

Fertilisation des sols dans les monts Mandara à l'Extrême-Nord du Cameroun

Du diagnostic aux recommandations

Jean-Pierre MVONDO AWONO*, Alexis BOUKONG**, Félix MAINAM***,
Gabriel YOMBO**, Gauthier NJOKOU-TCHOUTANG**, Honoré BEYEGUE-DJONKO*

*CEDC- Université de Dschang, BP 410, Maroua, Cameroun

**Université de Dschang, BP 222, Dschang, Cameroun

***IRAD, BP 33 Maroua, Cameroun

Résumé — La recherche d'une efficacité agronomique, économique et environnementale de la production agricole recommande une gestion des sols basée sur des diagnostics de sols et de plantes fiables. La pertinence de cette démarche est exacerbée dans des systèmes culturaux intensifs où les recommandations de fertilisation sont aléatoires comme dans les monts Mandara. Cette étude a été conduite dans la plaine de Gawar dans le but d'arriver à des recommandations de fertilisation fondées sur des diagnostics. Les sols de cette plaine ont fait l'objet d'une description morphologique et d'une caractérisation physico-chimique. Les données révèlent de nombreuses contraintes à la production agricole sur les sols ferrugineux lessivés, dont la faible teneur en matière organique (0,5 %) et en azote (0,34 %) dans l'horizon de surface. L'évaluation des terres confirme ces limitations pour le maïs. Un essai de fumure organique utilisant des doses étagées entre 0 et 40 t/ha de fumier ou de compost, révèle une réponse cubique du maïs. Le rendement maximal (4,3 t/ha) est atteint avec 35 t/ha de fumier. Une immobilisation de l'azote a été observée avec la dose de 8 t/ha, ce qui suggère d'être prudent dans l'application de faibles quantités de matière organique sur ces sols.

Abstract — **Soil fertilisation in the Mandara Mountains in the Extreme North of Cameroon: from diagnosis to recommendations.** The search for agronomic, economic and environmental efficiency calls for a soil management programme based on relevant soil and plant diagnosis. This is particularly recommended for intensive agricultural systems such as in the Mandara mountains. The objective of this study was to make fertiliser recommendations based on soil diagnosis. A morphological description of major soil types was made and their physical/chemical structure determined. Ferruginous soils have several limitations for crop production. Some of them are the low soil organic matter content (0.34%) and low soil nitrogen (0.22%). Land assessment confirms these limitations for corn. A field trial using cow manure or compost at rates between 0 and 40 t/ha, showed a cubic corn yield response. Maximum corn yield (4.3 t/ha) was obtained with 35 t/ha of organic manure. A nitrogen immobilisation was observed when 8 t/ha were applied. This calls for caution when low organic matter rates are applied on these soils.

Introduction

Compte tenu de la diminution des rendements des principales cultures, le besoin se fait sentir d'informations susceptibles de permettre d'améliorer la production agricole dans la région septentrionale du Cameroun. Dans le Mayo Tsanaga par exemple, la baisse des rendements affecte surtout les cultures qui participent directement à l'alimentation des populations et donc, à la sécurité alimentaire. Les rendements de l'arachide et du mil sont passés respectivement de 1 020 kg/ha et 810 kg/ha en 1985, à 700 kg/ha et 670 kg/ha en 1999 ; le rendement du sorgho a diminué de 1 000 kg/ha en 1980 à 800 kg/ha en 1999 (DDAMT, 2000).

Parmi les facteurs pouvant expliquer la baisse du rendement des cultures, figurent les limitations imposées par les sols ou leur gestion. La connaissance des facteurs limitants est un préalable important dans la recherche d'une efficacité agronomique, économique et environnementale de la production agricole. Cette dernière recommande une utilisation et une gestion des sols basés sur des diagnostics fiables (Dahnke et Olson, 1990 ; Parent et Dafir, 1992). Il est en particulier important d'identifier les carences des sols et les besoins des cultures en éléments nutritifs. Cette information est nécessaire pour des recommandations judicieuses de fertilisants.

Or, dans la région septentrionale du Cameroun où les systèmes culturels sont de plus en plus intensifs (Boutrais *et al.*, 1984), les recommandations de fertilisation sont inexistantes ou aléatoires. C'est le cas notamment dans la plaine de Gawar, au sein des monts Mandara, où l'on rencontre des sols ferrugineux lessivés (Pontanier et Kotto-Samé, 1982). Ces derniers ont fait l'objet d'une évaluation et notamment pour la production du maïs.

L'introduction du maïs dans la région septentrionale du Cameroun, où les contraintes climatiques et édaphiques sont connues (Pontanier et Kotto-Samé, 1982), est récente. Elle participe à la stratégie de diversification des productions agricoles dans cette région. Un essai agronomique a été mis en place afin de déterminer la courbe de réponse du maïs à la fumure organique. Le présent document présente les principaux résultats obtenus sur la caractérisation des sols ferrugineux lessivés, leur évaluation pour la production du maïs et la réponse de cette culture à l'apport de fumures organiques.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

La plaine de Gawar est une plaine de piedmont dont l'altitude est comprise entre 500 et 600 m. Elle couvre une superficie de près de 80 000 ha dans les monts Mandara, dans la province de l'Extrême-Nord au Cameroun (Maïnam, 1999). Le climat est de type soudano-sahélien, modifié par les effets orographiques. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 800 et 1 000 mm ; la saison des pluies s'étend de juin en octobre et les précipitations sont surtout à caractère orageux. Elles provoquent alors un ruissellement abondant et le risque d'érosion est très élevé (Brabant et Gavaud, 1985). Les températures oscillent entre 13°C (janvier) et 38°C (avril) ; la température moyenne annuelle est de 28°C ; l'évapotranspiration potentielle annuelle est d'environ 1600 mm (Maïnam, 1999).

La zone de Gawar est caractérisée par une grande variabilité des sols. (Pontanier et Kotto-Samé, 1982) ont identifié dix types de sols : des vertisols typiques, des vertisols dégradés, des sols d'apport à tendance vertique, des lithosols à granite, des sols lithosoliques d'érosion, des sols d'apport à tendance ferrugineuse, des sols ferrugineux peu lessivés, des sols halomorphes ou sols hardés, des sols alluviaux modaux et des sols ferrugineux lessivés. Ces derniers ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique et d'une évaluation pour la culture du maïs.

Caractérisation des sols

Les sols ferrugineux lessivés de Gawar ont été décrits sur la base des observations de terrain, des analyses physiques et chimiques, et des travaux antérieurs (Pontanier et Kotto-Samé, 1982 ; Brabant et Gavaud, 1985). Une analyse granulométrique a permis l'identification de la texture. Les analyses chimiques ont été réalisées selon des méthodes conventionnelles. Ainsi, la matière organique a été déterminée par la

méthode de Walkley et Black ; le calcaire total par la méthode à l'acide sulfurique ; la conductivité électrique par la méthode à l'hexametaphosphate de sodium ; le pH-H₂O et pH-KCl à l'aide d'un pH-mètre dans un rapport 1/2,5 (10 g de prise d'essai pour 25 ml d'eau distillée ou de KCl) ; la CEC par la méthode à l'acétate d'ammonium ; les bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) et le P total par spectrophotométrie atomique ; le phosphore assimilable par la méthode Olsen ; l'azote total par titrage après minéralisation de l'extrait à chaud à l'acide sulfurique (Pauwels *et al.* 1992).

Les caractéristiques considérées sont celles correspondant à la section des 25 cm superficiels du sol. La discussion des résultats a été faite sur la base de standards disponibles sur l'appréciation du statut physico-chimique des sols (Sys *et al.*, 1991 ; Euroconsult, 1989). Le rapport cationique Ca/Mg/K a été déterminé et comparé à l'optimum 76/18/6 tel que proposé par Sys *et al.* (1991).

Evaluation des terres

L'évaluation des terres a été faite suivant la méthode paramétrique de la classification des terres de la FAO (FAO, 1976 ; Sys *et al.*, 1991). Dans cette méthode, une valeur chiffrée ou taux, comprise entre 0 et 100, est attribuée à chaque caractéristique ou propriété. La valeur traduite l'efficacité ou l'efficience de la caractéristique ou propriété dans la satisfaction de l'exigence de l'utilisation sélectionnée. La caractéristique ou la qualité est d'autant plus satisfaisante que sa valeur paramétrique se rapproche de 100. Les critères de diagnostic pris en compte dans l'étude sont le climat (c), la topographie (t), l'état d'humidité du sol (w), les conditions physiques du sol (s), la fertilité chimique du sol (f) et la salinité et alcalinité (n) (Sys *et al.*, 1991 et 1993).

Les données climatiques utilisées dans l'étude ont été recueillies dans les stations météorologiques de Mokolo (790 m d'altitude) et de Salak (422 m d'altitude). L'indice climatique a été obtenu selon la méthode des racines carrées de Khiddir (1986) et converti en valeur paramétrique ; de même, l'indice des terres a été déterminé puis converti en classe et sous-classe d'aptitude (Sys *et al.*, 1991).

Détermination de la réponse du maïs à l'application de fumure organique

L'essai a été réalisé au cours de la saison culturale de l'année 2001 à Gawar, sur un sol ferrugineux lessivé (Pontanier et Kotto-Samé, 1982). La variété utilisée est CMS-9015 dont le rendement optimal est de 4 à 5 t/ha dans la région. Les fumures organiques étaient le fumier de bovins provenant des reposoirs de bœufs et le compost fabriqué à partir de déchets urbains et de déjections animales. Le sol des parcelles expérimentales, le fumier et le compost ont été analysés.

Les traitements sont constitués de types de fumure (fumier ou compost) et de six doses (0, 8, 16, 24, 32 ou 40 t/ha). Le dispositif expérimental est en blocs complètement randomisés avec quatre répétitions. Les dimensions d'une unité expérimentale sont de 7,5 m x 5 m, soit 37,5 m². L'épandage du fumier et du compost a eu lieu le 10 mai, suivi d'un retournement superficiel. Le labour à la charrue a été réalisé 37 jours plus tard (16 juin 2001), après les premières pluies et les semis le 05 juillet. Les écartements utilisés étaient de 80 cm x 20 cm, soit une densité d'environ 62 500 plants/ha.

Le sarclage, le binage et le démaillage ont été effectués simultanément 16 jours après semis (JAS). Le buttage a eu lieu 23 JAS. La récolte pour la détermination de la biomasse aérienne et du rendement en grain a été effectuée 92 JAS, sur les deux lignes centrales de chaque unité expérimentale.

L'analyse de variance a été effectuée à l'aide du logiciel SAS. La comparaison des types de fumure a été réalisée par un contraste simple. Des contrastes de régression ont permis de décrire la réponse du maïs à l'application de doses croissantes de compost ou de fumier.

Résultats

Caractéristiques physiques et chimiques du sol et des fumures

Les caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon de surface du sol ferrugineux lessivé étudié figurent dans le tableau I. Les teneurs en matière organique et en éléments minéraux trouvés dans le sol confirment les données disponibles sur les sols de Gawar (Brabant et Gavaud, 1985 ; Maïnam, 1999). Le

rapport cationique Ca/Mg/K est 67/13/20. Le niveau d'azote est moyen dans les horizons A et B ; le phosphore assimilable est acceptable pour le maïs (Sys *et al.*, 1991 ; Euroconsult, 1989).

Tableau I. Caractéristiques physiques et chimiques d'un profil typique des sols ferrugineux lessivés, du fumier de bovin et du compost utilisés.

Caractéristiques		Compost	Fumier	Sol
Granulométrie	Argile (%)			5
	Limon (%)			23
	Sable (%)	62		72
Classe texturale		Sable limoneux		
Acidité	pH H ₂ O	7,5	7,5	5,6
	pH KCl	7,5	8,1	5,1
Bases échangeables (méq/100 g terre)	Ca ²⁺	20,1	15,5	4,7
	Mg ²⁺	4,02	0,72	0,93
	K ⁺	1,16	9,72	1,42
	Na ⁺	0,07	0,08	0,08
Somme des bases		25,4	26,1	7,1
C.E.C. (méq/100 g terre)				3,2
Saturation en bases (%)		100	100	100
Carbone et azote	CO (%)	1,59	17,57	0,28
	M.O. (%)	2,7	30,3	0,50
	N total (%)	0,79	0,88	0,33
Phosphore assimilable (ppm)		70,1	50,0	13,82
Conductivité électrique (µS/cm)				48
CaCO ₃ (%)		8,5	6,5	3,0

Aptitude climatique

Le climat de la zone de Gawar présente une aptitude élevée pour la culture du maïs (tableau II). On note cependant quelques limitations légères liées à l'humidité relative élevée lors de la phase de maturation (73 %) et le rapport n/N assez bas pendant cette période (0,54 %). Ceci suggère que les contraintes majeures liées à la production du maïs soient à rechercher sur les caractéristiques édaphiques.

Tableau II. Aptitude culturale des sols ferrugineux lessivés de la plaine de Gawar pour le maïs.

Profondeur Valeur (cm)	Valeur paramétrique	Pente %	Indice climatique	Indice de terre	Classe et sous classes
> 40	100	< 2 %	82,4	36,8	S3 s* f**

* : conditions physiques (texture/structure) ; ** : conditions chimiques (pH, Carbone organique)

Aptitude des sols ferrugineux lessivés à la production du maïs

L'aptitude culturale des sols ferrugineux lessivés de Gawar pour la production du maïs est donnée dans le Tableau II. Ces sols ont une aptitude marginale pour la culture du maïs. Les limitations portent sur les conditions physiques et chimiques du sol et notamment la nature filtrante du sol (texture sablo - limoneuse à limono - sableuse), le pH, les teneurs en matière organique et en azote relativement faible. Le déséquilibre cationique pourrait aussi constituer une limitation.

Réponse du maïs à la fumure organique

Le fumier et le compost utilisés ont eu des effets comparables sur le rendement en grain et sur la biomasse aérienne (tableau III). Les contrastes (tableau III) et la figure 1 démontrent que la réponse du maïs à l'application des fumures organiques sur le sol ferrugineux est mieux décrite par une relation cubique. Les coefficients de détermination (R^2) obtenus sont de 0,95 pour le grain et 0,94 pour la biomasse aérienne. La courbe suggère qu'avec 35 t/ha de fumure organique, on obtienne un rendement maximal de 4,3 t/ha de grain.

Tableau III. Analyse de variance sur les rendements en grain et la biomasse aérienne du maïs.

Source de variation	dl	Moyenne des carrés	F calc	Probabilité F cal > F obs
GRAIN				
Bloc	3	1.897	2.45	0.0813
Type de fumure	1	0.075	0.10	0.7570
Dose de fumure	5	5.054	6.52	0.0003**
Contraste linéaire	1	18.295	23.58	0.0001**
Contraste quadratique	1	0.286	0.37	0.5477
Contraste cubique	1	5.507	7.10	0.0118**
Type * Dose	5	0.598	0.77	0.5772
Erreur	33	0.775		
Total	47			
Biomasse aérienne				
Bloc	3	10.000	0.84	0.4830
Type de fumure	1	3.820	0.32	0.5755
Dose de fumure	5	107.115	8.97	0.0001**
Contraste linéaire	1	437.779	36.66	0.0001**
Contraste quadratique	1	0.019	0.00	0.968
Contraste cubique	1	65.587	5.49	0.0253*
Type * Dose	5	15.358	1.29	0.2934
Erreur	33	11.940		
Total	47			

* : significatif au seuil de probabilité 5 % ; ** : significatif au seuil de probabilité 1 %.

Discussion

Les rapports C/N des fumures supérieurs à 11 suggèrent qu'elles auraient continué leur décomposition après épandage (Mustin, 1987). La composition du compost utilisé n'est cependant pas conforme aux normes reconnues en ce qui concerne le rapport C/N et la teneur en éléments grossiers (Mustin, 1987). La quantité réelle de matière organique apportée par ce compost est relativement faible, ce qui limiterait son action dans le temps, posant ainsi le problème de la mise sur le marché d'intrants non conformes.

Le rapport cationique trouvé (67/13/20) suggère un déséquilibre par rapport à l'optimum (76/18/6) (Euroconsult, 1989). Ce déséquilibre est en faveur du potassium mais en défaveur du calcium et du magnésium. Il serait donc important de tenir compte de l'excès de K du sol dans les recommandations de fertilisation afin d'éviter d'accroître le déséquilibre observé.

Le climat de Gawar convient à la culture du maïs. Les terres constituées de sols ferrugineux lessivés sont marginalement aptes à la culture du maïs pluvial. Ce niveau d'aptitude correspond à une situation où la marge bénéficiaire pour la production du maïs est quasi nulle ; les avantages que l'on tire de la mise en valeur des terres pour sa production ne feraient que compenser les investissements engagés (Sys *et al.*, 1991, Dent et Young, 1993). Le contrôle du pH, le rétablissement de l'équilibre cationique et l'amélioration des teneurs en matière organique et en azote pourraient améliorer l'aptitude de ces terres à la culture du maïs.

En effet, l'application de fumures organiques s'est traduite, à des doses relativement élevées, par une augmentation sensible du rendement. Le rendement en grain du témoin (2,7 t/ha) est comparable au rendement moyen obtenu en culture traditionnelle (2 à 2,5 t/ha) dans la région septentrionale du Cameroun (NCRE, 1991). Toutefois, il serait possible de doubler le rendement du maïs en utilisant une dose de 34,75 t/ha de fumure organique. Cependant, il n'est pas aisé pour les producteurs de la région,

de disposer de quantités aussi importantes de fumier. Un apport concomitant d'azote minéral en début de saison culturale pourrait réduire les quantités de fumure organique nécessaires pour l'obtention du rendement optimal.

L'absence de différence entre les rendements des parcelles recevant du fumier et ceux des parcelles recevant du compost suggère que pendant l'année de leur application, les producteurs de maïs puissent indifféremment utiliser le fumier ou le compost. Toutefois, le fumier n'est qu'à ramasser pour l'instant, mais la tonne de compost revient à environ 46 euros.

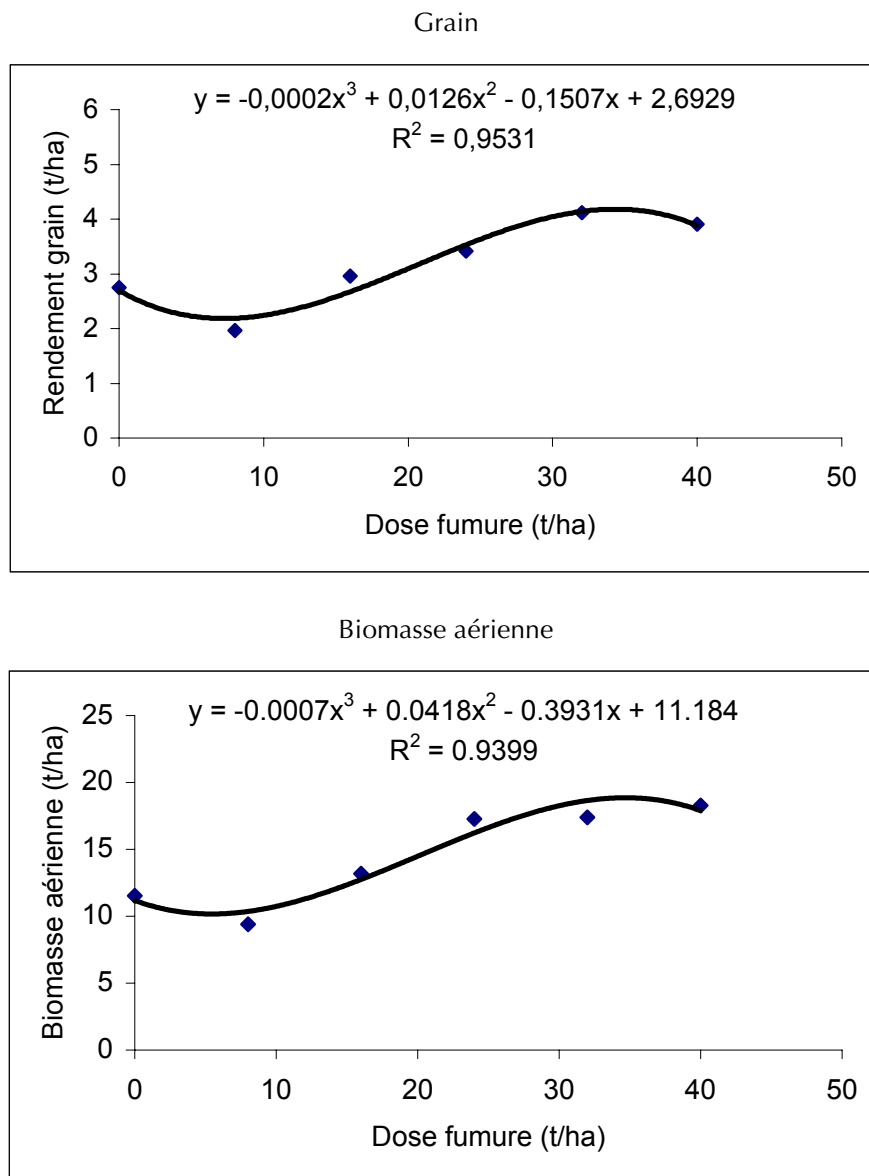


Figure 1. Courbes de réponse du maïs grain (t/ha) et de la biomasse aérienne (t/ha) à la fumure organique appliquée (t/ha).

La chute de rendement observée avec l'application de 8 t/ha de fumure organique par rapport au témoin, démontre une immobilisation de l'azote des fumures par le sol, phénomène décrit par Prévost (1999). Les parcelles recevant 8 t/ha de fumure organique se sont alors comporté comme des sols plus carencés. Piéri (1981) et Ikpé *et al.* (1994) rapportent des effets dépressifs des fumures organiques mal décomposées et des résidus de paille de céréales sur les rendements de sorgho et de mil. Par contre, Dugué et Olina (1997) et Ouédraogo *et al.* (2001) ont obtenu des rendements plus élevés que le témoin, respectivement avec des doses de fumier de 6 t/ha et de compost de 5 t/ha, sur des Alfisols.

Cette étude confirme l'effet dépressif de fumiers mal décomposés appliqués à faibles doses sur les rendements. Cependant, les parcelles sur lesquelles de faibles doses de fumure ont eu un effet dépressif l'année d'application pourraient avoir un effet résiduel plus important l'année suivante (Ikpe *et al.*, 1994).

Conclusion

Le climat de Gawar présente une aptitude élevée pour la culture du maïs. Les sols ferrugineux lessivés ont une aptitude marginale pour cette culture. Ce niveau d'aptitude peut être attribué à la nature filtrante du sol, au pH acide, au déséquilibre cationique Ca/Mg/K en faveur du K et en défaveur de Ca et Mg ; à la faible teneur en matière organique (0,50%) et en azote (0,33%).

L'étude démontre la pertinence de la détermination d'un apport de fumure organique basé sur un diagnostic du climat et du sol. La production de maïs à Gawar peut être doublée avec l'application de 35 t/ha de fumier. Un diagnostic portant sur l'ensemble des 10 types de sols de la région et les principales cultures devrait permettre la formulation de recommandations plus précises et plus efficaces.

Remerciements

Les auteurs remercient la Mission de développement intégré des monts Mandara (MIDIMA) et le Centre d'études de l'environnement et du développement au Cameroun (CEDC) pour avoir financé les travaux et fourni la logistique de terrain. Les remerciements sont aussi adressés à M. Francis N. Tarla pour la lecture du manuscrit.

Bibliographie

- BOUTRAIS J., BOULET J., BEAUVILAIN A., GUBRY P., BARRETAU D., DIEU M., BRETON R., SEIGNOBOS C., PONTIE G., MARGUERAT Y., HALLAIRE A., FRECHOU H., 1984. Le Nord du Cameroun : Des hommes, une région. Paris, France, ORSTOM, 551 p.
- BRABANT P., GAVAUD M., 1985. Les sols et ressources en terres du Cameroun. Provinces du Nord et de l'Extrême-Nord. Collection notice explicative n°103. ORSTOM, Paris, 285 p.
- D.D.A.M.T., 2000. Problématique de la production agricole dans le Département du Mayo Tsanaga. Délégation Départementale d'Agriculture du Mayo Tsanaga, Mokolo, Cameroun, 12 p.
- DAHNIKE W.C., OLSON R.A., 1990. Soil test correlation, calibration and recommandation. *In* R.L. Westerman (ed). Soil testing and plant analysis. 3rd ed., SSSA Book Series 3, Madison WI., p. 45-71.
- DENT D., YOUNG A., 1993. Soil survey and land evaluation. G. Allen & Unwin, London, 278 p.
- DRIESSEN P.M., KONIJIN N.T., 1992. Land use systems analysis. Wageningen Agricultural University. INRES, Malang, 230 p.
- DUGUE P., OLINA J.P., 1997. Production et utilisation de la fumure organique. Compte rendu d'activités 1996. Convention IRAD Garoua/DPGT.
- EUROCONSULT, 1989. Agricultural compedium for rural development in the tropics and subtropics. Elsevier, Amsterdam, 740 p.
- FAO, 1977. Cadre pour l'évaluation des terres. Bulletin pédologique de la FAO 32, 64 p.
- IKPE F.N., POWELL J.M., ISIRIMAH N.O., 1994. Labour préalable et recyclage des substances nutritives dans les systèmes de production mixtes en zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest (SAWA). Réseau érosion. Bulletin 14, p. 410-438.
- KHIDDIR S.M., 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation. Ph.D. Thesis. State University of Ghent, Belgium, 141 p.

- MAÏNAM F., 1999. Modelling soil erodibility in the semi arid zone of Cameroon, Assessment of interrill erodibility parameter for mapping soil erosion hazard by means of GIS techniques in the Gawar area. Ph.D. Thesis. Faculty of Sciences, University of Ghent. The Netherlands, 387 p.
- MUSTIN M., 1987. Le compost : gestion de la matière organique. François Dubusc, Paris 354 p.
- NCRE, 1991. Rapport d'activités annuelles. IRAD Garoua/IITA USAID.
- OUEDRAOGO E., MANDO A., ZOMBRE N. P., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agricultural, Ecosystems and Environment*. 84 : pp. 259-266.
- PARENT L.E., DAFIR M., 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of American Society of Horticultural Science* 117 : 239-242.
- PAUWELS, J.M., VAN RANST E., VERLOO M. MVONDO ZE A., 1992. Manuel de laboratoire de pédologie : méthodes d'analyses des sols et des plantes ; équipements, gestion des stocks de verrerie et de produits chimiques. Centre Universitaire de Dschang. AGCD : Publications agricoles-28, 265 p.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 444 p.
- PONTANIER R., KOTTO-SAME, 1982. Carte Des ressources en sols de quatre zones test du Nord Cameroun (Babouri, Gawar, Mogodé, Magoumaz). IRA Nkolbisson, Yaoundé, 97 p.
- SYS C.E., E. VAN RANST, BEERNAERT F., 1991. Land evaluation, part II. Methods in land evaluation. Belgium, General Administration for Development Cooperation, 247 p.
- SYS C.E., VAN RANST E., DEBAVEYE J., BEERNAERT M., 1993. Land evaluation, part III: Crop requirements. Belgium, General Administration for Development Cooperation, 199 p.