

Etats physico-chimiques des sols cultivables en zone cotonnière du Burkina Faso.

Effets de l'histoire culturale et du type de milieu.

B. OUATTARA¹, G. SERPANTIE², K. OUATTARA¹, V. HIEN¹, T. LOMPO¹, A. BILGO¹

1. Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 03 BP 7192 Ouagadougou 03, Burkina Faso

2. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM),
BP 171, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

Résumé

Pour appréhender les effets cumulatifs des cultures sur l'état des sols arables d'une région de savane soudanienne, une étude comparative synchronique a été conduite dans les terroirs de la région de Bondoukui, au Burkina Faso. Située au coeur de la zone cotonnière, cette région offre une grande diversité de paysages agricoles. Un plateau sableux et une plaine limono-argileuse sont occupés par des parcours et des zones de cultures permanentes ou itinérantes. Sur 110 parcelles, une enquête est menée sur l'histoire culturale et les paramètres courants de l'horizon 0-20cm (porosité globale, teneur en matière organique M.O., pH...) sont mesurés. On évalue des paramètres complémentaires (stabilité de structure, infiltrabilité...) sur un sous-échantillon. Ces indicateurs de fertilité conviennent aux systèmes de culture à intensification intermédiaire. L'influence importante des colloïdes minéraux sur les équilibres organiques et sur la structure impose l'utilisation d'une covariable "teneurs en éléments fins" dans la plupart des comparaisons. Ce diagnostic montre d'abord que les variations dues aux types de sols et à la physiologie des jachères longues antérieures (forêt dense ou savane arborée) peuvent masquer les effets cumulatifs des pratiques culturales. En groupant les situations de même type, on parvient à estimer à 40% la baisse maximale du statut organique des sols, due aux cultures de très longue durée sans restitution, en comparaison du niveau d'équilibre observé en culture itinérante. Dans les systèmes cycliques comportant une jachère de plus de 5 ans, le statut organique du sol en fin de jachère est généralement meilleur qu'en culture permanente, mais dans certains cas aussi mauvais. Ce phénomène est dû à la forte pression de prélèvement et à l'appauvrissement chimique des terres, qui ne permettent pas toujours à la jachère de jouer, pleinement, son rôle de restauration de la teneur organique. Mais la culture permanente ne conduit pas non plus systématiquement à dégrader le statut organique. La baisse de teneur en M.O. a surtout des répercussions sur les composantes chimiques et biologiques de la fertilité. En revanche, certains paramètres de la fertilité physique, comme la stabilité de structure, apparaissent d'abord liés à la teneur en colloïdes minéraux et à l'état d'occupation du milieu (jachère ou culture) qui conditionnent le type et l'organisation de la M.O. dans le sol et non à la teneur moyenne en matière organique.

Mots-clé : sols ferrugineux - fertilité - jachère - système de culture - savane - coton - matière organique.

Physical and chemical states of arable soils in Burkina cotton zone. Effects of cropping histories on various soils.

Abstract

To apprehend better the overall cumulative effects of the bio-climatic environment and its uses (wood collect, bush fire, pasture) on the state of arable soils in a sudanian savanna, a synchronic comparative study has been carried out in Bondoukui (Burkina Faso). Located in the cotton zone, this area offers a great agricultural landscape variety, including in particular a sandy plateau and a plain rich in clay and silt locally crossed by permanent or shift fields and pasture land. Investigation works have therefore been achieved following fallowlands and cultivated fields typology according to their remote history ("cropping series"), their previous cropping system, and their present land-use pattern.

By using extensive inquiry about 110 plots, the assessment of post-cultural dynamics and cultivated soils fertility have been focused on the characterization of soils structural states and their chemical and hydrodynamic patterns. Among a subsample you assess complementary parameters (structure stability, infiltrability). These fertility indicators are appropriate for a first sorting out in the context of cultivation systems with intermediate intensification.

The great influence of mineral colloids on soil status and structure obliges to the use of a co-variable "content of fine elements" for most of the comparisons. This diagnosis shows first that the variations dues to the types of soils and original ecosystems hide the cumulative effects of the cropping systems. By gathering similar situations you manage to assess to 40% the maximum decrease in soils organic status owing to long lasting cropping without restitution compared with savanna lands resulting from shifting cultivation.

In some cyclic systems (including even an at least five-year-long fallow) the end of fallow soil organic status is not superior to that of permanent cropping. This phenomenon is due both to the high pressures put on fallow land and soils degrading, which do not allow them to reveal entirely their potentials. Permanent cultivation does not necessary lead to degraded soils either. Decrease in organic matter related to clay rate has mainly effects on chemical and biological component of fertility. In return some physical fertility parameters, such as aggregation stability, are firstly linked to content in mineral colloids and the previous state of occupation (fallow or crop) conditioning type and organisation of organic matter in the soil.

Key words: ferruginous soils fertility – fallow - cropping system – savannas – cotton - organic matter.

Introduction

Les systèmes cycliques culture-jachère sont répandus en milieu tropical et particulièrement en Afrique de l'Ouest des savanes (Ruthenberg, 1980 ; Floret *et al.*, 1993). La jachère y est créditée de multiples avantages, en particulier celui de restaurer certaines composantes de la fertilité du sol après une culture temporaire (Morel & Quantin, 1964). Les recherches sur ces effets sont loin d'être achevées, et surtout nuancées en fonction des situations. Ainsi, de récentes études menées par l'INERA ont confirmé le rôle de la jachère de longue durée sur la régénération de nombreuses composantes de la fertilité physique et chimique (Sédogo, 1993 ; Ouattara, 1994). Mais, contrairement à ce qui est admis (Nye & Greenland, 1964; Morel & Quantin, *op.cit.* ; Godefroy & Jacquin, 1975 ; Bayer, 1984 ; Piéri, 1989) l'influence de la jachère sur la porosité structurale des sols ferrugineux tropicaux n'y a pas été clairement mise en évidence. Nous nous proposons de poursuivre ici les investigations sur les effets de la jachère sur le sol, mais cette fois dans un contexte régional de savane soudanienne cotonnière, pour prendre en compte tous ses facteurs propres. D'autres questions s'ajoutent à cette recherche sur les effets des jachères. Car les systèmes de culture et de production ne cessent d'évoluer : développement des cultures commerciales et de l'élevage sédentaire, mécanisation et utilisation d'intrants, allongement des périodes culturales, raccourcissement des jachères. Ces nouveaux systèmes sont-ils durables ? La jachère leur est-elle toujours nécessaire ? Quels effets cumulatifs produisent-ils sur le milieu ? Plusieurs études exposent les risques graves que les systèmes de cultures actuels font encourir au capital foncier et à la fertilité (Van der Pol, 1991; Taonda *et al.*, 1995).

Mais qu'est-ce, au juste, que la fertilité, ce mot issu du langage courant, qui se rapporte autant à des perceptions sociales que techniques? Si l'on s'en tient à une lecture agronomique, la fertilité ou "aptitude à produire d'un milieu" renvoie à des potentialités diverses (Sebillotte, 1993). Les échelles de fertilité varient donc selon les modes de mise en valeur. Il n'y a pas de fertilité absolue. On jugera ainsi l'état d'un milieu (climat, terrain, êtres vivants) sur ses aptitudes vis-à-vis du système de culture choisi. Vue sous cet angle, la fertilité ne saurait s'identifier ni à un paramètre du sol unique, ni à une simple combinaison de paramètres, ceux-ci interagissant entre eux, avec le climat et le système de culture choisi. Elle recouvre les fonctions que le milieu doit remplir, les rendements potentiels (de la terre, des intrants, du travail), les contraintes encourues dans le processus de production (risques, conditions et difficultés techniques), enfin les coûts d'exploitation potentiels. Mais pour trier *a priori* des terrains soumis à un même environnement bio-climatique et à un type de système de culture (ici un système de culture moyennement intensif des savanes soudanaises), on peut néanmoins commencer par se baser sur les composantes chimiques et physiques de la fertilité, conventionnellement admises pour ce cas précis.

Pour connaître les effets cumulatifs des systèmes de culture sur leur milieu, il convient de connaître un état initial et un état final. Les effets cumulatifs sont par définition peu perceptibles à très court terme, mais il existe des méthodes pour les estimer (bilans organiques, bilans minéraux, suivis diachroniques). Elles restent délicates à mettre en oeuvre ailleurs qu'en milieu contrôlé, où les conditions générales et les systèmes de culture diffèrent bien souvent du contexte agricole réel. Nous pouvons comparer les différents états actuels par une étude synchronique de parcelles en culture ou l'ayant été, dans un contexte régional de production donné. Il faudra alors les relier à des références écologiques et aux différents systèmes de cultures passés. Dans un second temps, on évaluera par des tests et enquêtes agronomiques l'impact de ces états hérités sur les résultats des systèmes de culture actuels.

Notre propos n'est pas d'établir des cartes d'aptitude, dans la mesure où nous nous intéressons à l'agriculture telle qu'elle se pratique. L'existence d'un champ signifie que le couple sol-système de culture y est suffisamment efficace dans son contexte socio-économique. Mais ce couple est-il améliorable et surtout durable ? Ce sont bien les questions qui sont posées actuellement aux agronomes. Pour maîtriser durablement une production, le choix existera entre maîtriser le milieu ou adapter progressivement le système de culture à son évolution.

Nous présentons ici la première partie de cette enquête sur la fertilité, qui a consisté à explorer la variabilité de critères de fertilité *a priori*, valables pour les systèmes de culture de moyenne intensification, tels qu'ils sont actuellement, dans une petite région représentative de la zone des savanes cotonnières.

Matériel et méthodes

Cadre de l'étude

La région de Bondoukui, site choisi pour cette étude, est située en limite Nord du secteur climatique sud-soudanien. La pluviosité moyenne annuelle est de 900 mm. Les sols cultivés sont principalement du type ferrugineux tropical lessivé, généralement épais d'au moins 1 mètre, et fréquemment hydromorphes vers 50 cm. Ces sols sont caractérisés par une structure faiblement développée. Deux grandes unités morpho-pédologiques ont été concernées par l'enquête :

- le "plateau", glaciaire structural sur grès grossiers, présente des sols ayant une texture généralement sableuse dans les horizons de surface, avec, en profondeur, hydromorphie dans les bas de pente et rubéfaction sur les parties convexes ou en situation de piémont (sols ferrallitiques). Des affleurements rocheux et indurations ferrugineuses à faible profondeur se rencontrent sur la moitié de l'espace du plateau rendant ces parties incultivables.
- le "bas-glaciaire", domaine le plus cultivé, est une plaine proche du fleuve Mouhoun, sur la série de grès "schisto-dolomitiques". Les sols qui y sont développés sont hydromorphes avec des textures grossières sur les pentes, limono-sableuses en plaine, limono-argileuses dans les bas-fonds.
- Ces deux unités sont séparées par une transition de cuirasses étendues et de vallées étroites.

Dans cette région, représentative de la zone soudanienne cotonnière, la pression foncière faible au départ s'est accentuée dans les années 1970 sous le double effet des migrations et du développement de l'agriculture: pratique de cultures commerciales, développement de la culture attelée, et développement de l'élevage. La durée des cultures s'y accroît, celle des jachères diminue, et les prélèvements augmentent. Il est aussi observé une évolution de la physionomie végétale des jachères : plus de ligneux dans certains cas, mais dans d'autres, il se produit un retard de la colonisation des graminées pérennes (Devineau & Fournier, 1997).

Typologie des situations culturelles

Avec les sols des deux unités morphopédologiques, nous disposons d'une gamme texturale étendue à croiser avec une typologie d'histoires culturelles. Pour croiser les états actuels du sol avec les facteurs historiques, il convient de retenir une échelle de temps adéquate. En effet certains paramètres du sol sont sensibles aux changements rapides de l'état d'occupation (états de surface, stabilité de structure par exemple), d'autres sont doués d'une relative inertie (stock de M.O., pH). Dans ce but, il faut prendre en compte différentes échelles de temps : état actuel, passé immédiat, temps long. Au cours de l'histoire, se succèdent non seulement des pratiques culturelles, mais aussi des pratiques d'exploitation en pâturage, feux et prélèvements. Pour le temps long, nous définissons des *séries agro-écologiques*, comme des successions particulières de phases culturelles et de jachères. Pour le passé immédiat, nous décrivons les systèmes de culture, comme les successions et techniques culturelles observées pendant les périodes de culture (Kissou, 1994 ; Serpantié & Douanio, en prép.). A Bondoukui, hors du voisinage immédiat des villages, trois principales séries agro-écologiques ont été recensées :

A. La culture itinérante, 5 ans de culture tous les trente à quarante ans. Les états actuels concernés sont les jachères d'au moins 30 ans (ou *duiré* en langue *bwa*) après 5 ans de culture, et les cultures de moins de 5 ans sur défriche de *duiré* d'au moins 30 ans. La physionomie des *duirés* est variée, suivant la richesse chimique, l'humidité et le régime des feux de la station : forêt dense (sans tapis graminéen) ou savanes arborées pâturées et brûlées. La durée des cultures dépassant maintenant systématiquement dix ans, on ne trouve plus l'état "jeune jachère" en culture itinérante.

B. Les cultures permanentes depuis au moins 5 ans. Il s'agit de la persistance de culture d'une défriche de *duiré*, exploitation qui peut atteindre dans certains cas, 30 ans. Ici c'est l'âge du champ qui est le paramètre d'état (6-10, 11-15, > 15 ans). Des jachères à herbacées annuelles de moins de 4 ans peuvent s'intercaler dans la culture permanente.

C. Les cultures cycliques. A partir d'une défriche de *duiré* (dans les années 1960), suit la mise en place d'un système culture-jachère plus ou moins régulier (5 à 10 ans de culture, 5 à 20 ans de jachère de type savane arbustive). Les états à prendre en compte sont l'état "fin de jachère-début de culture" et "fin de culture-début de jachère", mais aussi le nombre de cycles depuis la défriche de *duiré*. Notons que le système de culture adopté a souvent varié depuis la défriche initiale.

Les principaux systèmes de culture récents et actuels sont moyennement intensifs : rotations céréalières non fertilisées mais labourées manuellement ou en traction animale une année sur deux, maïs continu fumé, et rotations de deux ou trois ans à base de cotonnier et céréales, fertilisées partiellement, cultivées en traction animale ou motorisée, labourées plus ou moins fréquemment. Mais, en raison du dépouillement des données inachevé en ce qui concerne les régimes de travail du sol et de restitutions, cet article ne prendra en compte la variété des systèmes de culture qu'au travers du régime de fumure organique (avec ou sans).

Plan d'échantillonnage

L'échelle parcelle a été retenue. Une parcelle se définit pour les jachères par une unité spatiale physiologiquement et historiquement homogène, et pour les champs par une unité spatiale homogène dans son utilisation actuelle et passée.

Deux approches complémentaires ont été associées :

- la première, exploratoire et descriptive, vise à identifier statistiquement les domaines de variation des paramètres retenus et en hiérarchiser les facteurs explicatifs. Afin d'identifier suffisamment de facteurs de variation, 110 parcelles ont été choisies sur un transect partant du "plateau" vers le "bas-glacis", lorsque l'enquête sur l'histoire était possible. Le choix des parcelles a été guidé par un certain nombre de paramètres *a priori* : le sol (ferrugineux ou ferrallitique), la texture, la série culturale, le système de culture et l'état présent, la physiologie de la jachère longue précédente ;
- la seconde, analytique, basée sur des situations représentatives de la typologie obtenue, porte sur une caractérisation affinée au moyen des paramètres complémentaires.

Méthode de prélèvement des terres

A cause du coût d'analyse de multiples échantillons, il a été choisi, malgré ses limites bien connues, la technique de l'échantillon unique composite de 6 à 8 prises au hasard par cheminement, sur deux profondeurs : 0-10 cm et 10-20 cm, en saison sèche. Afin de mieux rendre compte de la couche de sol utile aux plantes d'une part, de mieux comparer les sols sous culture et sous végétation d'autre part, les deux horizons de prélèvement ont été intégrés en un seul représentant l'horizon 0-20 cm.

L'incertitude d'une telle mesure a été estimée en appliquant ce protocole 5 fois de suite sur quelques parcelles. Pour le C et le N, le coefficient de variation obtenu vaut moins de 10%. L'intervalle de confiance à 5% de risque vaut donc 0,05% pour C et 0,05% pour N. Pour le pH, le coefficient de variation vaut de 1 à 4%, soit une incertitude de 0,2 points de pH. Il s'agit donc bien d'une approche grossière, exploratoire, misant sur le nombre et les contrastes.

Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres du sol conventionnels de la fertilité en condition d'intensification moyenne, les plus accessibles, sont : la texture, la teneur en matière organique, le pH, le complexe absorbant, la porosité globale, la stabilité de structure. Ces paramètres sont évalués sur l'ensemble des parcelles. Des caractères complémentaires tels que l'infiltrabilité, les caractères du système poral, les équilibres minéraux, l'aptitude à la minéralisation et la biologie du sol permettront d'affiner ultérieurement l'analyse, sur un sous-échantillon. Les déterminations sont celles qui sont couramment effectuées en laboratoire des sols : charge grossière, granulométrie 5 fractions, matière organique (C tot., N tot.), complexe absorbant (méthode au cobaltihexamine), pH eau et KCl, P total et assimilable (Olsen-Dabin). La densité apparente (D_a) a été déterminée *in situ*, au cylindre de 150 cm³. La densité réelle (D_r) est obtenue au pycnomètre. Les tests de perméabilité à l'eau ont été réalisés avec l'infiltromètre à membrane, à succion contrôlée, sous les pressions de (-10 mm) et (-100 mm). Pour déterminer la stabilité structurale, on a mesuré le taux d'agrégats stables supérieurs à 200 microns, après tamisage standardisé dans l'eau, selon une technique adaptée aux sols à kaolinite et ne faisant pas appel à des prétraitements (Bloin *et al.*, 1990).

Résultats

Le statut organique

La teneur en matière organique (estimée par la teneur en C) est considérée généralement comme le premier témoin de l'évolution des sols au cours de la mise en culture d'un milieu forestier, et comme le pivot de la

fertilité physico-chimique. Elle est significativement corrélée à la teneur en éléments fins (fig.1) en concordance avec les résultats de Piéri (*op. cit.*) et Feller *et al.* (1993). La régression linéaire est de qualité comparable avec la variable Argile ($r^2=0,51$) et avec A+Lf ($r^2=0,50$). Néanmoins dans le domaine des sols sableux, c'est la variable A+Lf qui donne le meilleur résultat. Ceci imposera de conserver le taux d'éléments fins comme co-variable ou de rechercher les autres facteurs de variation par classes texturales étroites. Notons que les droites de régression ne passent pas par zéro.

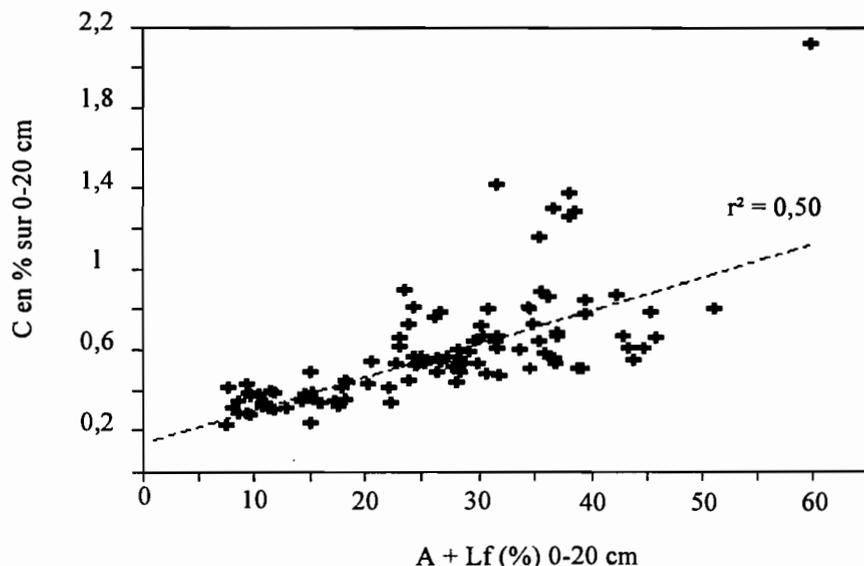
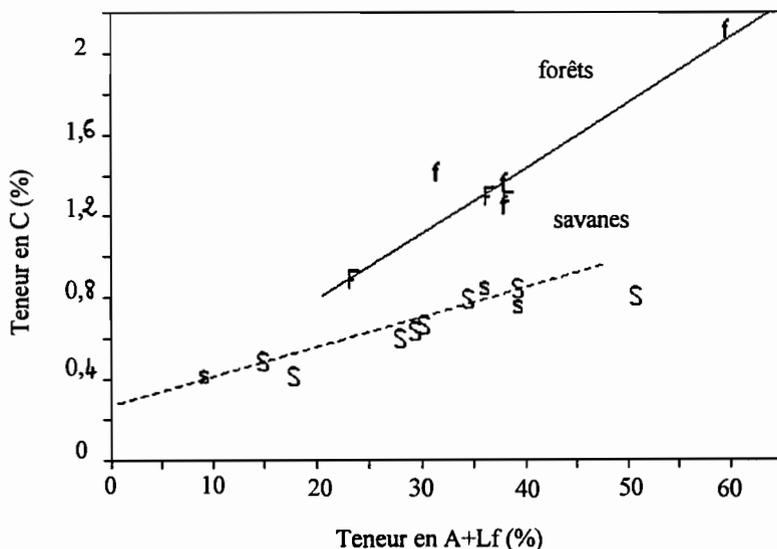


Figure 1. Relation entre la teneur en carbone et le taux d'éléments fins sur l'ensemble des parcelles de Bondoukou (Burkina Faso)

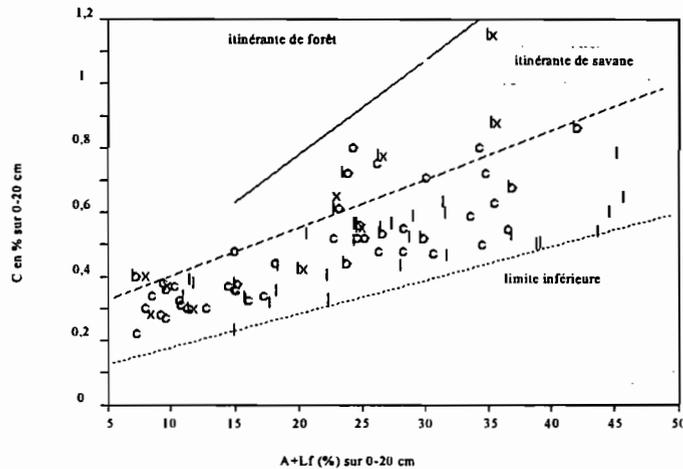
Les parcelles relevant de la série A "culture itinérante", sur sols ferrugineux et hydromorphes, sont isolées du graphique précédent (fig. 2). Le nuage de points se sépare en deux tendances linéaires et peu variables, suggérant deux niveaux d'équilibre. Ils ne distinguent pas le type de sol ou l'état d'occupation, végétation ou culture, mais deux physionomies de *duirés* bien distincts: la forêt dense et la savane arborée. L'état culture ne s'y écarte pas significativement de l'état *duiré*. Nous appellerons "droite des forêts" ($y = 0.031 x + 0.17$, $r^2 = 0.89$) et "droite des savanes" ($y = 0.015 x + 0.23$, $r^2 = 0.88$) ces droites de régression, car elles nous serviront dorénavant de références.



F.S : vieille jachère forestière ou savanicole ; f, s : défriche de moins de 5 ans

Figure 2. Relation entre teneur en C et taux d'éléments fins. Série A culture itinérante

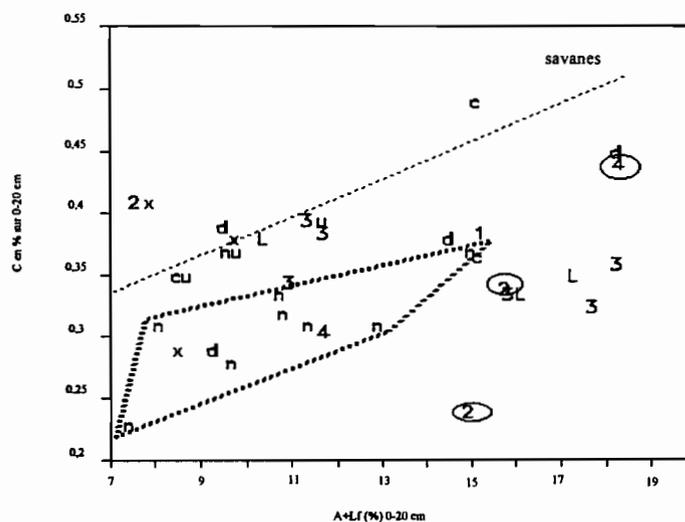
La série B (culture permanente) et série C (systèmes cycliques) comprennent des sols ferrugineux et hydromorphes, et des sols de piémont (ferrallitiques et gravillonnaires). Le nuage de points (fig. 3) s'établit entre d'une part la droite des forêts, d'autre part une limite inférieure égale à la droite des savanes moins 40%. La quasi-totalité des situations issues de savanes sur sol ferrugineux ont une teneur inférieure ou égale à la droite des savanes. En revanche, les parcelles sur terrain de piémont (ferrallitiques, gravillonnaires), ainsi que les champs issus de défriches de forêts denses ont des teneurs qui dépassent le plus souvent celles de la "droite des savanes". Bien qu'une grande variabilité affecte les teneurs en matière organique de chaque série, on discrimine bien l'ensemble des séries "cultures permanentes longues"(l) par rapport aux cultures permanentes courtes et cultures cycliques (b, c).



X ferrall. ; o forestier ; b permanent 6-10 ans ; l perman. >10 ans ; c cyclique

Figure 3. Relation entre C et éléments fins. Série B (cult. perm.) et C (cult. cyclique).

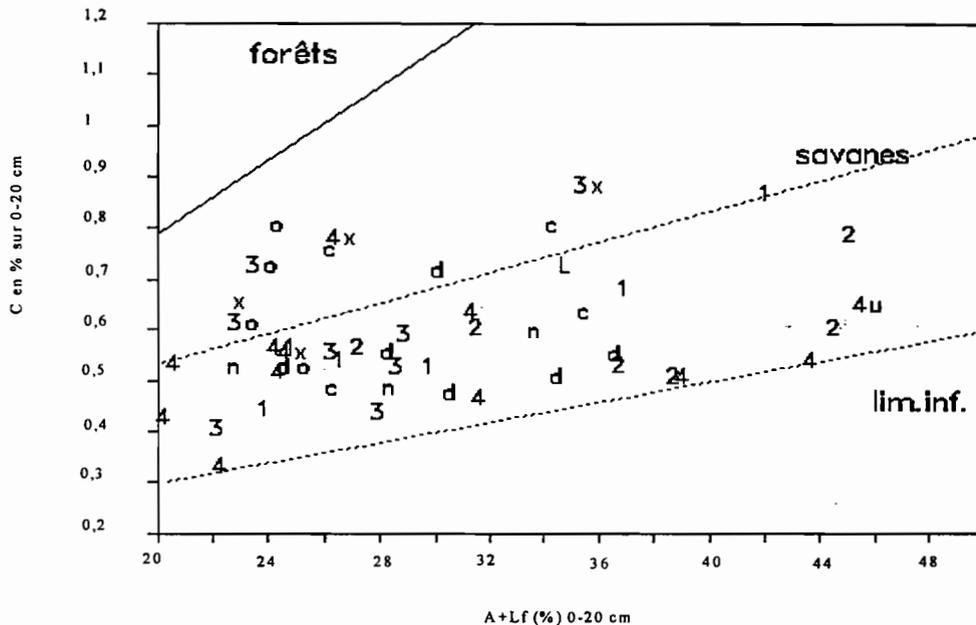
Détaillons à présent cette analyse pour les sols ferrugineux et hydromorphes. Dans le domaine sableux (fig. 4), il n'y a pas de milieux sableux cultivés en culture permanente en dessous de 11% d'éléments fins. On peut cerner trois groupes de parcelles : l'un est à cheval sur la droite des savanes et contient des champs d'histoires diverses mais souvent fumés, des jachères et des débuts de culture. Le second (entouré) est à moins 0,10% C de la droite des savanes et contient surtout des fins de culture (série cyclique) et quelques champs permanents. Le troisième est à moins 0,15% C de la droite des savanes et contient surtout des champs permanents labourés fréquemment au tracteur mais aussi, paradoxalement, quelques longues jachères.



série B : culture permanente-s (1 : 6-10 ans ; 2 : 11-15 ans ; 3 : >15 ans avec cycle jachère <5 ans ; 4 idem sans cycle jachère)
 série C : cultures cycliques(d : début de culture ; n : fin de culture ; c : jachère de 5-14 ans ; L : jachère >15 ans)
 u : fumure ; ○ : labours tracteurs ; o : ancienne forêt ; x : ferrallitique.

Figure 4. Interprétation du graphique C% X El. Fins. Séries B et C. Sols ferrugineux Sableux

Dans le domaine limoneux (fig. 5), les états organiques des *duirés* sont plus variables que dans le domaine sableux, où les forêts denses sont rares. Les terres présentent la trace d'anciennes forêts denses sous forme d'une teneur en M.O. élevée. C'est le cas de certains champs, pourtant permanents, dont le statut organique est supérieur à la droite des savanes. Comme dans les sols sableux, les états "jachères et début de culture" (c, L, d, 1), et "fin de culture" (n, 2) ne s'opposent que faiblement. Les champs permanents les plus anciens sont nettement concentrés près de la limite inférieure, mais il existe pas mal d'exceptions proches de la droite des savanes. La courbe enveloppe inférieure marque la dégradation maximale du stock organique d'équilibre après des cultures permanentes ou cycliques. Il y a au moins trois parcelles d'états "d" peu éloignées de cette limite. On retient de ce graphique la difficulté d'isoler clairement un groupe, et donc de prédire une teneur organique en fonction des éléments d'histoire restreints à la série agro-écologique et au passé immédiat.



série B : culture permanentes (1 : 6-10 ans ; 2 : 11-15 ans ; 3 : >15 ans avec cycle jachère <5 ans ; 4 idem sans cycle jachère)
série C : cultures cycliques (d : début de culture ; n : fin de culture ; c : jachère de 5-14 ans ; L : jachère >15 ans)
u : fumure ; ○ : labours tracteurs ; o : ancienne forêt ; x : ferrallitique

Figure 5. Interprétation du graphique C% x El. Fins. Sér. B et C. Sols ferrugineux limoneux.

Le statut en azote

On conservant les mêmes graphiques et en annotant les points à l'aide des autres paramètres génériques, on peut visualiser d'autres paramètres de fertilité chimique. Les rapports C/N varient peu (de 9 à 15). L'azote total suit donc assez précisément le statut carboné. Dans la série A (culture itinérante), le rapport C/N est élevé (15) en *duiré* forestier et faible (10 à 13) en *duiré* de savane ce qui indique l'existence de matière organique moins évoluée dans les forêts. Dans les séries B et C, la droite des savanes sépare, au dessus, les "forts" C/N (12-13), et au dessous, les faibles (9-11).

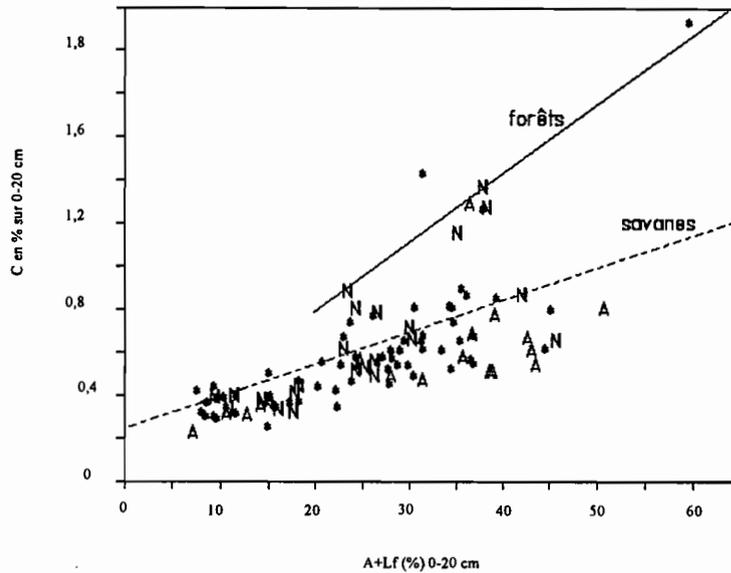
Autres paramètres chimiques

Les milieux forestiers présentent des teneurs en phosphore deux à trois fois plus importantes qu'en savane. Dans les systèmes de culture permanentes et cycliques, la droite des savanes sépare grossièrement les milieux ayant de faibles réserves de P (moins de 150 ppm total, moins de 10 ppm assimilable), des sols mieux pourvus.

Les pH moyennement acides (≤ 6) se rencontrent dans des *duirés* de savane, jachères et champs, dans des conditions de faible teneur en C relativement aux éléments fins, précisément au dessous de la droite des savanes (fig. 6). Les pH les plus acides correspondent souvent à des cultures permanentes longues. La fumure "organique" relève le pH considérablement, mais d'abord par l'apport de cendres ménagères probablement.

La CEC est une fonction chimique importante pour les systèmes moyennement intensifiés (Serpantié & Kissou, 1995), en particulier dans ces sols pauvres en argiles actives. La CEC augmente essentiellement avec la teneur en C (fig. 7) ainsi qu'avec le pH. Dans certains cas de faible statut organique, de fortes CEC indiquent l'existence

d'argiles à plus forte capacité d'échange que la kaolinite, comme la montmorillonite, dans ou à proximité des bas-fonds. La CEC est plus ou moins saturée sur le plateau et pratiquement saturée dans le bas-glacis.



N : $6,5 \leq \text{pH} < 7,3$ * $6 \leq \text{pH} < 6,5$ A : $\text{pH} < 6$
 Figure 6. Relation entre C et éléments fins. Visualisation du pH.

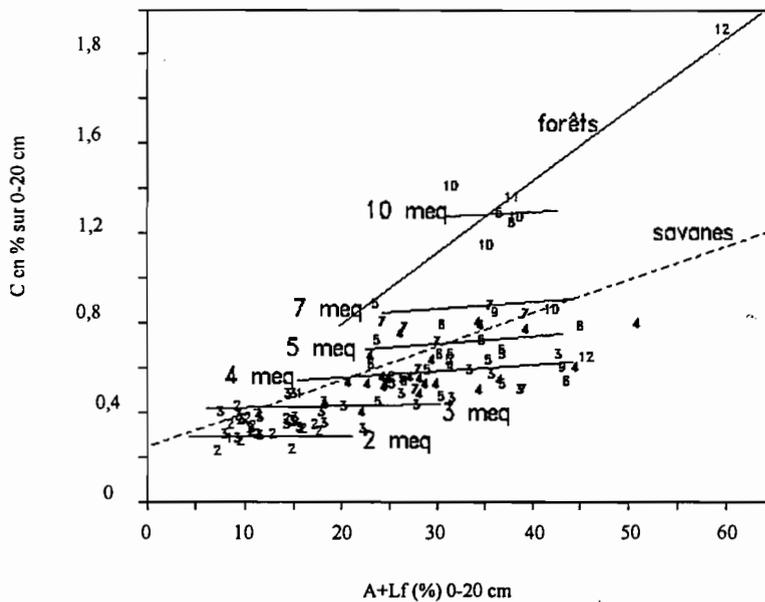
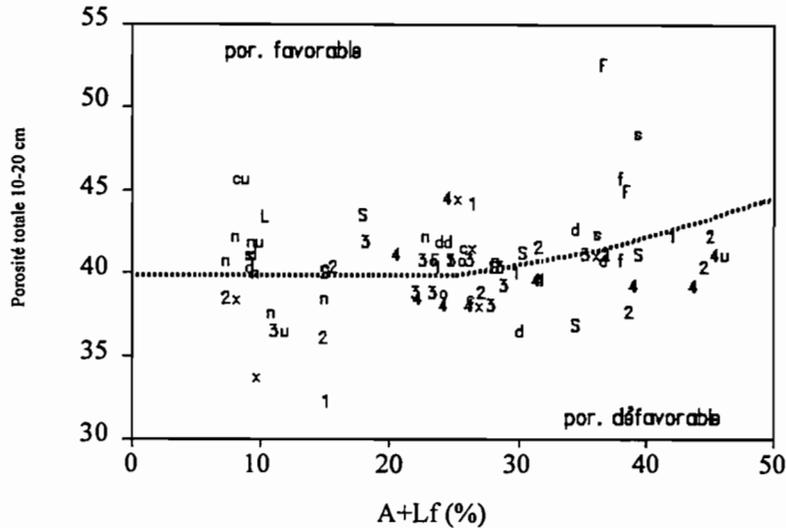


Figure 7. Relation entre C et éléments fins. Visualisation de la CEC

Porosité

Pour s'abstraire des effets du travail du sol, nous nous intéressons à la porosité totale de l'horizon non travaillé 10-20 cm mesurée sur 150 cm^3 de sol, (figure 8). On donne pour les sols ferrallitiques et ferrugineux la valeur de 40% comme une limite en dessous de laquelle apparait une forte gêne pour l'enracinement. Mais lorsque le taux d'argile s'accroît, ce seuil est à relever de quelques points car la microporosité s'accroissant, la porosité structurale y baisse relativement (Boyer, 1982). La porosité moyenne des *duiré* forestiers et des jachères longues est largement au dessus de ce seuil. Cependant les *duiré* de savane ont parfois une mauvaise porosité, qu'il faut relier à l'effet du piétinement qui se fait sentir jusque sur l'horizon 10-20 cm. Dans les champs (séries A, B et C), la situation de la porosité est extrêmement variable. Mais les champs permanents sont le plus souvent en dessous du seuil.



série B : culture permanentes (1 : 6-10 ans ; 2 : 11-15 ans ; 3 : >15 ans avec cycle jachère <5 ans ; 4 idem sans cycle jachère)
 série C : cultures cycliques (d : début de culture ; n : fin de culture ; c : jachère de 5-14 ans ; L : jachère >15 ans)
 u : fumure ; ○ : labours tracteurs ; o : ancienne forêt ; x : ferrallitique
 F, S : vieille jachère forestière ou savanicole ; f, s : défriche de moins de 5 ans

Figure 8. Relation entre porosité 10-20 cm et teneur en éléments fins.

La stabilité structurale

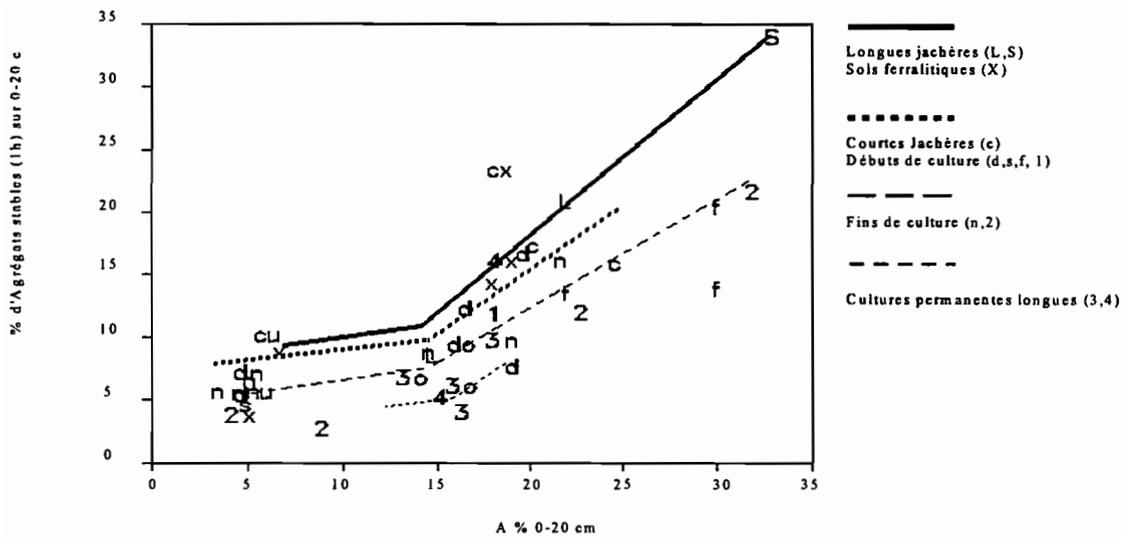
Les résultats des mesures des teneurs du sol en agrégats supérieur à 200 μ stables, après une heure de tamisage standardisée dans l'eau sont d'abord fonction de la texture des sols (fig. 9). Plus de 60% de la variance du taux d'agrégat est expliquée par les teneurs en argile, au delà de 15% d'argile. La relation entre le taux d'agrégats stables à l'eau (Ag) et la teneur en argile des champs cultivés, suit une fonction puissance de la forme :

$$Ag (\%) = 0,02 (A\%)^2 - 0,32 (A\%) + 6,95 \quad r^2=0,64$$

Les sols des vieilles jachères ont une stabilité structurale supérieure aux champs qui les suivent : On remarque quelques exceptions : les champs permanents sur sols de piémont (ferrallitiques) conservent une stabilité plus importante.

Compte-tenu de la relation forte entre argile et M.O., on doit vérifier si cet effet "argile" n'est pas en réalité un effet du complexe argilo-humique. Pour le vérifier, testons l'hypothèse que la M.O. joue un rôle dans les variations de stabilité au sein d'une classe texturale. Dans la gamme des sols les plus sableux ($A < 10\%$), la teneur en argile n'apporte pas d'accroissement de stabilité (fig. 9). Aussi peut-on apprécier l'effet matière organique directement en croisant stabilité et teneur en C (fig. 10). Aucune relation n'apparaît entre M.O. et stabilité, dans aucune des catégories d'occupation du sol. En revanche les états "jachère" et "défriches récentes" présentent une amélioration faible mais significative, indépendamment du taux de M.O.

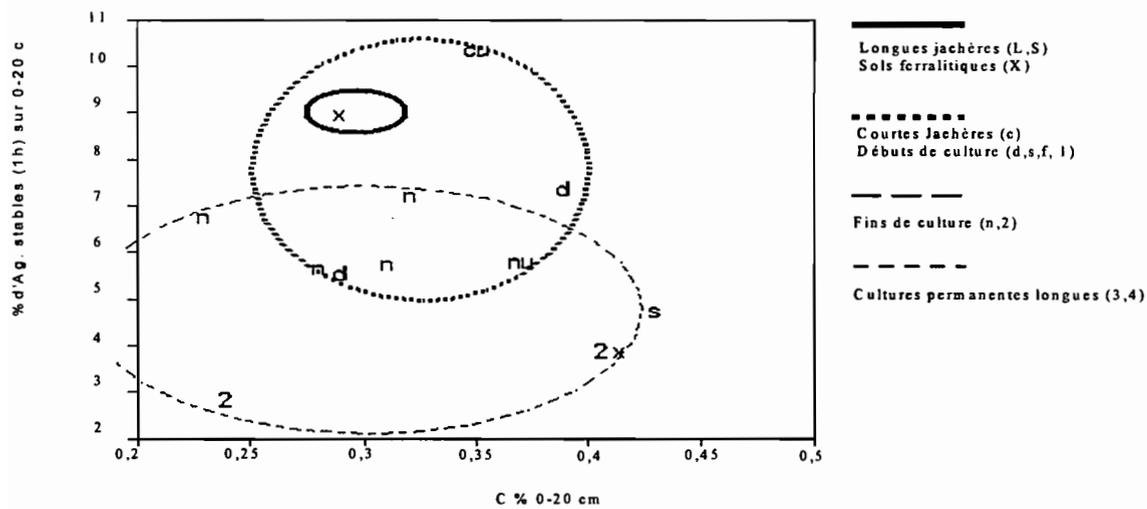
Dans la gamme des sols limoneux en revanche, la teneur en "argile" contribue fortement à la stabilité (fig.9). Si on compare stabilité à la teneur absolue en M.O., une relation positive apparaît, mais elle représente en fait la double relation matière organique-argile, et argile-stabilité. Pour ne pas ainsi confondre un effet M.O. à l'effet "argile", nous proposons de tester l'effet de la teneur relative en C% par rapport à l'argile%, sur la stabilité (fig. 11). Ici encore, aucun effet de la richesse en M.O. relative apparaît, ni globalement, ni par classe d'histoire culturelle. Le cas du *duiré* de savane (S) montre une très forte stabilité malgré une faible richesse relative en M.O. Ce graphique met en évidence une nette hiérarchie de stabilité depuis les champs permanents (avec ou sans jachère de courte durée), les champs récents, les jachères, jusqu'aux "duirés", dont les sols sont les plus stables. La stabilité des sols ferrallitiques résiste aussi mieux à la culture permanente. Sur les cinétiques de désagrégation des sols, il apparaît aussi clairement que celle-ci est plus lente sur les vieilles jachères par rapport aux champs cultivés. Et sur ces derniers, la cinétique est d'autant plus lente que le champ est jeune.



série B : culture permanentes (1 : 6-10 ans ; 2 : 11-15 ans ; 3 : >15 ans avec cycle jachère <5 ans ; 4 idem sans cycle jachère)
 série C : cultures cycliques (d : début de culture ; n : fin de culture ; c : jachère de 5-14 ans ; L : jachère >15 ans)
 u : fumure ; ○ : labours tracteurs ; o : ancienne forêt ; x : ferrallitique
 Données : Lompo (1997)

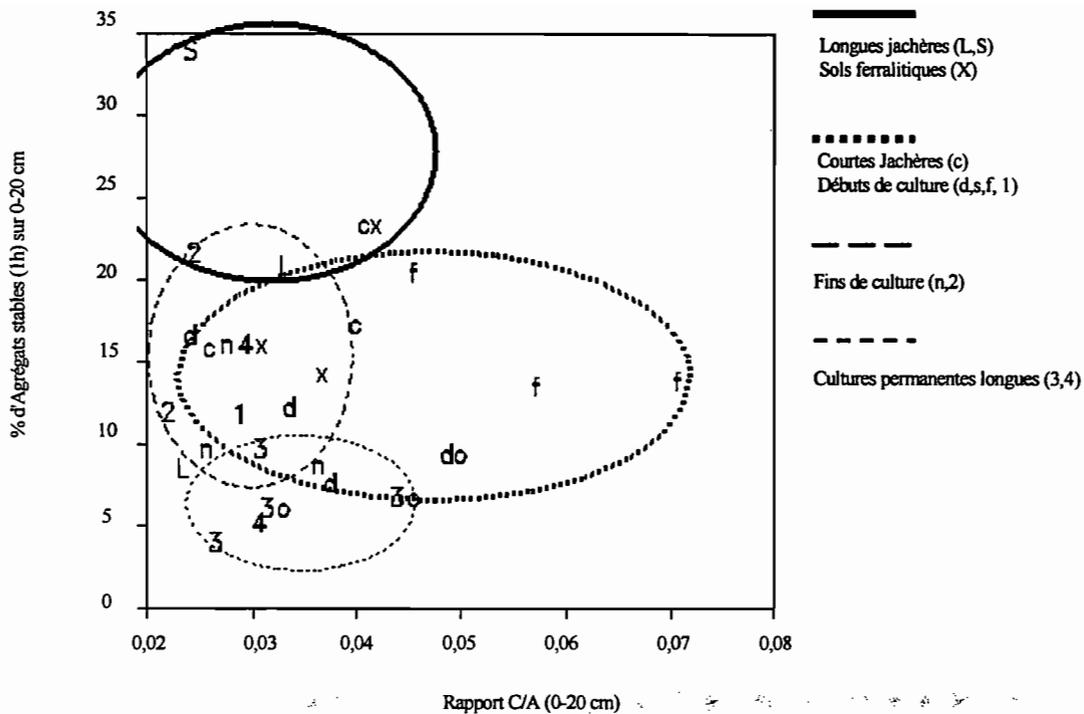
F, S : vieille jachère forestière ou savanicole ; f, s : défriche de moins de 5 ans

Figure 9 : Relation entre stabilité structurale et taux d'argile



série B : culture permanentes (1 : 6-10 ans ; 2 : 11-15 ans ; 3 : >15 ans avec cycle jachère <5 ans ; 4 idem sans cycle jachère)
 série C : cultures cycliques (d : début de culture ; n : fin de culture ; c : jachère de 5-14 ans ; L : jachère >15 ans)
 u : fumure ; ○ : labours tracteurs ; o : ancienne forêt ; x : ferrallitique
 F, S : vieille jachère forestière ou savanicole ; f, s : défriche de moins de 5 ans
 Soils sableux (A < 10%). Données : Lompo (1997)

Figure 10 : Relation entre stabilité structurale et taux de carbone



série B : culture permanentes (1 : 6-10 ans ; 2 : 11-15 ans; 3 : >15 ans avec cycle jachère <5 ans; 4 idem sans cycle jachère)
 série C : cultures cycliques (d : début de culture ; n : fin de culture; c : jachère de 5-14 ans; L : jachère >15 ans)
 u : fumure ; ○ : labours tracteurs ; o : ancienne forêt ; x : ferrallitique
 F, S : vieille jachère forestière ou savanicole ; f, s : défriche de moins de 5 ans
 Sols limoneux (A > 10%). Données : Lompo (1997)

Figure 11. Relation entre stabilité structurale et taux de carbone relatif à l'argile

Evolution des caractéristiques hydrodynamiques des sols

L'infiltration à succion contrôlée a permis de déterminer la conductivité hydraulique des sols à la saturation K_{sat} sur la couche superficielle (0-8 cm) des sols, et les teneurs en eau pondérales du sol avant (θ_i) et après infiltration (θ_f). Le tableau 1 résume les résultats obtenus en fonction de la typologie des champs cultivés comparativement au *duiré* de référence.

Tableau 1. Caractéristiques hydrodynamiques moyennes des séries A et B

Systèmes de culture	K_{sat} (mm/h)	θ_i	θ_f
<i>Duiré (savane)</i>	33,2	0,03	0,23
Champs de nouvelle défriche	27,2	0,04	0,21
Champs permanents	21,5	0,08	0,19
Champs perm. en labours annuels	21,1	0,07	0,18
Champs perm. en labours occasionnels	20,4	0,04	0,21
Champs perm. sur texture LS	19,6	0,05	0,20
Champs perm. sur texture SL	23,1	0,06	

Discussion

Le statut organique

La teneur en matière organique des sols est d'autant plus élevée que ceux-ci sont riches en éléments fins. Feller *et al* (*op. cit.*) donnent la "fraction argileuse" de la matière organique (c'est-à-dire les fragments de taille inférieure à 0,2 microns), comme le « compartiment de stockage » du statut organique des sols.

L'équilibre organique différent entre culture itinérante forestière et savanicole correspond bien au fonctionnement écologique radicalement différent de la forêt dense sèche et de la savane. En forêt, il y a très peu de strate herbacée donc peu de feu et de pâturage. En revanche, il existe une litière abondante avec faune et flore de recyclage. Les physionomies forestières des jachères longues apparaissent sur sols d'apports de bas-fonds ou sur sols anthropiques (anciens villages) généralement biochimiquement fertiles (abondance de P en particulier). La période d'humidité y est plus longue, favorisant la production primaire. L'ambiance humide favorise les processus microbiens et fauniques de conversion humique de la matière organique brute. C'est tout le contraire en savane, même lorsque les graminées pérennes ou des arbres la colonisent densément. Le niveau organique à l'équilibre, uniquement permis par l'apport racinaire, y est de l'ordre de la moitié de ce qu'il est en forêt. Mais une incertitude demeure : le faible statut organique des savanes peut être aggravé par l'importance des prélèvements de ressources carbonées (fourrage, bois, feux) dans des terroirs agricoles très peuplés, tandis que celles des forêts sont moins mises à contribution. Pour tester cette hypothèse, il faudra étudier des savanes mises en défens depuis longtemps.

La variation sensible après 5-10 ans de culture confirme la perte du stock organique et le bilan organique négatif des systèmes de culture. En sol limoneux, à 45% d'éléments fins, la baisse maximale de 40% (soit 10 t/C par ha) après 25 ans de culture par rapport à la référence "savane en culture itinérante" représente une perte annuelle maximale de 2% (500 à 300 kg C/ha). Ceci correspond au taux de perte basal (minéralisation moins apport racinaire des cultures) donné par Piéri (*op. cit.*). Mais il existe des régimes de restitution contrastés, de nombreuses parcelles des séries B et C parvenant à se maintenir proches du niveau de référence. Les jachères longues et le fumier apparaissent comme un moyen efficace mais non garanti d'atteindre ce but.

Les sols de piémont accumulent plus de matière organique que ceux des bas de pente. Ces sols sont ferrallitiques ou gravillonnaires. Certes les forêts claires qui les recouvraient ont été pour la plupart défrichées depuis peu, et de là vient peut-être ce trait distinctif. Les *duirés* de savane de la série A, qui ont donné la "droite des savanes" étaient soumis, ne l'oublions pas, à une culture itinérante, et leur équilibre organique était ainsi forcément plus faible que les forêts claires pseudo-climaciques de piémont. Mais ces sols ont aussi une charge en fer libre plus élevée, qui forme des composés stables avec la matière organique (humates ferriques, Boyer, *op. cit.*), d'où une meilleure conservation de la matière organique.

Il apparaît nécessaire de considérer plusieurs références fondamentales, la physionomie des jachères antérieures, la texture, et le type pédologique, pour juger de la baisse ou de l'amélioration de teneur en matière organique due à un système de culture. Même lorsqu'on parvient à prendre en compte toutes ces références, subsiste une variabilité importante dans les états laissés par un même type de système de culture, ne serait-ce qu'à cause des bilans organiques variables pendant les cultures et les jachères. On peut retenir de cette première étude que dans les conditions d'une savane cotonnière actuelle, un système à jachères ne représente pas une assurance de conserver de la matière organique dans les sols. De même qu'une culture permanente, peut conserver un niveau égal à la droite des savanes. Le mode de gestion des résidus, les restitutions, les modalités de travail du sol et de fertilisation, les successions, les usages des jachères jouent un rôle qu'il faut mieux comprendre. Aussi le risque de biais serait considérable si l'on se contentait de comparer quelques parcelles de chaque type d'usage du sol, dans des lieux différents, sur des sols différents.

Paramètres de la fertilité chimique

Il apparaît que le taux de M.O. conditionne fortement la valeur et l'évolution des paramètres de la fertilité chimique : N total, CEC, stabilité du pH, Phosphore, ce qui est largement admis (Piéri, *op. cit.*). Il y a un risque d'acidification lorsque la teneur relative en M.O. faiblit au delà de la "droite des savanes". Il va de soi que l'activité biologique elle-même sera sous la forte dépendance de ce taux. Seul le rapport C/N tend à augmenter légèrement aussi avec la teneur en MO, ce qui est légèrement défavorable à la minéralisation.

Le taux de M.O. critique varie avec la texture et semble très proche de la droite d'équilibre des savanes, puisque c'est elle qui sépare généralement les situations favorables et défavorables. Une bonne gestion de la teneur des sols en matière organique pourrait donc utiliser cette droite comme une référence.

Fertilité physique

On sait qu'aucun indice de stabilité n'est véritablement satisfaisant pour prévoir la sensibilité d'un sol à une désagrégation, battance ou autre, telle qu'elle s'exprimerait sur un suivi de terrain (Monnier & Boiffin, 1993). Mais on ne recherche ici qu'une hiérarchie sommaire, à des fins de diagnostic global. La mesure à l'eau est-elle suffisante pour établir cette hiérarchie ? Le test de Hénin prévoit un prétraitement des agrégats au benzène pour développer la sensibilité du test de la mouillabilité, qui commande le comportement d'agrégats secs soumis à une pluie. Il prévoit aussi un prétraitement à l'alcool pour développer la sensibilité de la mesure de la cohésion en humide, propriété qui règle le comportement d'agrégats saturés soumis à aspersion (Monnier & Boiffin, *op. cit.*). Le test sur agrégats secs discriminerait mal les situations de faible cohésion et aisément mouillables. De plus, la sélection des seuls agrégats de plus de 200 μ ne fera pas bien apparaître le rôle de la M.O. (Chotte, com. pers.) Ces réserves posées, le protocole choisi est donné comme adapté aux sols à kaolinite (Bloin *et al.*, *op. cit.*), et les résultats apparaissent très contrastés.

L'influence des argiles sur la stabilité de structure apparaît sensible à Bondoukui à partir d'une teneur de 15%. Kherabi & Monnier (1968), Dexter *et al.* (1984) ont montré que les colloïdes minéraux constituent un facteur déterminant dans la cohésion du sol à l'état humide. Le rôle stabilisant des argiles minéralogiques dépend de leur nature, c'est-à-dire de leur capacité à favoriser les liaisons « structurales » avec les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium. Les associations argile-fer constituent le plasma qui enrobe et cimente le squelette sableux de la taille des sables et limons fins (Bartoli *et al.*, 1988). La kaolinite prédominante ne favorise pas de telles liaisons, mais dans les sols de piémont, ferrallitiques ou gravillonnaires, le fer libre est abondant ; dans les sols ferrugineux, le fer est plus disjoint, mais il faut compter avec une présence probable d'argiles 2/1 lorsque la teneur en argile augmente, comme le suggère l'étude de la CEC.

L'évolution croissante de la stabilité structurale des sols sous jachères naturelles et décroissante dans les champs cultivés, indépendamment des variations de teneur en M.O. laissent présager que plutôt que la quantité de matière organique présente, c'est la nature de cette M.O., sa répartition dans le sol et les processus biologiques d'agrégation dans les sols sous jachère qui contrôlent ce paramètre physique, toutes choses étant égales par ailleurs. En effet, certains types de matières et processus biologiques, par leurs caractères hydrophobes et/ou structurants, constituent un frein au processus d'éclatement des agrégats du sol mis en contact avec l'eau et peuvent aussi renforcer la cohésion à l'état humide (Concaret, 1967 ; Godefroy & Jacquin, *op.cit.*; Bartoli *et al.*, *op. cit.*). L'action stabilisatrice de la structure du sol par la M.O. dépend aussi du degré de « maturité » de celle-ci et, plus précisément, de sa teneur en acides organiques et en polysaccharides, et des micro-organismes (Guckert, 1973 ; Feller, 1977 ; Bayer, *op.cit.*, Ouattara, *op. cit.*). Sédogo (*op.cit.*) a mis en évidence la baisse quasiment irréversible des teneurs en polysaccharides, malgré des apports massifs de fumier, dès que les sols étaient mis en culture.

Certains auteurs ont pourtant trouvé des niveaux critiques de matière organique au-delà desquels le sol ne pourrait conserver sa structure. Piéri (*op. cit.*) propose ainsi de prendre la teneur relative M.O./A+Lf comme indicateur d'état structural dans des sols sableux. Or la structure des sols sableux est peu développée, sauf justement dans les vieilles jachères (De Blic & Somé, 1997) dont le taux de M.O. n'est pas toujours supérieur à celui des champs. Les niveaux de référence donnés par Piéri (*op. cit.*) sont proches des droites d'équilibre organique de la forêt, de la savane et de la culture permanente à faible restitution. D'où, peut-être, une confusion entre teneur d'équilibre existant en culture itinérante et permanente et la notion de seuil critique. Hoefsloot *et al.* (1993) rapportent aussi qu'il faut atteindre le seuil de 0,7% en M.O. pour s'attendre à un effet stabilisant sur les sols ferrugineux tropicaux. On peut se demander si la relation argile/stabilité (positive à partir de 15% d'argile, équivalent à 0,7% de M.O.), n'a pas été ici confondue avec une relation M.O./stabilité, puisque argile et M.O. ne sont pas indépendantes.

En revanche, d'autres auteurs trouvent que la mise en culture dégrade la stabilité et que la mise en jachère la réhabilite, dans des proportions plus importantes que les variations de taux de matière organique qui les accompagnent (Combeau & Quantin, 1963 ; Valentin, 1989 ; Ouattara, *op. cit.*). Ce qui va bien dans le sens de nos résultats.

La porosité structurale ou macroporosité est la fraction de l'espace poral du sol qui est susceptible de modifications profondes (Stengel, *op.cit.*; Ouattara, *op.cit.*) sous l'action des pratiques d'usage des sols (tassements, désagrégation...). C'est d'elle dont dépend surtout la perméabilité du sol traduite ici par sa conductivité hydraulique à la saturation, c'est-à-dire la composante gravitaire de l'écoulement de l'eau dans le sol. Comme la stabilité sert de frein à cette dégradation de la porosité, la perméabilité baisse en même temps que baisse la stabilité de structure. Mais les tassements produits par des piétinements de bétail en période d'excès d'eau peuvent aussi se produire, même dans des conditions de bonne stabilité. La diminution de la perméabilité laisse ainsi présager un relèvement du seuil d'apparition des ruissellements et une diminution du seuil d'engorgement avec l'âge de parcelles. Les parcelles cultivées les plus âgées seront les plus susceptibles à l'érosion et aux contraintes issues de la désagrégation structurale (problèmes de levée, d'enracinement, d'asphyxie, etc.).

Conclusion

L'état organique des sols résultant du bilan antérieur stockage/pertes est généralement donné comme la pierre angulaire de la fertilité des sols pour des systèmes de culture moyennement intensifs. Cette enquête le confirme, mais donne à la teneur en M.O. un rôle plus important en matière de fertilité chimique (accroissement de la CEC, teneur en N, conservation du pH neutre), qu'en matière de "fertilité physique" (absence d'effet perceptible en matière de stabilisation de la structure), dans les sols et situations considérées.

Au sein des sols ferrugineux de savane, bien que statistiquement les systèmes cycliques conservent de meilleurs teneurs que les systèmes permanents, la jachère n'apparaît pas toujours apte à relever ce taux de M.O. après une période culturale, et les systèmes permanents peuvent eux-mêmes conserver des teneurs proches de l'équilibre obtenu en culture itinérante. Il en découle que les modes de gestion des systèmes de culture (bilans organiques culturaux, états laissés par la phase culture) et des jachères éventuelles (régimes de feux et de pâturage, durées, semis particuliers dans les jachères, etc.) semblent plus importants à prendre en compte que la série agro-écologique elle-même. Une analyse plus fine des bilans des systèmes de culture et des usages des jachères est donc nécessaire.

Par contre nous observons ici le rôle de ces jachères sur la stabilisation des agrégats, indépendamment d'une teneur globale en matière organique. Les effets cumulatifs des jachères sur l'agrégation sont connus, en particulier les processus biologiques dans l'environnement racinaire des *Andropogonées* pérennes. Ils sont liés à des processus complexes de stabilisation, où interviennent des processus organiques plus qualitatifs que quantitatifs (micro-faune, méso-faune; myceliums, racelles, exsudations, différents substrats organiques transitoires et produits de l'humification, polysaccharides, humates ferriques etc.).

Un tel diagnostic, bien qu'encore partiel, permet de prendre conscience de la variabilité des situations existant dans une région cotonnière actuelle, du rôle déterminant des éléments fins et de la physionomie des jachères antérieures, et donc de la faible pertinence d'études synchroniques qui ne s'appuieraient que sur un échantillon de sites-tests trop restreint et au passé insuffisamment connu.

Références bibliographiques

- Bartoli, F. ; Philippy, R. & Burtin ; F. X. ; 1988. Aggregation in soils with small amounts of swelleing clays. I. Aggregate stability. *Jal of Soil.Science*, 39, : 593-616
- Baver, L..D., 1984. The effect of organic matter on soil structure, *Organic Matter and Soil Fertility. Pontifica Academia Scientiarum Scripta, april, 22-27, : 383-408.*
- Bloin, M. ; Philippy, R. ; & Bartoli, F. 1990. Dossier de valorisation d'un prototype de désagrégation des sols. Prog. Sol Eau. Doc. CIRAD.
- Boyer, J. 1982. *Les sols ferrallitiques, t. X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols.* Orstom. Init. et Doc. tech. n°52.
- Combeau, A. ; Quantin, P. 1963. Observations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cah. Orstom Pédol.*, 3, 17-32
- Concaret, J. 1967. Etude des mécanismes de destruction des agrégats de terre au contact de solutions aqueuses. *Ann. Agron.* 18 (1) : 65-90
- De Blic, Ph. ; Somé , N. A.. 1997. Etat structural d'horizons superficiels sableux sous culture ou jachère herbacée en Afrique de l'Ouest. *in Etude et gestion des sols*, 4, 1, 1997, 17-24.
- Devineau (J.L.) & Fournier (A.), 1997. Synthèse provisoire des résultats acquis par l'équipe d'écologie de Bobo-Dioulasso dans le cadre du programme Jachères. Doc. Orstom Bobo-Dioulasso.
- Dexter , A. R. ; Kroesbergen, B. & Kuipers, C. 1984. Some mechanical properties of agregates of tropical soils from the Ijsselmeer polders. I. Undisturbed soil aggregates. *Netherlands Journal of Agric. Science*, 32 : 205-214.
- Feller, C. 1977. Evolution des sols de défriche récente dans la région des terres neuves (Sénégal oriental) II. Aspects bibliographiques et caractéristiques de la matière organique. *Cah. Orstom Sér. Pédol.*, 15 (3) : 292-302.
- Feller, C. ; Lavelle, P. ; Albrecht, A. & Nicolardot, B. 1993. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux: rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. *In : FLORET (C.) & SERPANTIE (G.), La jachère en Afrique de l'Ouest, 15-32. Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.*
- Floret, C. ; Pontanier, R. & Serpantié, G.1993. La jachère en Afrique intertropicale *Dossier MAB 16. UNESCO, Paris*, 86 p.
- Godefroy, J. & Jacquin, F. 1975. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en condition tropicale; comparaison avec les sols forestiers. *Fruits*, 30 (10) : 595-613.
- Guckert, A.. 1973. Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et leur rôle dans les mécanismes d'agrégation des sols. Thèse de Doct. ès Sci. Natur., Univ. de Nancy I, 124p.
- Guinko, S. 1984. Végétation de la Haute-Volta. tomes 1 et 2. Thèse de doct. ès Sc. Nat., U.Bordeaux III, 394 p.
- Hoeffloot, H. ; Van der Pol, F. & Roeleveld, L. 1993. Jachères améliorées. Option pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest. Bull. 33, KIT, 1993, 86p.
- Kheyrahi, D. & Monnier, G. 1968. Etude expérimentale de la composition granulométrique des terres sur la stabilité structurale, *Ann. Agron*, 19 (2),129 - 152.
- Kissou (1994). Les contraintes et potentialités des sols vis-à-vis des systèmes de culture paysans dans l'Ouest Burkinabe. (Cas du Plateau de Bondoukui). Mém. IDR/ORSTOM
- Lompo, T. 1997. Diagnostic des états structuraux des sols en fonction des systèmes de culture en zone cotonnière ouest du Burkina. Mémoire de fin d'étude IDR/INERA/ORSTOM, pp 74.
- Monnier, G. & Boiffin, J. 1993. La stabilité de la structure du sol. Originalité et actualité de l'approche de S. Hénin. *in Mélanges S.Hénin : Sols, agronomie, environnement.* Ed. Orstom. 61-73
- Morel, R. & Quantin, P. 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *Agron. Trop.* 19 (2) : 105-133.
- Nye, P. H. & Greenland, D. J. 1964. Changes of the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil* : 101-113.
- Ouattara, B. 1994. Contribution à l'étude de l'évolution des propriétés physiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture: pratiques culturales et états structuraux du sol. *Thèse Docteur-Ingénieur., FAST/Univ d'Abidjan*, 144p.
- Piéri, C. 1989. Fertilité des terres de Savane: Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ed Min.COOP.Devt/CIRAD, 444p.
- Ruthenberg, H. 1980. Farming systems in the tropics. Ed Oxford Science Publications, 424 p (3ème Ed.), Oxford.
- Sébillotte, M. 1993. L'agronome face à la notion de fertilité. *in Natures-Sciences-Sociétés*, 1993,1(2). 128-142.
- Sédogo, M. P. 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. *Thèse Doct. ès- Science (Science du Sol) Univ. Nationale de Côte- d'Ivoire*, 332p.

- Serpantié, G. & Kissou, R. 1995. Adaptation des travaux de caractérisation des sols en vue d'améliorer les systèmes de culture paysans et la gestion des ressources. Un indicateur intéressant pour les sols cultivés soudaniens. la capacité d'échange cationique. in *AB-DLO Thema's 2*, Wageningen, 85: 100
- Serpantié, G. & Douanio, M. (En préparation.). Les systèmes de culture de la région de Bondoukuy: diversité, liens avec l'environnement et les stratégies sociales, productivité et durabilité. Rapport ORSTOM
- Stengel, P. 1979. Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol. in situ. in *Ann. Agron.*, 30 (1) : 27-51.
- Taonda, J. B. ; Bertrand, R. ; Dickey, J. ; Morel, J. L. ; Sanon, K. 1995. Dégradation des sols et agriculture minière au Burkina Faso. *Cah. Agric.* 4: 363-369.
- Valentin, C. 1989. Les états de surface des savanes de l'Ouest africain : relations avec les sols et incidences sur l'économie de l'eau. Dans *Soltrop 89*, 243-252, Orstom Paris.
- Van der Pol, F. 1991. L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans du Mali-Sud. in *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* Coll. Focal Coop. Ed. Min. Coop. pp 403-418.

Amélioration et gestion de
la jachère en Afrique de l'Ouest
Projet 7 ACP RPR 269

Jachère et maintien de la fertilité

Organisateurs
IER (Mali)
ORSTOM



Amélioration et gestion de
la jachère en Afrique de l'Ouest
Projet 7 ACP RPR 269

Actes de l'Atelier

Jachère et maintien de la fertilité

Bamako, 2-4 octobre 1997

Organisateurs :
IER (Mali)
ORSTOM

Editeurs : Christian Floret et Roger Pontanier
Coordination Régionale du Projet Jachère
BP 1386 Dakar Sénégal