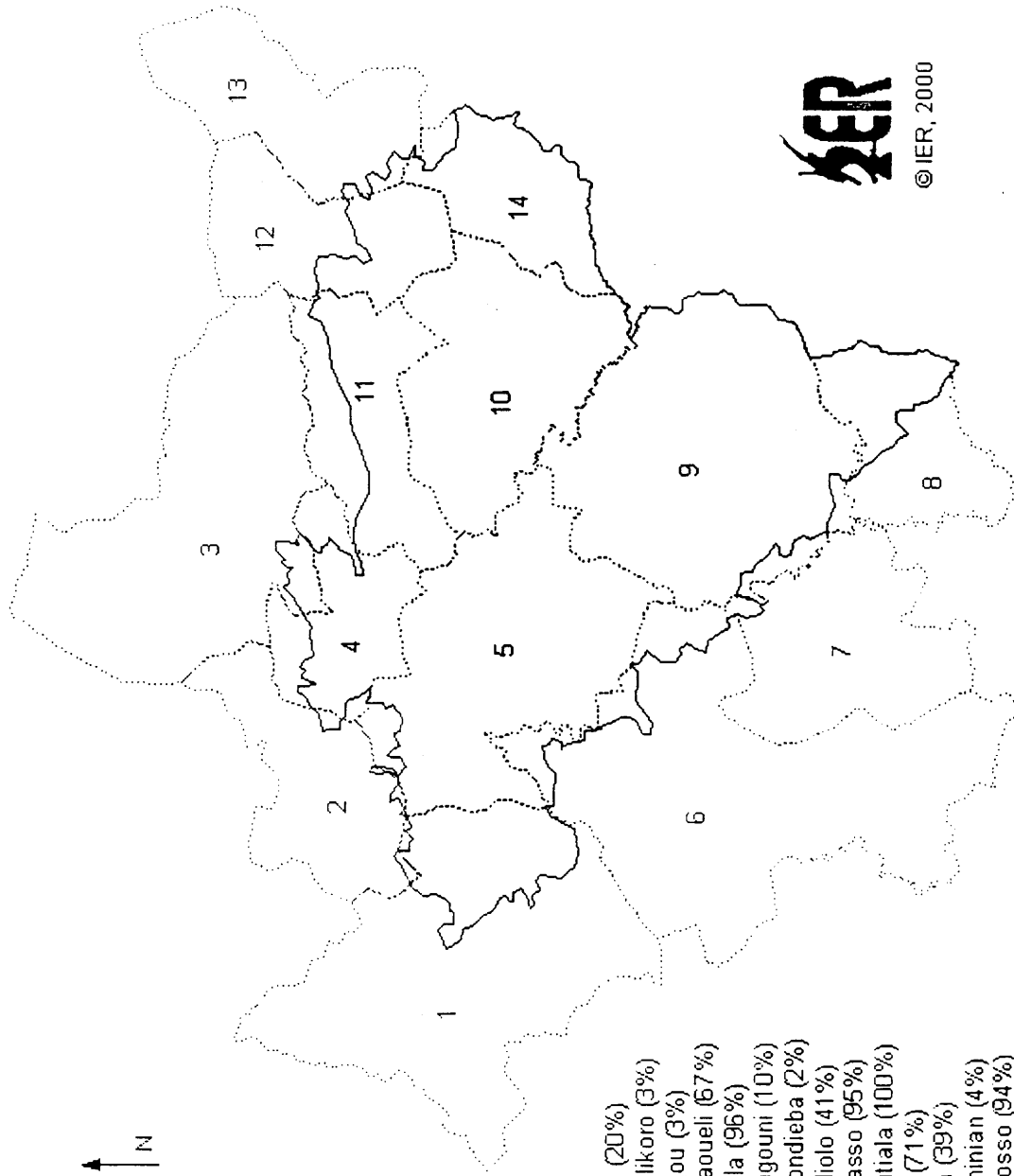
Le bureau remettra un rapport d'étape à l'issue de chacune des phases de l'étude. Le rapport final comprendra un rapport de synthèse, un rapport détaillé comprenant résultats, cartes matrices et plan d'action (cf 3^e phase), une liste de références bibliographiques et des annexes.

**Carte des cercles administratifs du Mali appartenant en
totalité ou en partie à la région naturelle du Delta**



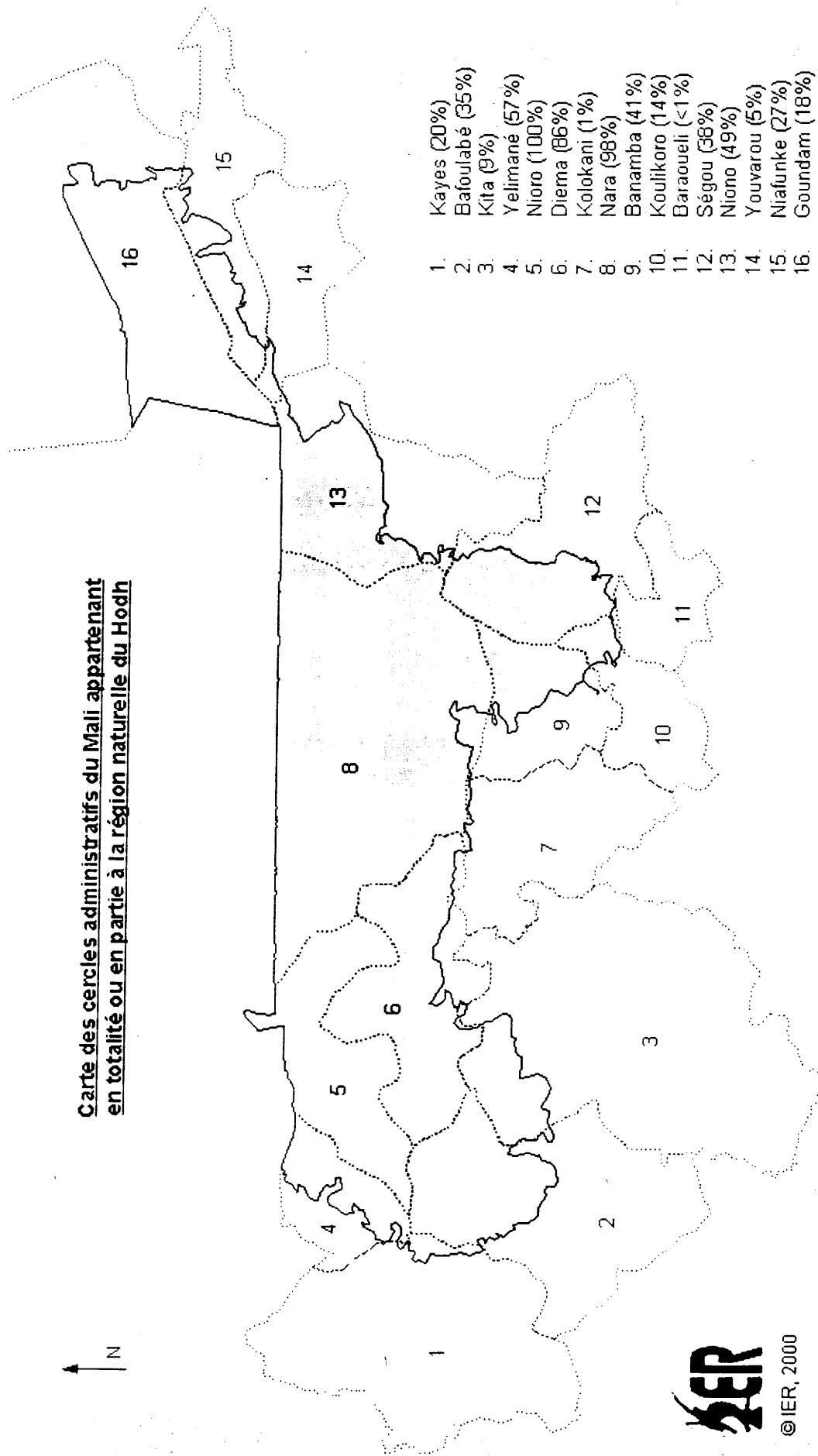
© IER, 2000

Carte des cercles administratifs du Mali appartenant en totalité ou en partie à la région naturelle du Plateau de Koutiala



- 1. Kati (20%)
- 2. Koulikoro (3%)
- 3. Ségou (3%)
- 4. Baraoueli (67%)
- 5. Dioila (96%)
- 6. Bougouni (10%)
- 7. Kolondieba (2%)
- 8. Kadiolo (41%)
- 9. Sikasso (95%)
- 10. Koutiala (100%)
- 11. Bla (71%)
- 12. San (39%)
- 13. Tominian (4%)
- 14. Yoroosso (94%)

**Carte des cercles administratifs du Mali appartenant
en totalité ou en partie à la région naturelle du Hodh**



© IER, 2000