

Indicateurs de fertilité des sols dans le bassin cotonnier du Tchad

Hervé Guibert¹, Jean Ngamine², Marinus Brouwers¹ et Mahamat Atolna²

¹ CIRAD 34398 Montpellier Cx 5, France

² ITRAD Station de Bébédjia, BP 31, Mondou, Tchad

Résumé : Pour connaître les causes de la chute des rendements dans certains secteurs du bassin cotonnier du Tchad où la population double tous les 20 ans et où de plus en plus la culture permanente à trop faible niveau d'apport minéral et organique pour assurer le maintien de la fertilité des sols remplace la culture itinérante, les indicateurs de fertilité de sol ont été recherchés à l'aide de la comparaison entre les rendements obtenus en coton et les résultats d'analyses de sol par la méthode des courbes enveloppe. L'étude a porté sur 57 parcelles réparties sur 6 villages dans lesquels la pression foncière va de faible à très forte et concerne une année (1994) pendant laquelle la satisfaction des besoins hydriques de la culture a été satisfaisante. Il en ressort qu'il existe une valeur seuil pour 8 caractéristiques du niveau 0-10 cm du sol et aucun pour le niveau 10-20 cm. Cependant, compte tenu des inter-dépendances entre caractéristiques, les valeurs seuils à retenir ne sont qu'au nombre de 4, savoir : 3.4 et 0.3 g kg⁻¹ pour C et N respectivement, 2.5 cmol_c kg⁻¹ pour la CEC et 7.2 % pour l'argile. Le rapport C/argile + limon fin peut donc constituer un indicateur synthétique de l'état de fertilité pour laquelle une valeur seuil de 0.29 se dégage, valeur comparable à celle déterminée par Feller (1995). La diminution du stock organique des sols et l'érosion sont les processus d'évolution affectant le plus la capacité de production des sols de la région.

Mots clés : matière organique, système de culture, conservation des sols, durabilité, diagnostic agronomique, coton

Soil fertility indicators in the cotton production area of Chad

Abstract: In order to identify the reasons why crop yields have fallen in some sectors of the cotton growing area of Chad where the population is doubling every 20 years and more and more land is being used every year with an insufficient level of organic and mineral amendments to maintain its production capacity, soil fertility indicators were investigated by comparing cotton yields and soil analysis results using the border curve method. The study concerned 57 fields distributed among six villages in which the intensity of land use ranged from low to high and was carried out in a year—1994—in which the degree of satisfaction of the crop water needs was adequate. The results obtained indicated that there was a threshold value for eight soil characteristics of the 0-10 cm level but not for the 10-20 cm level. Because several were interdependent, four may be retained as real indicators, viz. 3.4 and 0.3 g kg⁻¹ for C and N respectively, 2.5 cmol_c kg⁻¹ for CEC and 7.2 % for clay content. The ratio C:clay + fine loam may be considered as a synthetic soil fertility indicator for which the threshold value was 0.29, a value similar to the one proposed by Feller (1995). The reduction in soil organic matter content due to cropping and erosion is the most important process affecting the soil production capacity in the region.

Key words: organic matter, cropping system, soil conservation, sustainability, agronomic diagnosis, cotton

1 Introduction

La culture du cotonnier est pratiquée au Tchad au sud du 10^{ème} parallèle dans la zone la plus arrosée et la plus peuplée du pays. Le climat est (Aubreville, 1949) de type soudanien avec des précipitations annuelles moyennes allant du nord au sud de la zone de 800 à 1200 mm an⁻¹ réparties sur une saison de 5 à 7 mois. La plupart des terres cultivées appartiennent aux sols ferrugineux et ferrallitiques (Pias, 1970 ; Ségalen, 1995). Ils sont sableux en surface, plus argileux en profondeur, faciles à travailler, souvent profonds mais leurs propriétés chimiques sont généralement médiocres.

Les cinq préfectures concernées par la culture du cotonnier ont une superficie d'environ 134 000 km² soit 10 % du territoire national et comptent environ 84 000 km² de terres cultivables en pluvial (Ehrwein, 1976). La population, estimée en 1993 à près de trois millions d'individus (Beauvillain, 1993) double environ tous les 25 ans. Sur la base d'une superficie cultivée par habitant de 44 ares (Raymond *et al.* 1990) on peut estimer que 16 % des terres cultivables étaient exploitées en 1993. Ce ratio permet la pratique de jachère sur une grande partie de la zone. Cependant, une projection de ces données indique qu'en 2075 l'ensemble des terres cultivables sera cultivé de façon continue. Cette situation prévaut déjà dans les sous-préfectures qui connaissent une densité de population proche de 75 habitants km⁻² (Bénoye, Moundou). Le passage de la culture itinérante à la culture continue s'effectue sans autre modification du système de culture qui se caractérise par un faible recours aux intrants. Seule la culture de cotonnier, soit 30% de la sole cultivée, reçoit en moyenne régionale 53 kg ha⁻¹ d'engrais minéral (Raymond, 1992) ne compensant qu'un tiers des exportations d'éléments minéraux (Mégie et Ehrwein, 1976). L'utilisation de fumures organiques est une pratique peu courante. Les bilans minéraux et organiques des parcelles sous culture sont donc négatifs. Les rendements en coton graine sont faibles comparés à ceux obtenus dans d'autres pays de l'Afrique de l'ouest francophone et les rendements des cultures vivrières permettent à peine d'assurer l'autosuffisance alimentaire (Guibert, 1993).

Siband (1974), Richard et Djoulet (1985) ont montré que dans de telles conditions, la baisse du taux de matière organique du sol (MOS), fonction du nombre d'années depuis la défriche, était la cause principale de la baisse de la fertilité. Pieri (1989) a établi un indice du sol de propension à la déstructuration physique et de risque d'érosion mettant en jeu la MOS. Feller (1995) propose un indice de durabilité des systèmes faisant intervenir le carbone organique.

L'objectif de cette étude est d'établir un diagnostic des facteurs de la dégradation de la fertilité des sols dans le bassin cotonnier du Tchad et d'en déduire les relations entre certaines caractéristiques analytiques du sol et la productivité du cotonnier.

2 Matériel et méthodes

21 Sols cultivés du bassin cotonnier du Tchad

Le bassin cotonnier du Tchad se situe en bordure sud de la cuvette tchadienne et s'étend essentiellement sur les sédiments d'âge tertiaire du Continental Terminal qui y forme de vastes croupes d'une altitude relative d'une trentaine de mètres, dénommées localement "koros". Aux sols rouges ferrallitiques du sommet succèdent des sols ferrugineux à hydromorphie plus ou moins marquée avec localement présence de cuirasse à profondeur variable sur les versants puis des sols hydromorphes en bas de toposéquence. Les sols les plus cultivés sont les "sols beiges" de type ferrugineux. Les "sols rouges" sont moins systématiquement mis en culture, essentiellement en raison de la grande profondeur de la nappe phréatique qui rend difficile l'approvisionnement en eau des villages qui s'y créeraient.

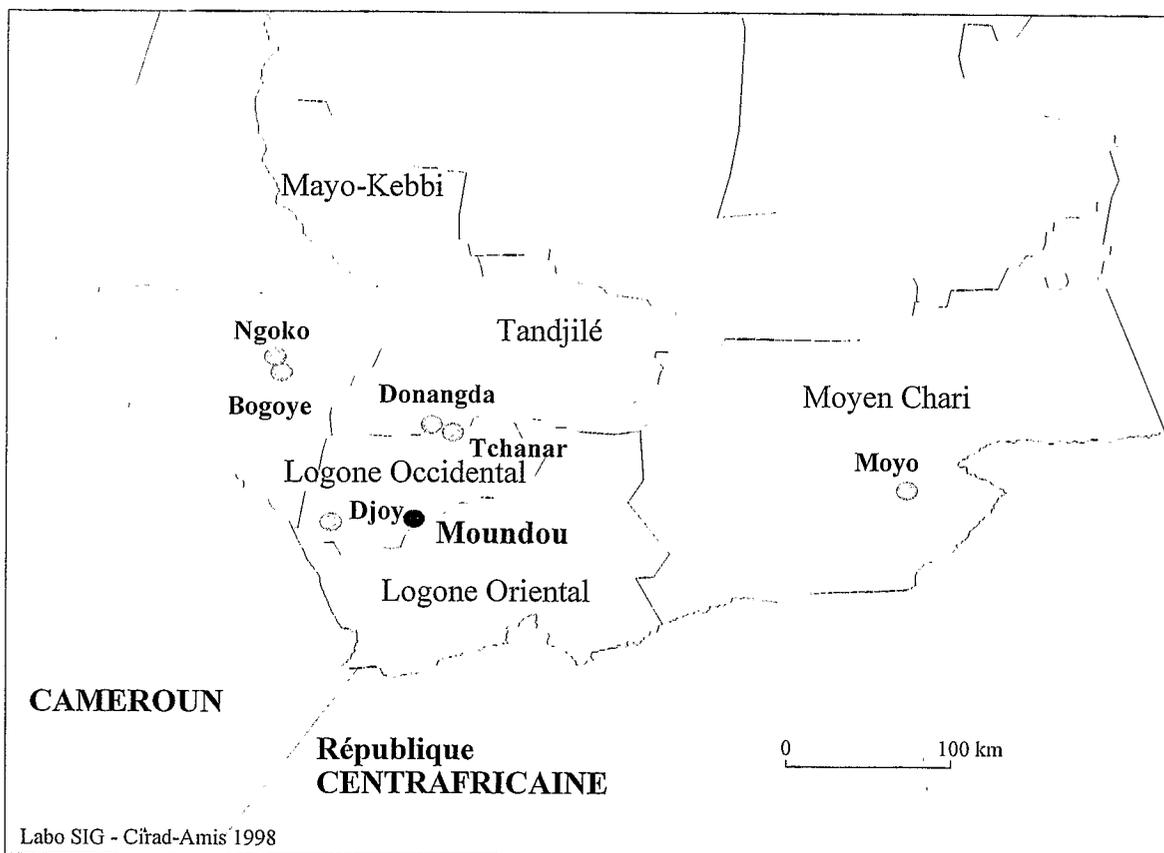
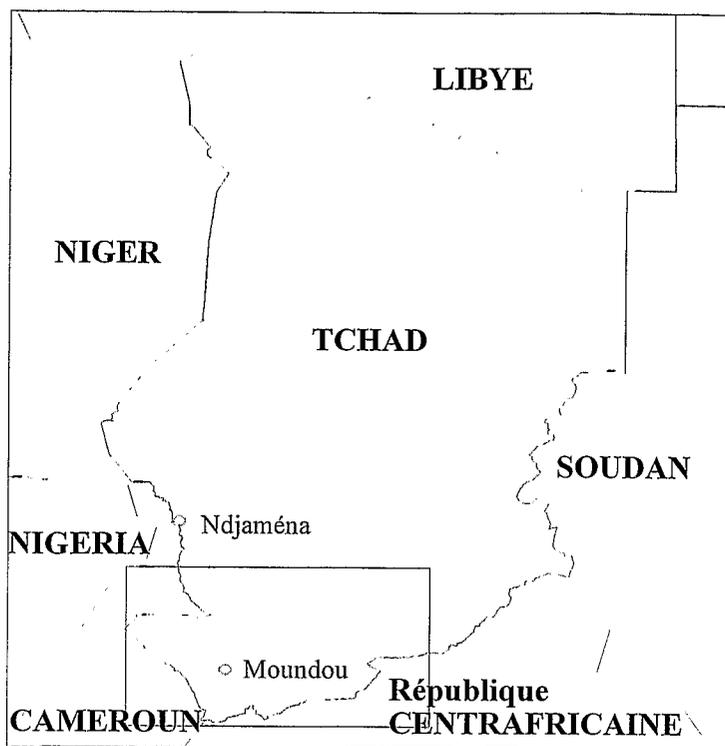


Figure 1 : Localisation des villages du diagnostic agronomique, année 1994.

22 Principe du diagnostic

Le principe du diagnostic repose sur l'hypothèse de la coexistence dans la région étudiée de parcelles dont l'état de fertilité correspond aux différentes étapes d'un processus d'évolution de fertilité d'origine anthropologique commun à l'ensemble de la région. Les rendements de ces parcelles sont ainsi mis en relation avec les indicateurs d'état de fertilité de sols (Crétenet, 1995). Les processus d'évolution de sols sont ensuite déterminés grâce au repérage des variables caractérisant le sol les mieux corrélées aux variations de rendement, en référence aux travaux issus d'observations de sols sous culture (Debaeke *et al.*, 1996). La culture de cotonnier se prête bien à cette étude car la même variété est utilisée dans l'ensemble de la région. Afin d'analyser les relations entre caractéristiques du sol et rendement observé, il faut aussi prendre en compte les variations de rendement dues aux variations des pratiques culturales réalisées sur les parcelles et aux variations des conditions climatiques sur les différents sites.

La méthode d'analyse utilisée est celle dite des courbes enveloppe. Son principe, développé par Webb (1972), consiste pour un nuage de points XY donné de n'attribuer qu'aux seuls points supérieurs la relation fonctionnelle entre X et Y. Les autres points sont supposés être le résultat non pas de cette fonction entre X et Y, mais de l'action d'autres facteurs limitants (Z1, Z2, ...). L'interprétation de la courbe enveloppe se réfère ensuite à l'utilisation du modèle de compétition décrit par Fleury (1990). Un plateau détermine les valeurs de X qui, dans le milieu considéré, n'affecte pas la valeur Y. En dessous d'une valeur seuil de X, Y est alors une fonction décroissante de X qui devient facteur limitant. Chaque variable dans ce cas peut être étudiée indépendamment des autres. Chaque facteur limitant ainsi identifié avec sa valeur seuil n'est pas nécessairement une variable explicative de la production car des variables peuvent être corrélées entre elles. C'est par référence à des expérimentations agronomiques conduites dans des conditions pédo-climatiques comparables qu'on peut déterminer les indicateurs qui ont effectivement une fonction dans l'élaboration du rendement.

23 Dispositif

Le diagnostic est réalisé en 1994 sur un essai de fertilisation potassique de culture cotonnière conduit dans six villages, situés en figure 1, représentatifs des principaux environnements socio-économiques du bassin cotonnier, résumés dans le tableau 1. L'essai est implanté sur une partie d'une parcelle de cotonnier chez vingt à trente agriculteurs de chaque village afin de couvrir l'éventail des conditions de sol existantes. Il compare dans un dispositif en blocs de Fisher avec deux répétitions l'effet de trois traitements avec apport de sulfate de potassium : D0 : pas d'apport, D1 : 40 kg ha⁻¹ (soit 19,2 kg ha⁻¹ de K₂O donc très proche de la fumure vulgarisée sur cotonnier au Tchad qui apporte 19 kg ha⁻¹ K₂O), D2 : 80 kg ha⁻¹ et D3 : 120 kg ha⁻¹.

L'ensemble des essais a été labouré, sarclé au moins deux fois et démarié. La pluviométrie journalière est relevée près de chaque village. La culture est conduite par l'agriculteur à qui on demande de respecter les recommandations de l'encadrement agricole sur la culture du cotonnier afin de limiter l'impact de pratiques culturales trop hétérogènes sur le rendement. A ce même effet, l'application des doses d'engrais et les traitements insecticides sont réalisés par le responsable de l'essai et la protection contre les ravageurs du cotonnier a été assurée en doublant le nombre de traitements préconisés.

Chaque parcelle élémentaire est constituée de quatre lignes de cotonnier de 15 m de longueur. La parcelle utile est formée de deux lignes de 15 m. La largeur entre les lignes de semis est mesurée après la levée pour déterminer la surface exacte de la parcelle élémentaire. Cette surface sert aux calculs des apports d'engrais, de la densité du peuplement et du rendement.

Tableau 1 : Localisation et contexte socio-économique des villages du diagnostic agronomique

Village	Localisation	Contexte socio économique
Tchanar	Préfecture du Logone Occidental, sous-préfecture de Bénouye	Forte densité de population, terroir saturé; élevage sédentaire faible, zone de passage d'élevage transhumant; végétation ligneuse rare à tapis herbacé peu fourni, feux de brousse absents; érosion localement marquée; présence d'affleurements de cuirasse.
Donangda	Préfecture de la Tandjilé, sous-préfecture de Kélo	Analogue à Tchanar, mais pas d'affleurements de cuirasse; passages de troupeaux transhumant moins fréquents; érosion présente, mais moins marquée.
Ngoko	Préfecture du Mayo-Kebbi, sous-préfecture de Gounou-Gaya	Densité de population moyenne, possibilité de jachère; élevage sédentaire assez important et sédentarisation d'éleveurs transhumants se convertissant à la culture; érosion localement présente.
Bogoye	Préfecture du Mayo-Kebbi, sous-préfecture de Pala	Densité de population moyenne, possibilités de jachères; élevage sédentaire très important mais sans réelles intégration avec l'agriculture; quelques éleveurs sédentarisés, mais pas de passage de troupeaux transhumants; peu d'érosion.
Djoy	Préfecture du Logone Occidental, sous-préfecture de Tapol	Densité de population faible, village de migrants avec un libre accès aux terres; zone boisée; peu d'érosion; passages de troupeaux transhumants.
Moyo	Préfecture du Moyen Chari, sous-préfecture de Sarh	Densité de population faible, possibilités de jachères; présence d'un élevage sédentaire et pression importante de l'élevage transhumant (passage et séjour)

Sur cinq villages, une partie des essais a fait l'objet d'un prélèvement de sol sur les profondeurs 0-10 et 10-20 cm. Chaque échantillon analysé est constitué à partir du mélange de trois prélèvements effectués sur le témoin de la première répétition de l'essai. Les analyses portent sur la granulométrie, la matière organique, P assimilable, le complexe absorbant et le pH. Les techniques culturales sont répertoriées et la densité de plants à la récolte est mesurée.

Seuls les 57 essais ayant fait l'objet d'un prélèvement de sol sont inclus dans le diagnostic dont il est fait état ci-après. A chaque analyse de sol correspondent huit rendements (quatre niveaux d'apport de K en deux répétitions) car il a été supposé que les caractéristiques de sol varient peu au sein d'un même site d'essai et que l'apport de K influe peu le rendement (ce qui s'est vérifié).

D'un à l'autre, les pratiques culturales peuvent être différentes, notamment le nombre de désherbages et les dates des opérations. Leurs effets sur le rendement ne sont pas analysés ici. La satisfaction des besoins hydriques de la culture pendant les phases de floraison et de capsulaison, estimée avec le logiciel SARRA (Reyniers *et al.*, 1997), ayant été voisine de 100% et généralement comprise entre 88 et 95% pendant les phases de développement végétatif et maturation, l'analyse des relations entre rendements et valeur de caractéristiques analytiques du sol est donc permise.

24 Analyses de sol

Trente variables sont issues directement des analyses de sol : teneurs en argile, limon fin,

limon grossier, sable fin, C total, N total, P assimilable (Olsen-Dabin), bases échangeables (Ca, Mg, K, Na), Mn échangeable, Al échangeable, H échangeable, CEC, pH-eau et pH-KCl pour le prélèvement de sol de profondeur 0-10 cm et les mêmes variables pour le prélèvement de sol de profondeur 10-20 cm, excepté la granulométrie. Dix variables calculées à partir des précédentes sont également introduites dans l'analyse : rapports d'éléments assimilables ou échangeables, toxicité aluminique, C/N, taux de saturation en bases échangeables, matière organique /argile+limons totaux et C/argile+limon fin.

Les analyses de sol ont été réalisées par les laboratoires du CIRAD à Montpellier. La granulométrie en cinq fractions est faite sur granulomètre automatique "Granulostat" selon le principe de la norme AFNOR X 31-107 (AFNOR, 1987). Les teneurs en C et N totaux sont déterminées par voie sèche sur analyseur automatique LECO CHN 600. La teneur en P assimilable est déterminée par la méthode Olsen modifiée Dabin (1967). Le complexe d'échange est analysé en utilisant comme ion échangeur le chlorure de cobaltihexamine. Cette méthode permet la détermination de la capacité d'échange cationique au pH du sol (Fallavier *et al.*, 1985).

3 Résultats

31 Moyenne et variabilité des mesures réalisées (tableaux 2 et 3)

Le rendement moyen des parcelles observées est de 1245 kg ha⁻¹ de coton-graine avec une variabilité importante, l'écart-type étant de 618 kg ha⁻¹ (tableau 2).

Le prélèvement de surface (0-10 cm) fait état d'un sol peu argileux et pauvre en matière organique. Le niveau de K échangeable et la capacité d'échange cationique (CEC) sont faibles. Le niveau moyen du P assimilable est correct, mais cette moyenne cache de fortes variations. Les sols sont faiblement acides. Les valeurs des caractéristiques chimiques du prélèvement 10-20 cm (tableau 3, en annexe) sont moins élevées pour les teneurs en C, N, K échangeable, P assimilable et la CEC notamment. La variabilité de ces observations est très importante pour le taux d'argile, les teneurs en P assimilable, Ca échangeable et la CEC, importante pour la teneur en C, N, K et Mg échangeables et plus faible pour le pH.

L'indice de susceptibilité du sol à la déstructuration physique, défini par Pieri (1989) comme le taux en matière organique du sol (MOS en %) sur la somme du taux d'argile et de limon (en %), et l'indice de durabilité des systèmes de culture, défini par Feller (1995) comme le rapport du C (en ‰) dans le sol sur la somme de son taux en argile et limon fin (en %), ont été calculés pour niveau 0-10 cm. Nous désignerons ici ces deux indices par IP et IF respectivement. IP est en moyenne de 4% soit inférieure au seuil de 5% caractérisant des sols déstructurés physiquement et présentant un risque d'érosion élevé. IF est en moyenne de 0.35 soit proche du seuil défini par l'auteur comme la valeur en dessous de laquelle la durabilité des systèmes de culture n'est plus assurée.

32 Résultats par village (tableau 2)

Les deux villages qui connaissent une saturation foncière de leur terroir, Tchanar et Donangda, affichent les rendements moyens les plus faibles et une variabilité par rapport à cette moyenne la plus importante. Le village de Djoy, situé sur un front pionnier, et celui de Bogoye ont les rendements les plus élevés. La teneur en C, N, en K, Ca, Mg échangeables et la CEC des sols sont plus faibles pour les deux premiers villages. La variabilité de ces caractéristiques reste importante au sein de chaque village notamment pour C, N et K où elle est de même ordre de grandeur que pour l'ensemble des parcelles.

Tableau 2 : Moyennes et écart-types des principales mesures des essais avec analyses de sol du diagnostic agronomique

Village	Tchanar	Donangda	Ngoko	Bogoye	Djoy	Ensemble
Nombre essais	15	9	9	15	9	57
Rendement en coton-graine (kg ha ⁻¹)	725 (492)	964 (493)	1115 (385)	1808 (423)	1583 (381)	1245 ⁽¹⁾ (618)
Principales variables du sol (0-10 cm)						
Argile g 100 g ⁻¹	10,7 (3,1)	4,5 (1,2)	4,7 (2,2)	9,5 (2,2)	6,1 (1,1)	7,7 (3,4)
C total g kg ⁻¹	29 (5)	32 (12)	31 (6)	55 (12)	48 (4)	40 (14)
N total g kg ⁻¹	3,0 (0,5)	3,0 (0,9)	3,3 (0,6)	4,6 (0,9)	4,4 (0,6)	3,7 (1,0)
P assim.Olsen-Dabin mg kg ⁻¹	12,0 (5,2)	30,2 (27,5)	18,7 (11,6)	13,6 (7,9)	24,1 (18,7)	18,3 (15,7)
K éch. cmol _c kg ⁻¹	0,09 (0,05)	0,13 (0,05)	0,12 (0,03)	0,12 (0,03)	0,16 (0,06)	0,12 (0,05)
Ca éch. cmol _c kg ⁻¹	1,15 (0,32)	1,41 (0,58)	1,47 (0,31)	2,65 (0,57)	1,88 (0,37)	1,75 (0,75)
Mg éch. cmol _c kg ⁻¹	0,32 (0,07)	0,37 (0,12)	0,33 (0,06)	0,60 (0,11)	0,55 (0,15)	0,44 (0,16)
CEC ⁽²⁾ cmol _c kg ⁻¹	1,8 (0,4)	2,0 (0,7)	2,1 (0,3)	3,5 (0,6)	2,7 (0,4)	2,5 (0,9)
pH eau	6,0 (0,4)	6,7 (0,3)	6,5 (0,2)	6,5 (0,2)	6,9 (0,9)	6,5 (0,4)
MO/(A+L) ⁽³⁾ %	2,6 (0,6)	4,9 (1,8)	3,2 (1,2)	3,5 (0,6)	6,9 (0,9)	4,0 (1,8)
C/(A+Lf) ⁽⁴⁾	0,20 (0,05)	0,44 (0,17)	0,37 (0,14)	0,34 (0,06)	0,53 (0,07)	0,35 (0,15)

Chiffres entre parenthèses : écart-type de la moyenne; (1) moyenne des 6 villages; (2) méthode au chlorure de cobaltihéxamine; (3) IP : rapport Cx1,72 (g 100 g⁻¹) sur somme argile et limons (g 100 g⁻¹); (4) IF : rapport C (g kg⁻¹) sur somme argile et limon fin (g 100 g⁻¹)

33 Interprétation des relations entre rendement et variables sol par courbes enveloppe

Neuf variables sols du prélèvement 0-10 cm font apparaître par le tracé d'une courbe enveloppe (figure 2) une valeur seuil : teneurs en C et N totaux, CEC, teneurs en Ca et Mg échangeables, taux d'argile, pH, taux de saturation en bases du complexe d'échange et IF, indice de durabilité des systèmes de culture. Les autres variables ne font pas apparaître de valeur seuil, en particulier les teneurs en K échangeable et en P assimilable et l'indice IP. Il en est de même pour les toutes les variables du niveau 10-20 cm. Ces valeurs seuils sont déterminées

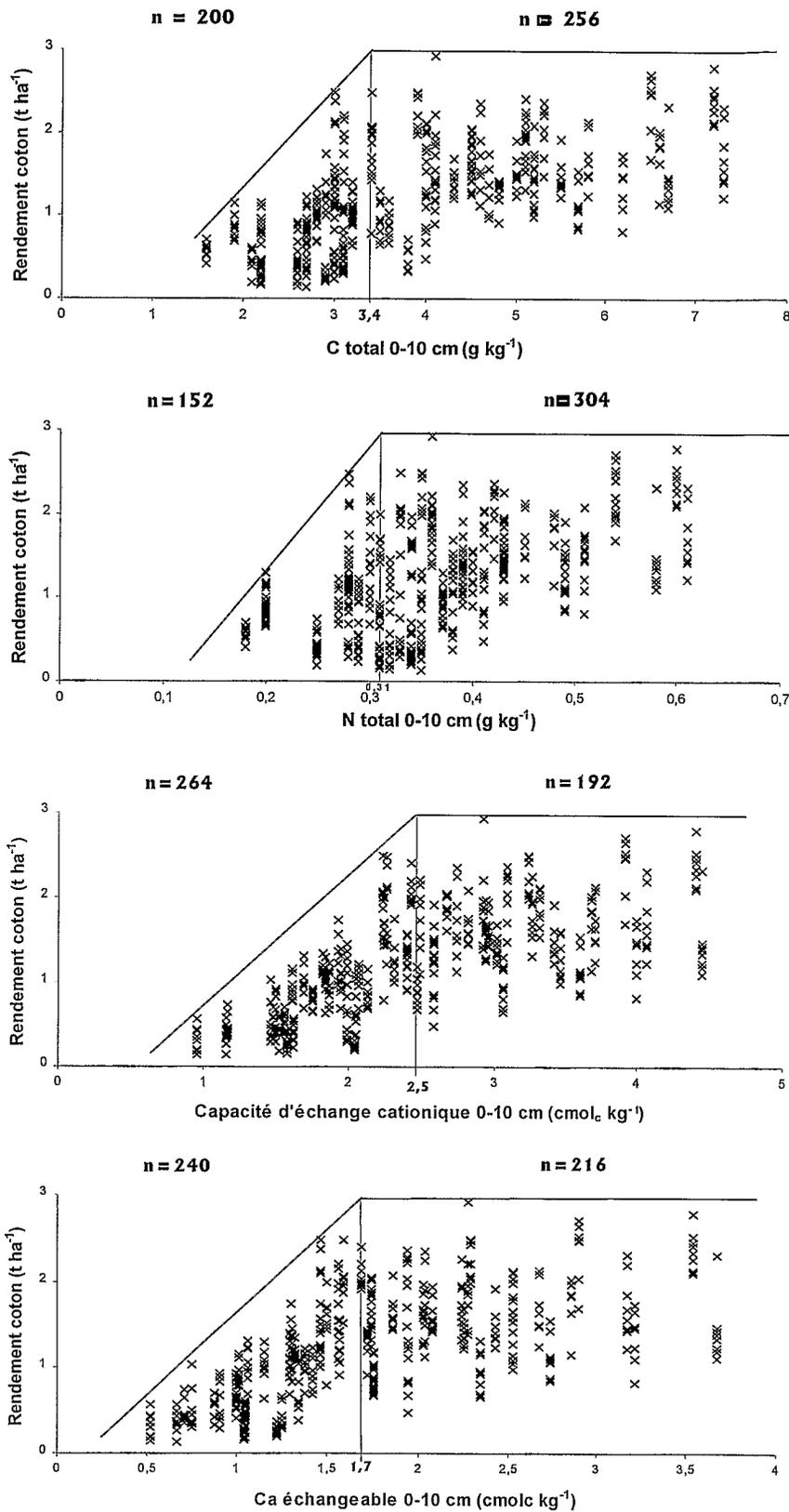


Figure 2 : relations entre rendement et caractéristique physico-chimique du niveau 0-10 cm des sols.

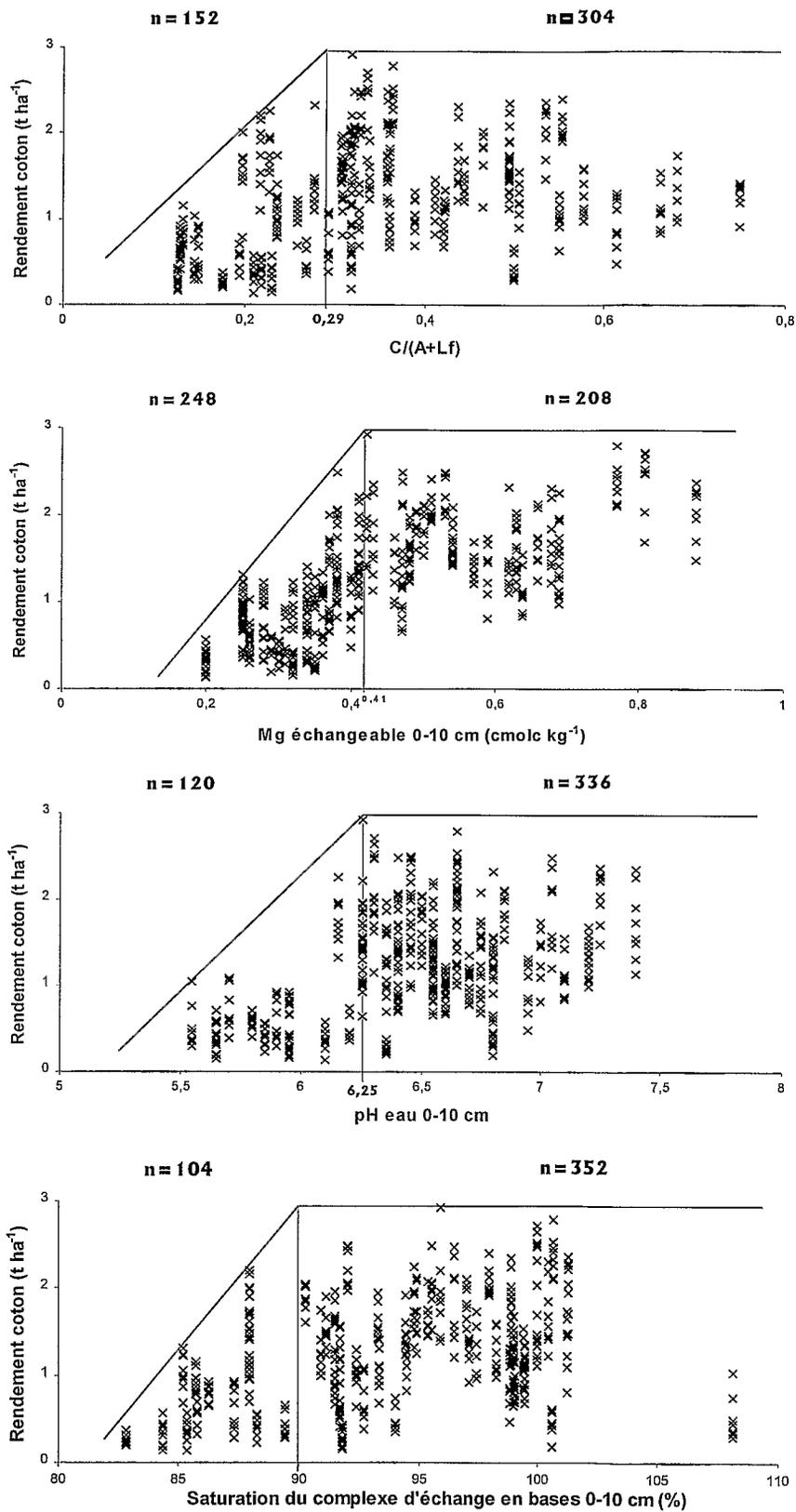


Figure 2 (suite).

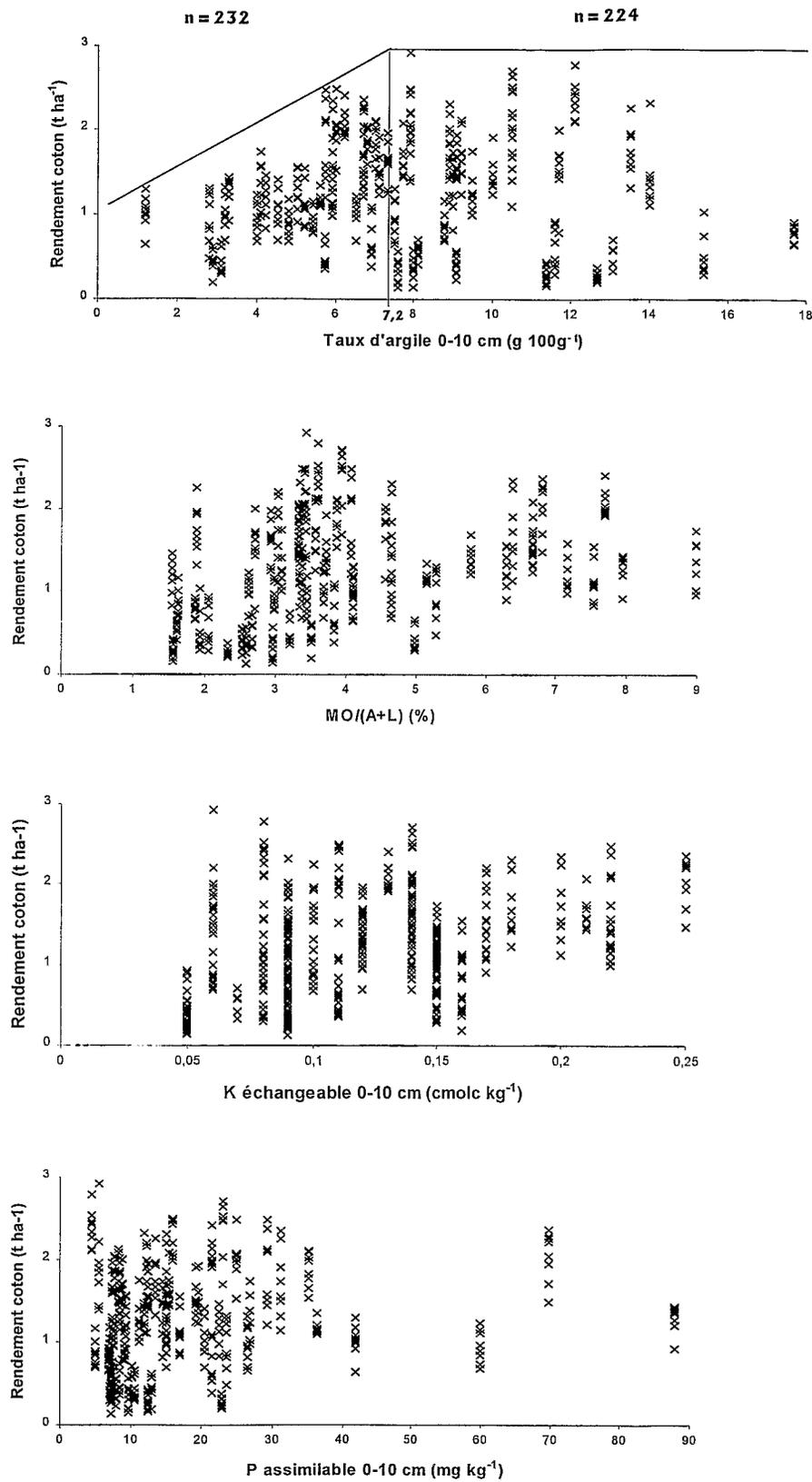


Figure 2 (fin).

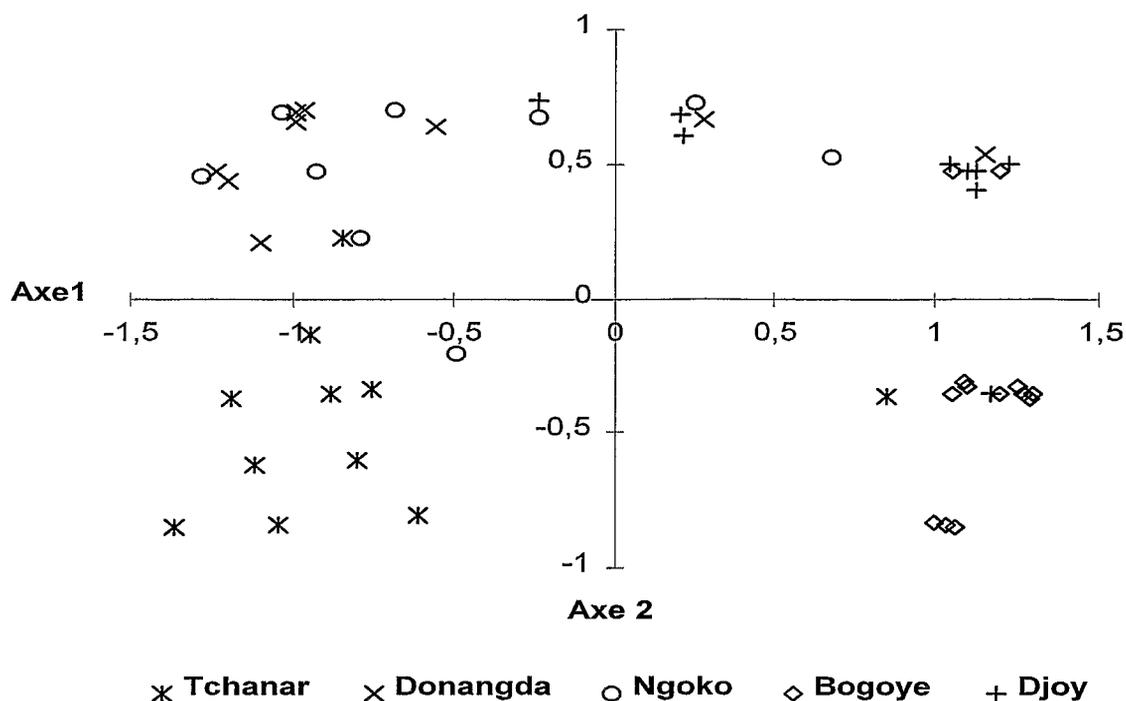


Figure 3 : Représentation des parcelles des cinq villages dans le plan formé par les axes issus de l'analyse en composante principale sur le positionnement des parcelles par rapport aux seuils des principales caractéristiques physico-chimiques des sols. Axe 1 défini par les seuils de CEC, teneurs en C total, Ca et Mg échangeables ; axe 2 défini par le seuil taux du taux en argile.

graphiquement et partagent l'ensemble des parcelles en deux groupes : les parcelles avec la caractéristique de sol en dessous du seuil et celles avec la caractéristique du sol au-dessus du seuil. Près de la moitié des parcelles ont une ou plusieurs caractéristiques en dessous d'un seuil.

Afin de déterminer les corrélations existantes entre ces différents seuils, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur le positionnement des parcelles par rapport à chaque seuil, excepté vis à vis du seuil de l'indice IF qui est par définition corrélé aux seuils de teneur en C et taux d'argile. Chacune des huit caractéristiques définissant une valeur seuil prend la valeur 0 si la parcelle présente cette caractéristique au-dessous du seuil et 1 dans le cas contraire. Cette ACP sur données binaires centrées et réduites est équivalente à une analyse des correspondances (Bergonzini, 1986). Les résultats sont donnés dans le tableau 4, présenté en annexe.

Deux axes résument 73% de la variabilité et définissent trois groupes de seuils : (i) les seuils de CEC, teneurs en C total, Ca et Mg échangeables, fortement dépendants les uns des autres et formant le premier axe, (ii) le seuil du taux d'argile, indépendant des autres seuils et formant le second axe, et (iii), les seuils en N total, pH et saturation du complexe qui participent à la formation des deux axes. La répartition des parcelles suivant les deux premiers axes (figure 3) permet de retrouver les parcelles du village de Tchanar, dont le terroir est saturé, au-dessous à la fois du seuil argile et des seuils CEC et seuils corrélés et, à l'opposé, les parcelles de Djoy où la densité de la population est faible. Les parcelles des trois autres villages se positionnent dans les deux autres quadrants.

4 Discussion

41 Remarque préliminaire

Le rendement moyen des parcelles faisant l'objet du diagnostic (1127 kg ha⁻¹) est supérieur au rendement moyen régional (759 kg ha⁻¹) de la même année. Des pratiques culturales plus proches de celles recommandées par la vulgarisation peuvent expliquer la différence observée avec d'autres suivis de parcelles conduits sans recommandation particulière (Raymond *et al.*, 1990).

42 Caractéristiques de sol sans valeur seuil et IF

C'est le cas pour K et Mn échangeables, P assimilable et pour les différents rapports de teneurs en éléments du sol : Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K, N/P, Al/CEC. L'absence d'une valeur seuil pour K peut paraître surprenante. Elle est à attribuer à la faible réponse à K du cotonnier en absence d'un apport d'azote.

Aussi l'indice IP ne fait pas apparaître de valeur seuil. Il est inférieur pour la majorité des parcelles suivies au seuil de 5% défini par Pieri comme limite au-dessous de laquelle l'horizon superficiel est déstructuré et présente une grande sensibilité à l'érosion. Par contre l'indice IF fait apparaître une valeur seuil proche de celle établie par Feller. Ces deux indices ne diffèrent que par la prise en compte des limons fins pour IF en lieu et place des limons totaux pour IP. A priori, ne prendre en compte que la présence de limons fins nous apparaît plus logique étant donné que les limons grossiers n'interviennent que très peu dans la formation d'agrégats avec la MOS (Feller, 1991; Guibert *et al.*, 1999). On retiendra donc qu'un indicateur de fertilité de sol pouvant refléter la capacité du sol à présenter une bonne structure fait apparaître une valeur seuil et qu'il dépend de la somme de la teneur en argile et limon fin du sol.

43 Groupe de caractéristiques ayant une valeur seuil et définissant le premier axe de l'ACP

Il s'agit des teneurs en C total, en Ca et Mg échangeables et de la valeur de la CEC auxquels nous associons celui en N total (cf 3.3). Une parcelle ayant l'une des caractéristiques en dessous du seuil aura donc une forte probabilité d'avoir les autres caractéristiques également en dessous du seuil. La valeur seuil de 2,5 cmol_c kg⁻¹ pour la CEC est faible par rapport à celle généralement admises de 4 cmol_c kg⁻¹ (Sanchez, 1976). Les valeurs seuils de teneur en Ca et Mg échangeables, respectivement 1,7 et 0,41 cmol_c kg⁻¹, sont par contre élevée pour Ca et très élevée pour Mg par rapport aux ceux admises par ailleurs (Sément, 1980). Pour N ce seuil est de 0.29 g kg⁻¹.

De ces différents seuils, on peut émettre l'hypothèse que seuls la CEC et N peuvent être effectivement des facteurs limitants du rendement, les seuils des deux autres variables n'étant en fait que la résultante de processus liés aux valeurs que prennent les deux premiers. Il est en effet logique que la CEC a une certaine valeur minimale. Quant à N, la déficience des cultures en azote est régulièrement mise en évidence au Tchad par des essais soustractifs et des essais de fertilisation, qu'ils soient multiloaux ou conduits en station. Il en est tout autre pour Ca et Mg échangeables. On peut rattacher ces observations à une évolution des sols caractérisée par une perte de la MOS qui provoque une diminution de la CEC et de N, limitant la production (Siband, 1974; Singh et Goma, 1995). Cette diminution de la MOS sous culture a été constatée par de nombreux travaux conduits en station : à Bambey au Sénégal (Pieri, 1979), à Bébédjia au Tchad (Richard et Djoulet, 1985), à Saria au Burkina Faso (Pichot *et al.*, 1981), à Gagnoa en Côte d'Ivoire (Chabalière, 1986). Elle résulte sur ces sites de processus de minéralisation. Parallèlement à cette évolution, une lixiviation du Ca et Mg se produit, mais sans constituer un facteur limitant du rendement.

44 La caractéristique définissant le second axe de l'ACP : l'argile

Les positionnements des parcelles par rapport au valeur seuil du taux d'argile (7.2%) et par rapport aux seuils définis précédemment sont indépendants. L'hypothèse de processus d'érosion (i.e. son entraînement par les eaux de ruissellement superficiel) intervenant indépendamment de la minéralisation de la MOS peut être retenue. Les facteurs influençant l'érosion (en particulier la pente et la position du champ dans la toposéquence) seraient donc distincts de ceux influençant la minéralisation de la MOS (essentiellement l'ancienneté de culture). On peut cependant admettre que cette perte de MOS par érosion est moins importante que celle découlant de la minéralisation.

Associé à ces deux processus, l'indice IF fait également apparaître un seuil (0,29) proche de celui cité par Feller (0,32). Cet indicateur, dite de la durabilité du système de production, peut aussi représenter un indice de sensibilité des sols à la déstructuration des sols. Ce processus de déstructuration des sols a également été observé tant sur station (Charreau et Nicou, 1971, Morel et Quantin, 1972) que lors de maintes études pédologiques.

45 Les caractéristiques de sols participant aux deux axes de l'ACP, autres que le taux en argile

Il s'agit du pH et du taux de saturation en bases du complexe d'échange (S). Les valeurs de ces seuils (6,25 pour le pH eau et 90% pour S) ne peuvent représenter un facteur limitant de la production du cotonnier. Il s'agit bien encore d'un processus, en l'occurrence une acidification des sols et la lixiviation d'éléments minéraux, intervenant en même temps que les deux évoqués au paragraphe précédent.

5 Conclusions

Déterminer des indicateurs de fertilité des sols est facilement réalisable par la méthode de courbes enveloppe. L'étude montre que plusieurs caractéristiques de sol accessibles par des analyses dites de routine au laboratoire permettent de repérer si une parcelle est fertile ou non. La plupart de ces caractéristiques aboutissant au même partage des parcelles, on peut utiliser indifféremment l'une ou l'autre de celles-ci comme indicateur.

Cependant, la recherche d'indicateurs simples de fertilité n'a d'intérêt que si ce (ou ces) indicateur(s) permet(tent) d'appréhender les causes de dégradation de fertilité du sol afin de permettre d'y apporter remède. D'autre part, il faut interpréter avec prudence les résultats de telles études, même si elles sont irréfutables au niveau statistique. Sans cela on risque d'aboutir à de lourds contresens par rapport à des résultats d'expérimentations agronomiques. Cette approche a permis d'éliminer quatre indicateurs et de retenir cinq, dont l'un est un indicateur synthétique.

Le diagnostic sur parcelles de cotonnier a permis d'émettre les hypothèses suivantes comme facteurs d'évolution des sols sous les systèmes de culture pratiqués dans le bassin cotonnier du Tchad :

- le premier processus est la diminution de la MOS consécutive à sa minéralisation entraînant une diminution de N et de la CEC du sol,
- le second processus serait lié à l'érosion et entraînerait une diminution du taux d'argile et en MOS.

Une augmentation de la sensibilité du sol à la déstructuration et son érosion est une conséquence de ces évolutions. Ces processus affectent considérablement la capacité des sols à produire puisque la moitié des parcelles présentent des caractéristiques de sols qui sont en

dessous des valeurs seuils à partir desquels le rendement en coton-graine est affecté. Ceci est notamment le cas dans les villages où le terroir cultivé est saturé et sur lesquels des traces d'érosion sont perceptibles. On y constate également une acidification des sols et une baisse en calcium et magnésium échangeables. Mais cette évolution ne semble pas devoir constituer un problème aussi important que les précédents dans l'immédiat. Ces hypothèses d'évolution de sols sont à confirmer par un suivi dans le temps des caractéristiques de sols et de sa capacité de production.

Références

- AFNOR 1987 - Qualité des sols. Méthodes d'analyse. Recueil de normes françaises., Association Française de Normalisation, Paris, 135 p.
- AUBRÉVILLE A., 1949 - Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale, Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 351 p.
- BEAUVILAIN A., 1993 - Tableau de la population du Tchad des années vingt à 1993. A. Beauvilain, (éd.), Centre National d'Appui à la Recherche, N'Djaména, Tchad, 112 p.
- BERGONZINI J. C., 1986 - Notes sur la comparaison AFC/ACP sur [0-1]. In : "Traitement statistique de tableaux constitués de 0 et de 1", Montpellier, 15-17 sept. 1986, Cirad, Montpellier.
- CHABALIER P. F., 1986 - Evolution de la fertilité d'un sol ferrallitique sous culture continue de maïs en zone forestière tropicale. Agron. Trop., 41 : 179-191.
- CHARREAU C., NICOU R., 1971 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences économiques. Agron. Trop., 26 : 209-255.
- CRÉTENET M., 1995 - Conception des systèmes de culture durables. Expérimentation et enquête dans l'étude de la fertilité des sols. In : "Sustainable land management in African semi-arid and subhumid régions", F. GANRY, B. CAMPBELL, (éds.), Cirad, Montpellier : 131-139.
- DEBAEKE P., DORÉ T., VAUX P., 1996 - Production de références sur les successions de culture. In : "Expérimenter sur les conduites des cultures", DERF, ACTA, (éds.), Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation, Paris : 87-98.
- EHRWEIN J. H., 1976 - Esquisse de reconnaissance des vocations des sols, échelle 1/100000, Tchad au Sud du 16e parallèle. Ministère de l'Agriculture, section Agropédologie, N'Djaména.
- FALLAVIER P., BABRE D., BREYSSE M., 1985 - Détermination de la capacité d'échange cationique des sols tropicaux acides. Agron. Trop., 40 : 298-308.
- FELLER C., 1995 - La matière organique des sols, facteur de durabilité : recherche d'indicateurs de qualité des terres. In : "Sustainable land management in African semi-arid and subhumid régions", F. GANRY, B. CAMPBELL, (éds.), Ministère de la Coopération, Unep, Cirad-ca, Montpellier.
- FELLER C., 1991 - Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol 24, n° 1 : 25-36.
- FLEURY A., 1990 - Methodologie de l'analyse de l'élaboration du rendement. In : "La vie du maïs, physiologie du maïs, application à la production dans physiologie et production du maïs", D. PICARD, (éd.), INRA, AGPM, Université de Paris-Sud, Paris : 279-289.
- GUIBERT H., FALLAVIER., ROMERO J-R., 1999 - Carbon content in soil particle sizes and consequence on cation exchange capacity of Alfisols. Soil & Plant Anal., 30, n° 17-18 : 251-2535
- GUIBERT H., 1993 - Suivi de la force de travail 1988-1989 en zone cotonnière du Tchad. Rev. Sci. Tchad, 1 :

- MÉGIE C., EHRWEIN J. H., 1976 - Contribution à l'étude de l'évolution de la fertilité d'un sol du Continental Terminal (Koro) dans les essais pérennes de la station agronomique de Déli. *Cot. Fib. Trop.*, 31 : 240-253.
- MOREL R., QUANTIN P., 1972 - Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (République Centrafricaine). Résultats d'essais de culture mécanisée semi-intensive, sur des sols rouges ferrallitiques moyennement désaturés en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *Agron. Trop.*, 27 : 667-739.
- NAVARRO H., 1984 - L'analyse des composantes du rendement du maïs. Application à l'étude de la variabilité du rendement dans une petite région. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA-PG, Paris, 238 p.
- PIAZ J., 1970 - Note explicative n° 41. Carte pédologique du Tchad à 1/1 000 000. 2 coupures, ORSTOM, Bondy, 167 p.
- PICHOT J., SÉDOGO M. P., POULAIN J. F., ARRIVETS J., 1981 - Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *Agron. Trop.*, 36 : 122-133.
- PIERI C., 1979 - Etude de la composition de la solution d'un sol sableux cultivé du Sénégal. *Agron. Trop.*, 32, 9-22.
- PIERI C., 1989 - Fertilité des terres de savanes, Ministère de la Coopération, Paris, 444 p.
- RAYMOND G., 1992 - Gestion de la fertilité des sols et production cotonnière dans le Sud-Tchad. *Econ. Rurale*, 125-128.
- RAYMOND G., TCHILGUE Y., BELIAZI K., 1990 - Enquête suivi-évaluation 1989/90 30 villages zone soudanienne Sud-Tchad, ONDR/DSN, Moundou, Irct-Cirad, Montpellier, 36 p.
- REYNIERS F. N., BARON C., CORRADO S., 1997 - SARRA, logiciel opérationnel pour la valorisation agricole des ressources pluviométriques au Sahel. Compte-rendu des travaux. In : "Atelier harmonisation des outils méthodologiques de collecte, de suivi et d'analyse des données agro-socio-économiques en gestion des ressources naturelles", Dakar, 17-19 février 1997, Cirad-ca, Montpellier : 1-25.
- RICHARD L., DJOULET D., 1985 - La fertilité des sols et son évolution. Zone cotonnière du Tchad. *Cot. Fib. Trop. Sér. Documents, Etudes et Synthèse, Supplément n° 6*, 21 p.
- SANCHEZ P. A., 1976 - *Properties and management of soils in the tropics*. John Wiley & Sons, Chichester.
- SÉGALEN P., 1995 - Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique : les sols ferrallitiques en Afrique et en Extrême-Orient, Australie et Océanie - Conclusions générales, ORSTOM, Paris, 201 p.
- SÉMENT G., 1980 - Etude des effets secondaires de la fertilisation minérale sur le sol dans des systèmes culturaux à base de coton en Côte-d'Ivoire. Premiers résultats en matière de correction. *Cot. Fib. Trop.*, 35 : 229-248.
- SIBAND P., 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *Agron. Trop.*, 29 : 1128-1248.
- SINGH B. R., GOMA H. C., 1995 - Long-Term Soil Fertility Management Experiments in Eastern Africa. In : "Soil Management Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality", R. LAL, B. A. STEWART, (éds.), CRC Press, Boca Raton : 347-382.
- WEBB R. A., 1972 - Use of Boundary Line in the analysis of biological data. *J. Hortic. Sci.*, 47 : 309-319.

Annexe

Tableau 3 : Moyennes et écart-types des principales variables du niveau 10-20 cm du sol

Village	Tchanar	Donangda	Ngoko	Bogoye	Djoy	Ensemble
C total g kg ⁻¹	23 (4)	20 (8)	25 (6)	43 (10)	26 (4)	28 (11)
N total g kg ⁻¹	3,2 (0,3)	2,1 (0,8)	2,4 (0,5)	3,9 (1,0)	2,8 (0,6)	3,0 (0,9)
P assim. Olsen- Dabin mg kg ⁻¹	8,3 (2,0)	7,4 (3,7)	7,4 (4,6)	9,1 (6,9)	11,0 (4,9)	8,7 (5,1)
K éch. cmol _c kg ⁻¹	0,06 (0,02)	0,10 (0,06)	0,08 (0,03)	0,07 (0,01)	0,09 (0,03)	0,08 (0,03)
Ca éch. cmol _c kg ⁻¹	1,14 (0,24)	1,04 (0,70)	1,41 (0,30)	2,47 (0,61)	0,91 (0,24)	1,48 (0,77)
Mg éch. cmol _c kg ⁻¹	0,34 (0,07)	0,30 (0,16)	0,33 (0,04)	0,58 (0,12)	0,39 (0,10)	0,40 (0,15)
CEC cmol _c kg ⁻¹	2,0 (0,3)	1,5 (0,9)	2,0 (0,3)	3,2 (0,7)	1,5 (0,3)	2,2 (0,9)
pH eau	6,0 (0,3)	6,4 (0,3)	6,3 (0,3)	6,3 (0,2)	6,5 (0,3)	6,3 (0,3)

Tableau 4 : Résultats de l'analyse en composantes principales du positionnement des parcelles par rapport aux seuils des caractéristiques physico-chimiques du niveau 0-10 cm du sol.

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Contribution des axes à la variation totale	55 %	18%	9%
Vecteurs propres des axes			
CEC	0,46	0,13	0,15
C total	0,44	-0,03	-0,12
Ca échangeable	0,46	0,07	0,15
Mg échangeable	0,44	0,05	0,15
N total	0,32	-0,01	-0,75
Argile	0,05	0,83	0,24
Taux de saturation du complexe	0,25	-0,24	-0,04
pH	0,17	-0,48	0,54

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Guibert, H.; Ngamine, J.; Brouwers, M.; Altolna, M. - Indicateurs de fertilité des sols dans le bassin cotonnier du Tchad, pp. 190-205, Bulletin du RESEAU EROSION n° 19, 1999.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr