

Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels

André Bationo, Saidou Koala, Élias Ayuk

La productivité agricole en Afrique sub-saharienne, et spécialement en Afrique de l'Ouest, devra s'accroître substantiellement dans la prochaine décennie pour permettre d'éviter une immense crise alimentaire. Pour atteindre la sécurité alimentaire et une croissance durable, les systèmes de vulgarisation et les centres internationaux et nationaux de recherche agronomique devront multiplier leurs efforts de recherche et développement pour le transfert aux paysans de technologies à hauts rendements.

La disparité entre l'accroissement de la population et la production alimentaire est en grande partie responsable de cette situation : la population s'accroissait de 3 % par an, tandis que la quantité et la qualité des ressources naturelles et des terres cultivables par habitant déclinaient [1].

L'étendue du problème a fait l'objet de discussion à la Banque Mondiale et à la FAO. Dans un discours au Forum des chefs d'États africains en 1990, Robert McNamara a attiré l'attention sur le fait que la stagnation agricole, l'explosion démographique et la dégradation de

l'environnement sont des menaces pour la sécurité alimentaire et pour une croissance durable en Afrique.

Une agriculture extensive, sans restauration de la fertilité, a progressivement diminué l'offre alimentaire des sols africains. La FAO [2] a caractérisé « d'agriculture minière » le prélèvement continu et inexorable des éléments nutritifs du sol par les cultures, sans compensation par les engrais. Les bilans en éléments nutritifs sont donc négatifs pour plusieurs systèmes de production et la situation de l'agriculture minière en Afrique sub-saharienne est alarmante puisqu'elle prélèvera jusqu'à 22 kg de N, 6 kg de P₂O₅ et 18 kg de K₂O par hec-

tare en l'an 2000, avec une perte nette de 49 kg.ha⁻¹ (soit environ 9,3 millions de tonnes d'éléments nutritifs prélevés des systèmes agricoles en Afrique sub-saharienne en 1983) [2] (tableau 1).

On estime que les prélèvements annuels d'éléments nutritifs en Afrique vont atteindre 60 kg.ha⁻¹ (ou 13,2 millions de tonnes d'éléments) en l'an 2000. Au Burkina Faso, en 1983, sur un total de 6,6 millions d'hectares de superficie cultivée, les éléments prélevés représentaient une perte totale de 95 000 tonnes de N, 28 000 tonnes de P₂O₅ et 79 000 tonnes de K₂O, équivalant à 159 millions de dollars US d'engrais NPK. Au Mali, les paysans tirent en moyenne 40 % de leur

Tableau 1

Pertes en N, P et K pour quelques pays de l'Afrique de l'Ouest

Pays	Surface arable × 10 ³ ha	Surface en jachère (%)	N, P, K (kg.ha ⁻¹ de terre cultivée)		
			N	P	K
Bénin	2 972	62	- 14	- 1	- 10
Burkina Faso	6 691	50	- 14	- 2	- 10
Gambie	326	29	- 14	- 3	- 16
Mali	8 015	72	- 8	- 1	- 6
Mauritanie	846	79	- 7	0	- 5
Niger	10 985	47	- 16	- 2	- 11
Nigeria	32 813	18	- 34	- 4	- 24
Sénégal	5 235	53	- 12	- 2	- 10
Togo	1 503	49	- 18	- 2	- 12

N, P, and K losses in a few West African countries

A. Bationo : IFDC/ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger.

S. Koala : Programme sur les zones en marge du désert, ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger.

E. Ayuk : ICRAF/ICRISAT, BP 320 Bamako, Mali.

Tirés à part : A. Bationo

Tableau 2

Effets des engrais N, P et K sur l'utilisation de l'eau (UE), la production de grain (P) et l'utilisation efficiente de l'eau (UEE) par le mil cultivé sur trois sites au Niger (saison culturale 1985)

Sites	Pluie (mm)	Traitements	UE (mm)	P (kg.ha ⁻¹)	UEE (kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)
Sadoré	543	Avec engrais	382	1 570	4,14
		Sans engrais	373	460	1,24
Dosso	583	Avec engrais	400	1 700	4,25
		Sans engrais	381	780	2,04
Bengou	711	Avec engrais	476	2 230	4,68
		Sans engrais	467	1 440	3,08

Effects of N, P and K fertilizers on water use (UE), grain yield (P) and water-use efficiency (UEE) for pearl millet grown at three sites in Niger (1985 cropping season)

revenu agricole de cette agriculture minière [3]. Ces données sont alarmantes, car la productivité de ces sols au départ est déjà faible à cause d'un niveau naturellement bas en éléments nutritifs. À ceci s'ajoutent une dégradation des propriétés physiques des sols et une augmentation du ruissellement et de l'érosion [4, 5].

L'Afrique sub-saharienne a le plus faible taux d'utilisation des engrais minéraux, (approximativement 10 kg d'éléments par hectare) et les ajustements structurels conduisent actuellement les gouvernements à supprimer les subventions sur les engrais, sans avoir mis en place, au préalable, des nouvelles politiques qui favoriseraient le maintien de l'utilisation d'intrants. Or ceci se fait au détriment de l'amélioration et du maintien de la fertilité des sols.

Diverses études [6] ont montré que la productivité des terres au Sahel est souvent plus limitée par la disponibilité en éléments nutritifs que par le déficit pluviométrique (tableau 2).

Par ailleurs, les mesures correctives de la fertilité chimique doivent s'effectuer en gestion intégrée avec l'utilisation des ressources minérales naturelles disponibles localement (comme les phosphates naturels par exemple) combinées au recyclage d'éléments nutritifs de sources organiques ou de sous-produits industriels.

L'accroissement de la production agricole doit impérativement passer par l'augmentation de la productivité au niveau des parcelles déjà cultivées, plutôt que par celui des superficies défrichées ou l'utilisation abusive de terres de parcours qui correspondent généralement à des

sols fragiles. Cet accroissement de la productivité peut être obtenu par l'application de technologies existantes ou en cours d'acquisition par la recherche. Une conséquence attendue des nouvelles pratiques est la régénération du couvert arbutif et arboré dont les fonctions sont essentielles : production de bois, pâtures, lutte contre l'érosion, etc.

Le problème du phosphore en Afrique de l'Ouest

Les problèmes de carence en phosphore dans la région

La carence en phosphore (P) représente une contrainte majeure pour la production agricole en Afrique de l'Ouest [7], la réponse aux engrais azotés ne devenant effective que lorsque l'eau et le phosphore ne sont plus des facteurs limitants [8]. Près de 80 % des sols de l'Afrique sub-saharienne sont carencés en phosphore. L'importance de la déficience en phosphore, l'estimation des besoins en P des principales cultures et l'évaluation de l'efficacité de différents types d'engrais phosphatés ont fait l'objet de nombreuses recherches [9-12]. Cependant, le niveau d'engrais phosphatés utilisé par les paysans reste très faible à cause du coût élevé des engrais importés. Ainsi, l'Afrique sub-saharienne utilise 1,6 kg de P/ha contre 7,9 et 14,9 pour l'Amérique

latine et l'Asie, respectivement. Il importe donc d'y valoriser au mieux l'engrais P importé ou les ressources locales de phosphates naturels.

L'augmentation de l'efficacité des engrais phosphatés

Nombre de recherches ont été menées sur l'augmentation de l'efficacité des engrais. Bationo (données non publiées) a montré que l'efficacité du phosphore est meilleure dans les systèmes de rotations céréales/légumineuses que dans la monoculture de céréales. L'application des résidus de récolte, en favorisant la complexation du fer et de l'aluminium, augmenterait de façon efficace la disponibilité du phosphore dans les sols [13]. L'effet des résidus de récolte sur l'augmentation du P prélevé par les cultures est dû aussi à l'effet des substances organiques telles que les auxines et les gibbérellines qui augmentent la densité racinaire permettant ainsi l'exploitation d'un plus grand volume de sol [14].

Les méthodes d'application du phosphore ont été depuis longtemps utilisées pour augmenter l'efficacité des engrais phosphatés. Sur des sols sableux du Niger, pauvres en matière organique (0-4 %) et en phosphore assimilable (Bray P1 = 2 mg.kg⁻¹) mais à faible pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore, on compare l'application à la volée et sans incorporation de P, l'application à la volée avec incorporation de P, l'application à la volée avec billonnage et le placement du phosphore dans les poquets du semis.

L'utilisation du P³² a permis de faire le bilan du P sur le mil (tableau 3).

L'application de phosphore au poquet a donné le plus bas taux de recouvrement tandis que l'incorporation et le billonnage ont conduit respectivement à des taux de recouvrement de 22 et 21 % la première année. L'utilisation du phosphore de l'engrais se situait entre 10 à 22 % la première année et 8 à 14 % la seconde année. La plus faible utilisation du phosphore en deuxième année était due à l'effet résiduel du phosphore appliqué antérieurement.

L'utilisation des phosphates naturels de la région

Il existe dans la sous-région des gisements de phosphates naturels. Les phosphates naturels de Tahoua (Niger), Parc-

Tableau 3

L'utilisation de ³²P par le mil selon différentes méthodes d'application du phosphore (P) à Sadoré au Niger (saisons culturales 1989 et 1990)

Traitements	Production (t.ha ⁻¹)				Utilisation totale (kg.ha ⁻¹)		P dérivé de l'engrais (%)		P total dérivé de l'engrais (kg.ha ⁻¹)		Utilisation du phosphore (%)	
	Épis		Paille		1989	1990	1989	1990	1989	1990	1989	1990
	1989	1990	1989	1990								
À la volée et non incorporé	1,04	1,40	2,00	1,97	7,55	7,40	46,00	33,77	3,36	2,45	15,40	12,47
À la volée et incorporé	1,13	1,58	2,39	2,13	8,10	7,91	53,42	33,53	4,37	2,70	22,24	13,78
À la volée et billonnage	1,21	1,55	2,56	2,23	9,12	7,62	46,09	37,74	4,14	2,78	21,09	14,15
Placé au poquet	0,85	1,35	2,00	1,83	4,93	5,55	42,82	28,48	2,02	1,53	10,30	7,83
Erreur standard	± 0,10	± 0,07	± 0,29	± 0,14	± 0,77	± 0,44	± 3,45	± 0,74	± 0,45	± 0,27	± 2,01	± 3,6
CV (%)	23	11	33	16	26	16	17,95	20	32	28	29	28

Use of P³² by pearl millet with different methods of P application in Sadore, Niger (1989 and 1990 cropping season)

W (Niger), Kodjari (Burkina Faso) et Tilemsi (Mali) ont été plus particulièrement étudiés. L'application directe des phosphates naturels de la région peut être une solution économique pour remplacer les engrais importés coûteux [15-19], mais leur efficacité dépend de leur composition chimique et minéralogique, qui peut être très variable (tableau 4), ainsi que des paramètres pédologiques et des systèmes de culture [19-21].

Ainsi, au Niger, les phosphates du Parc-W et ceux de Tahoua présentent respectivement une efficacité égale à 48 et 76 % de celle du superphosphate simple [7], illustrant l'intérêt de l'application directe des phosphates naturels de Tahoua [18]. Les données du tableau 5 montrent, pour les différentes zones agro-écologiques du Niger, que les phosphates naturels de Tahoua (PNT) sont aussi plus efficaces que ceux de Kodjari (PNK), aussi bien pour le mil que pour le niébé.

La faible efficacité des phosphates naturels par rapport au superphosphate simple résulte généralement de leur faible solubilité dans l'eau. L'acidification partielle des phosphates naturels permet d'améliorer leur solubilité et leur efficacité agronomique. Le coût global de l'opération (achat + traitement) est inférieur au coût de l'achat des engrais commerciaux conventionnels [22, 23]. Des essais en milieu paysan [18] ont ainsi montré que les phos-

phates naturels partiellement acidifiés du Parc-W (à 50 %) étaient aussi efficaces que les engrais minéraux phosphatés importés.

Plus récemment d'autres essais complètement gérés par les paysans ont été effectués au Mali et au Niger pour l'évaluation des phosphates de Tilemsi et de Tahoua. Nous en rapportons les résultats ci-dessous.

Essais au Mali

Trois zones agro-écologiques différentes ont été sélectionnées au Mali pour une évaluation agro-économique, en milieu paysan, des phosphates naturels de Tilemsi : Tafla dans la zone sahélienne avec une pluviométrie moyenne de 600 mm, Sougoumba dans la zone soudanienne avec une pluviométrie moyenne de 800 mm et Tinfounga dans la

Tableau 4

Composition chimique en pourcentage de quelques phosphates naturels de l'Afrique de l'Ouest

	Kpeme (Togo)	Parc-W (Niger)	Kodjari (Burkina Faso)	Tahoua (Niger)	Tilemsi (Mali)
Total P	15,7	12,4	11,1	12,2	12,5
Citrate-soluble P	1,31	1,14	0,92	1,09-2,18	1,84
CaO	51,3	40,0	33,5	39	14,4
F	4,0	3,4	3,1	2,8	3,1
Al ₂ O ₃	1,1	1,5	4,0	2,1	2,1
Fe ₂ O ₃	1,3	1,0	4,1	10,3	6,1
MgO	0,05	0,13	0,29	0,20	0,52
Na ₂ O	0,23	0,13	0,09	0,15	0,37
K ₂ O	0,04	0,13	0,043	0,12	0,1
SiO ₂	0,03	0,005	-	0,005	0,007
CO ₂	4,6	23,0	25,7	11,7	9,4
C	1,6	1,2	1,3	1,5	

Chemical composition (%) of some phosphate rocks from West Africa

Tableau 5

Efficacité agronomique relative en pourcentage des phosphates naturels de Tahoua (PNT) et de Kodjari (PNK) dans différentes zones agro-écologiques du Niger

	Sadoré		Gobéry		Gaya	
	PNT	PNK	PNT	PNK	PNT	PNK
Grains de mil	63	32	76	41	80	57
Biomasse totale du mil	65	35	60	40	68	63
Fanes de niébé	43	28	73	51	42	42
Biomasse totale du niébé	56	40	72	51	52	55

Agronomic efficiency (%) of Tahoua phosphate rock (PNT) and Kodjari phosphate rock (PNK) in different agro-ecological zones of Niger

zone Nord guinéenne avec une pluviométrie moyenne de 1 200 mm [24]. Les systèmes de cultures utilisés sont la rotation mil/arachide à Tafla, sorgho-coton à Sougoumba et maïs-coton à Tinfounga.

Les traitements utilisés sont répertoriés dans l'encadré.

Le tableau 6 donne l'effet des différentes sources d'engrais sur les rendements de l'arachide, du mil, du sorgho, du maïs et

Encadré

Évaluation des phosphates naturels : traitements utilisés

1. T1 : témoin.
2. T2 : pratique paysanne (chaque paysan applique les quantités d'engrais qu'il juge nécessaires).
3. T3 : doses d'engrais recommandées par la vulgarisation.
4. T4 : application annuelle des phosphates de Tilemsi.
5. T5 : application de fond des phosphates de Tilemsi.

Natural phosphate evaluation : used treatments

Tableau 6

Effet des différentes sources d'engrais sur les rendements (kg·ha⁻¹) de l'arachide, du mil, du sorgho, du maïs et du coton dans les différentes zones agroclimatologiques du Mali (1989-1992)

		Témoin absolu	Dose paysanne	Dose recommandée par la vulgarisation	Application annuelle du phosphate de Tilemsi	Application de fond du phosphate de Tilemsi	PPDS	CV (%)
Sougoumba								
Sorgho	1989	993	979	1 275	1 325	1 464	156	18
	1990	955	1 103	1 224	1 365	1 216	215	25
	1991	866	1 134	1 264	1 165	1 210	271	33
	1992	1 036	1 289	1 923	2 207	1 785	162	25
Coton	1989	1 121	1 351	1 645	1 610	1 691	190	17
	1990	731	1 013	1 233	1 044	1 142	174	23
	1991	1 245	1 428	1 544	1 614	1 564	152	14
	1992	931	1 120	1 307	1 354	1 514	288	18
Tafla								
Arachide	1988	775	885	844	825	775	112	19
	1990	283	334	361	338	370	67	27
	1991	499	746	591	609	577	107	26
	1992	556	583	695	564	660	109	24
Mil	1989	718	746	894	960	1 039	132	21
	1990	742	995	969	774	914	161	25
	1991	535	664	788	859	1 324	156	
	1992	254	360	411	349	337	101	40
Tinfounga								
Maïs	1989	1 014	1 818	2 296	1 877	2 204	331	45
	1990	723	2 046	2 725	2 069	2 174	374	26
	1991	1 043	2 193	2 725	2 865	2 509	304	19
	1992	670	2 087	2 712	2 190	2 529	418	28
Coton	1989	866	1 462	1 595	1 410	1 571	165	16
	1990	1 178	1 997	2 236	2 001	1 982	201	15
	1991	436	761	1 103	954	1 116	160	25
	1992	826	1 461	1 515	1 463	1 479	194	20

PPDS : plus petite différence significative.

Effect of different sources of fertilizers on groundnut, millet, sorghum, maize and cotton in different agroclimatological zones of Mali (1989-1992)

Tableau 7

Comparaison des traitements avec les gains nets (francs CFA/ha)* pour les différents traitements d'engrais dans trois zones agro-écologiques au Mali pendant les années 1989-1992

Sites	Témoin absolu (T1)	Dose recommandée (T3)	Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)	Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)
Sougoumba (coton-sorgho)				
Témoin absolu (T1)		130 210	145 610	142 950
Dose recommandée (T3)			15 400	12 740
Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)				- 2 660
Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)				
Tafla (arachide-mil)				
Témoin absolu (T1)		3 840	- 24 170	11 865
Dose recommandée (T3)			- 28 010	7 845
Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)				36 035
Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)				
Tinfouga (coton-maïs)				
Témoin absolu (T1)		319 025	224 560	278 935
Dose recommandée (T3)			- 94 465	- 40 090
Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)				54 375
Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)				

* Tous les prix sont estimés à 5 FCFA près. 250 F CFA = 1 \$ US avant janvier 1994.

Pairwise comparison of net gains (CFA F/ha) obtained with different fertilizer treatments in 3 agroecological zones of Mali over the 1989-1992 year period

Tableau 8

Analyses économiques des différentes options de gestion des fertilités des sols à Banizoumbou et Karabedji (Niger)

Sites	Traitements	Coût des engrais (F CFA/ha)	1996			1997		
			Production grain (kg/ha)	Bénéfice net (F CFA/ha)	Rapport bénéfice/coût	Production grain (kg/ha)	Bénéfice net (F CFA/ha)	Rapport bénéfice/coût
Banizoumbou	Témoin	-	344	-	-	248	-	-
	SSP	30 000	600	38 400	1,78	396	22 200	0,74
	PRT	3 360	462	17 700	5,27	292	6 600	1,96
	PRT + SSPHP	7 940	598	38 100	4,79	295	7 050	0,89
	SSP + NAC	53 077	708	54 600	1,02	521	40 950	0,78
	SSP + NAC + CR	53 077	902	83 700	1,58	682	65 250	1,22
Karabedji	Témoin	-	550	-	-	310	-	-
	SSP	30 000	703	22 950	0,77	655	51 750	1,73
	PRT	3 360	630	12 000	3,57	372	9 300	2,77
	PRT + SSPHP	7 940	738	28 200	3,55	688	56 700	7,14
	SSP + NAC	53 077	800	37 500	0,70	787	71 550	1,34
	SSP + NAC + CR	53 077	1 264	107 100	2,02	1 548	185 700	3,49

SSP : simple superphosphate (13 kg P/ha) ; PRT : *Tahoua phosphate rock* (13 kg P/ha) ; SSPHP : *hill placement of single superphosphate* (3 kg P/ha) ; CR : *crop residue* (2 t/ha) ; NAC : nitrate d'ammonium calcique (30 kg N/ha).

Cost-effectiveness of the different fertility management options at Banizoumbou and Karabedji (Niger)

du coton. De ces données, on peut tirer les conclusions suivantes. Les différentes sources d'engrais ont généralement eu un effet significatif sur la production des cultures par rapport aux témoins T1 ; il n'y a pas de différence significative entre l'application des engrais minéraux importés (T3) et des phosphates naturels de Tilemsi (T4) ; l'application de fond (T5) n'est pas significativement supérieure à l'application annuelle (T4).

Une analyse économique montre des gains nets en comparant les traitements entre lignes et colonnes (tableau 7). À Sougoumba, l'utilisation des pratiques recommandées a permis d'obtenir des gains nets de 130 210 francs CFA.ha⁻¹ par rapport au traitement témoin tandis que les phosphates de Tilemsi (T4) donnent des gains nets de 145 610 francs CFA.ha⁻¹. En revanche à Tinfouga l'utilisation des phosphates de Tilemsi (T4) ferait perdre 94 465 francs CFA.

Essais au Niger

Des essais menés au Niger (Banizoumbou et à Karabedji) ont évalué la performance de certaines technologies de restauration de la fertilité des sols par les paysans.

Les résultats de ces essais sont rapportés dans le tableau 8. On peut en conclure que l'utilisation des engrais est plus rentable à Karabedji (pluviométrie moyenne annuelle de 560 mm) qu'à Banizoumbou

Summary

Soil fertility constraints to sustainable crop production in the Sahelo-sudanian zone: case on phosphorus and efficient use of indigenous phosphates rock

A. Bationo, S. Koala, E. Ayuk

Low erratic rainfall, high soil and air temperatures, soils with poor natural fertility, surface crusting and low water-holding capacity, are the main characteristics of the West African semiarid tropics. Present farming systems are unsustainable, relatively unproductive and detrimental to the environment. Plant nutrient balances for many cropping systems are negative, indicating that farmers are mining their soils (Table 1). Studies have shown that it is often poor plant-nutrient supplies that limit land productivity in the Sahel rather than rainfall (Table 2).

Phosphorus is one of the major constraints to crop production in West Africa. Some phosphate rocks indigenous to regions such as Tilemsi (Mali) and Tahoua (Niger) are suitable for direct application (Tables 4, 5, and 6). Partial acidulation is one way of increasing the agronomic effectiveness of local phosphate rock. Rotations of cereals with legumes, application of organic amendments (e.g. crop residue) and P fertilizer with ridging can substantially increase P efficiency. In on-farm trials carried out in Mali, net production gains obtained after the application of Tilemsi phosphate rock (Table 7) were almost as good as after application of imported water-soluble P fertilizers. In Niger, once soil fertility was restored subsequent to the application of Tahoua phosphate rock (Table 8), an additional pocket application of 3 kg P/ha of simple superphosphate gave higher benefits than conventional applications of 13 kg P/ha superphosphate.

Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 365-71.

(pluviométrie annuelle moyenne de 400 mm). Le bénéfice net provenant de l'utilisation des phosphates naturels est faible mais le coût associé à leur utilisation est aussi faible. Cela explique que le rapport bénéfice/coût est plus élevé qu'avec l'utilisation des autres intrants. L'utilisation des phosphates naturels de Tahoua à la volée et l'incorporation avec placement de petites quantités de superphosphate simple donnent en général des rapports bénéfice/coût plus attractifs. L'utilisation des résidus de culture comme paillis améliore beaucoup le rapport bénéfice/coût, montrant ainsi l'importance de combiner l'utilisation des engrais minéraux avec les amendements organiques.

Conclusion

La recherche en station a développé des technologies prometteuses dont une petite partie seulement atteint les agriculteurs. De plus, elles n'incorporent pas les pratiques paysannes, les réalités socio-

économiques du milieu, les priorités et perceptions des agriculteurs. Leurs points de vue ainsi que leurs connaissances traditionnelles ne sont pas pris en compte. La recherche future doit associer chercheurs, agriculteurs, agents de vulgarisation, Organismes non gouvernementaux et décideurs pour définir ensemble toutes les étapes de conception, d'exécution et d'évaluation de la recherche. Les technologies qui seront développées sous ces conditions auront le plus de chance d'être adoptées par les paysans.

Même si les agriculteurs sont convaincus des bénéfices de la restauration de la fertilité du sol, ils n'ont pas les moyens d'utiliser les engrais importés et il est donc essentiel qu'ils aient accès au crédit, en brisant le cercle vicieux, ce qui leur permettrait d'utiliser les engrais et d'accroître leurs rendements.

L'investissement dans la fertilisation des sols a des bénéfices et coûts directs et indirects. Ces derniers n'ont pas toujours été pris en compte dans l'analyse économique traditionnelle et méritent donc d'être quantifiés dans les recherches futures ■

Résumé

Une pluviométrie faible et irrégulière, une température élevée du sol et de l'air, des sols à faible fertilité, l'encroûtement des sols et une faible capacité de rétention en eau sont les principales caractéristiques des zones tropicales semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Les systèmes actuels de production sont non soutenable, faibles en productivité et destructifs de l'environnement, la plupart ayant un bilan négatif en éléments nutritifs, indiquant la pratique d'une agriculture minière.

Le plus souvent, la basse fertilité des sols limite davantage que la pluviométrie la production agricole au Sahel.

L'application directe de phosphates naturels de Tilemsi (Mali) et Tahoua (Niger) améliore la production et l'acidification partielle augmente de façon très significative l'efficacité agronomique du phosphate de Kodjari ou du Parc de W.

Des essais en milieu paysan ont permis de conclure, au Mali, que l'utilisation des phosphates de Tilemsi permet des gains nets comparables à ceux obtenus avec les phosphates solubles à l'eau. Au Niger, une fois la fertilité des sols restaurée par l'application des phosphates de Tahoua, l'addition au poquet de l'équivalent de 3 kg P/ha de superphosphate simple permet d'obtenir les rapports bénéfices/coûts les plus élevés par rapport à la dose traditionnellement recommandée de 13 kg P/ha de superphosphate. La rotation céréales/légumineuses, l'application d'amendements organiques tels que les résidus de cultures ainsi que l'application de phosphore suivi de billonnage permettent d'augmenter de façon très significative l'efficacité des engrais phosphatés. Cependant, le plus souvent les paysans ne disposent pas des crédits nécessaires pour se procurer ces intrants externes. L'identification des contraintes socio-économiques, l'adoption de ses intrants externes et l'amélioration de l'environnement politique sont requis pour assurer la fertilisation durable des sols de l'Afrique de l'Ouest.

Références

1. IFPRI. *A 2020 vision for food, agriculture and the environment : the vision, challenge and recommended action*. Int. Food Policy Res. Inst., Washington, D.C., 1995 ; 50 p.
2. Stoorvogel JJ, Smaling EMA. *Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa, 1983-2000*. Report 28, DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC-DLO), Wageningen, Netherlands, 1990 ; 137 p.
3. Van der Pol F, Van der Geest N. *Economics of the nutrient balance, in agriculture, economics, and sustainability in the Sahel*. In : Hujsman, Van Tilburg, eds. Amsterdam, Royal Tropical agriculture, 1993 ; 41-112.
4. Vlaar JCJ, Wesselink AJ. *Aménagement de conservation des eaux et des sols par digues fil-trantes*. Commission des Communautés Européennes, 1990.
5. Buerkert A. Effects of crops residues, phosphorus and spatial variability on yield and nutrient uptake of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Southwest Niger. Diss. Universität Hohenheim. In : Ulrich E, ed. Grauer. Stuttgart : Verlag, 1995 ; 272 p.
6. Bationo A, Biélers CL, Van Duivenbooden N, Buerkert AC, Seyni F. The management of nutrients and water in the West African semi-arid tropics. In : *Management of nutrients of water in rainfed and semi-arid areas*. Proceedings of a consultant meeting organized by the joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture IAEA-Ted donc-1026, 1998 ; 15-35.
7. Bationo A, Chien SH, Mokwunye AU. Chemical characteristics and agronomic values of some phosphate rocks in West Africa. In : Menyonga JMT, Bezuneh, Youdeowwei A, eds. *Food grain production in semi-arid Africa*. SAFGRAD Coordination office. DAU/SAFGRAD, Essex, UK, 1987 ; 399-407.
8. Traore MF. Étude de la fumure minérale azotée intensive des céréales et du rôle spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali. *Agron Trop* 1974 ; 5 : 567-86.
9. Bouyer S. *L'emploi des phosphates naturels de Thiès dans l'agriculture sénégalaise*. Compte rendu, 2nd Conf. InterAfr. des Sols. Léopoldville, 1954 ; 19-35.
10. Goldsworthy PR. Responses of cereals to fertilizers in Northern Nigeria I. *Sorghum Expl Agric* 1967 ; 3 : 29-40.
11. Goldsworthy PR. Responses of cereals to fertilizers in Northern Nigeria II. *Maize Expl Agric* 1967 ; 3 : 263-8.
12. Pichot J, Roche P. Le phosphate dans les sols tropicaux. *Agron Trop* 1972 ; 27 : 939-65.
13. Bationo A, Buerkert A, Sedogo MLP, Christianson BC, Mokwunye AU. A critical review of crop residue use as soil amendments in the West African semi-arid tropics. In : Powell M, Fernandez S, Williams TO, Renard C, eds. *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa*. II. Technical papers. Proceedings International Conference, Addis Abeba, Ethiopia, 22-26 Nov. 1993. Addis Abeba, Ethiopia : ILCA, 1995 : 305-22.
14. Hafner H, George E, Bationo A, Marschner H. Effect of crop residues on root growth and nutrient acquisition of pearl millet in an acid sandy soil in Niger. *Plant and Soil* 1993 ; 150 : 117-27.
15. Jones MJ. *A review of the use of rock phosphate as fertilizer in francophone West Africa*. Samaru Misc. Paper 43. Institute for Agricultural Research. PMB 1044 Zaria, 1973.
16. Mokwunye AU. Phosphorus fertilizers in Nigeria savannah soils. II. Evaluation of three phosphate sources applied to maize at Samaru. *Trop Agric* (Trinidad) 1979 ; 56 : 65-8.
17. Thibaut F, Traoré MFC, Pichot J. L'utilisation agricole des phosphates naturels de Tilemsi (Mali). Synthèse des résultats de la recherche agronomique sur les cultures vivrières et oléagineuses. *Agron Trop* 1980 ; 35 : 240-9.
18. Bationo A, Chien SH, Christianson CB, Henao J, Mokwunye AU. A three year evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *Soil Sci Soc Am J* 1990 ; 54 : 1772-7.
19. Kasawneh FE, Doll EC. The use of phosphate rock for direct application. *Adv Agron* 1978 ; 30 : 159-206.
20. Lehr JR, McClellan GH. *A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application*, Bulletin 43, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, 1972.
21. Chien SH, Hammond LL. A simple chemical method for evaluating the agronomic potential of granulated phosphate rock. *Soil Sci Soc Am J* 1978 ; 42 : 615-7.
22. Hammond LL, Chien SH, Mokwunye AU. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv Agron* 1986 ; 48 : 89-140.
23. Schultz JJ. *Sulfuric acid-based partially acidulated phosphate rock. Its production cost and use*. Techn. Bul. T-31. International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL, USA, 1986.
24. Bationo A, Ayuk E, Ballo D, Kone M. Agronomic and economic evaluation of Tilemsi phosphate rock in different agroecological zones of Mali. *Nutrient Cycling in Agrosystems* 1997 ; 48 : 179-89.