

Le semis direct comme pratique de conservation des sols des cerrados du Brésil central

Philippe BLANCANEUX (1), Pedro Luiz DE FREITAS (2), Renato Fernando AMABILE (2) et Arminda DE CARVALHO (2)

(1) Orstom/Embrapa, SNLCS-CRCCO, Goiânia, Brésil.

(2) Embrapa, SNLCS-CRCCO, Goiânia, Brésil.

RÉSUMÉ

Près de 23 % du territoire brésilien est occupé par l'écosystème du « cerrado », dont au moins 50 millions d'hectares sont potentiellement utilisables pour une agriculture mécanisée intensive.

Caractérisé par son climat (précipitations moyennes annuelles de 1 500 mm avec jusqu'à 180 jours de sécheresse continue), l'écosystème présente une grande variété de végétation et de sols, où prédominent les « latossolos » (45 % de la superficie), dans leur majorité argileux à très argileux, profonds, avec une forte capacité d'infiltration, une moyenne susceptibilité à l'érosion, une faible fertilité naturelle. Toutefois, après quelques années de culture, on constate une baisse de la productivité, spécialement lorsque ces sols sont travaillés de façon inappropriée.

La raison principale de cette chute de productivité consiste en une diminution des teneurs en matière organique et une dégradation des propriétés physiques des sols, principalement de leur état structural, qui provoque leur compactage. Ces phénomènes affectent la dynamique de l'eau et des nutriments, ainsi que le développement du système racinaire, ce qui se traduit par l'accélération des processus érosifs de ces sols.

Les programmes de recherche entrepris en coopération entre l'Orstom et l'Embrapa/SNLCS-CRCCO dans les cerrados du Brésil central sont étroitement liés aux systèmes culturels actuels et sont orientés vers une meilleure caractérisation des propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols. L'objectif est de proposer des pratiques culturelles alternatives comme solutions de conservation, visant au maintien ou à l'augmentation de la productivité des cultures, tout en réduisant au minimum les opérations de préparation du sol, de façon à éviter la pulvérisation excessive des couches superficielles.

Le semis direct sur le chaume, sans préparation du sol, qui appartient aux systèmes agroécologiques intégrés, apparaît comme un excellent moyen de contrôle de l'érosion et de conservation des sols dans les conditions climatiques adverses des cerrados.

La viabilisation de cette technique, qui dépend de l'adoption de technologies alternatives associées, telles la rotation des cultures et l'introduction d'engrais verts, fait actuellement l'objet de recherches.

Une fois corrigées les déficiences chimiques et physiques des sols, le semis direct présente de nombreux avantages par rapport aux autres systèmes culturels : il maintient relativement bien l'état structural du sol et contrôle l'érosion ; il offre une forte porosité, une bonne distribution de la taille des pores et un bon drainage interne ; malgré une tendance au compactage, il favorise une forte activité biologique, une grande variété de la faune du sol qui incorpore en profondeur des matières organiques et permet une bonne pénétration racinaire ; il minimise l'utilisation d'agro-toxiques, de combustibles et de fertilisants ; il montre enfin que des rendements élevés peuvent être obtenus pour différentes cultures économiques comme le soja, le maïs, le haricot ou le riz dans les cerrados du Brésil central.

Ces résultats sont obtenus par la méthodologie d'analyse morphostructurale du sol (profil cultural) et par comparaison de différents systèmes de préparation du sol. Les déterminations physico-chimiques effectuées en relation avec les caractéristiques morphostructurales des sols considèrent, entre autres, la structure, la matière organique, l'activité biologique, le développement et l'orientation du système racinaire, la porosité. Elles sont réalisées grâce à différentes

techniques (micromorphologie, porosimétrie au mercure, etc.). Les résultats sont évalués en relation avec la productivité des cultures sous différents systèmes culturaux.

MOTS CLÉS : Cerrado — Latossolos — Compactage — État structural — Matière organique — Systèmes culturaux — Profil cultural — Semis direct — Érosion — Conservation.

ABSTRACT

THE "NO TILLAGE" SYSTEM AS CONSERVACIONIST PRACTICE IN SOIL OF CERRADOS OF CENTER-WESTERN REGION OF BRAZIL

Around 23 % of the Brazilian Territory is occupied by the ecosystem of "cerrados" (acid savannas). At least five millions hectares have potential for intensive mechanized agriculture, once overcome their physical and chemical limitations. Characterized by the climate (average annual precipitation of 1 500 mm with up to 180 days of continuous drought), the ecosystem presents a large diversity of vegetation and soils, predominating the "Latosols" (oxisols) in 45 % of its area, mainly clay and very clay, deep, with high infiltration capacity, moderate susceptibility to erosion and low natural fertility. However, after a few years of continuous cropping, these soils quickly lose their productive capacity, especially when inadequately managed.

The main reason for this reduction in productivity consists in the decrease of organic matter content and in the degradation of soil physical properties, mainly the structural condition, which results in compaction. These phenomena affect water and nutrient dynamics in the soil, as well as the development of root system, represented by the acceleration of erosive processes in these soils.

The research programs conducted in cooperation between Orstom and Embrapa/SNLCS-CRGO in cerrados of Center-Western region of Brazil are related with cultural systems and oriented for a better characterization of physical, chemical and biological properties of these soils. The objective is the recommendation of alternative practices as conservacionist solutions for maintaining and increasing crop yields, reducing tillage operations in order to avoid the excessive superficial pulverization of soils.

No tillage system (direct seeding on the mulch or crop residues, without soil mobilization), as a part of integrated agroecological systems, appears as an excellent way of controlling erosion and conserving soil under the unfavorable conditions of cerrados.

The viabilization of this new system depends on the adoption of associated alternative technologies, such as crop rotation and green manure management and is the subject of research works here divulged.

Once amended the chemical and physical deficiencies of the soils, the utilization of no tillage system presents many advantages in relation to other cultural systems, under the conditions present on cerrados area, such as: maintains the relative soil structural condition and controls erosion; shows high porosity, good pore size distribution and good internal drainage; gives a high biological activity and variety of soil fauna, which favors the deep incorporation of organic matter and root penetration, besides a tendency to compaction; minimizes the utilization of pesticides, fuel and fertilizers; and, shows that high income may be obtained for different cash crops as soybeans, corn, beans or rice, in the cerrados area.

These conclusions are obtained by the morpho-structural analyses of the soil (cultural profile) and comparisons between different tillage systems. The physical and chemical determinations done in relation to the morpho-structural characteristics of the soils enclose among others, structure, organic matter, biological activity, root system development and orientation, and porosity. They utilize different techniques, as micromorphology, Hg porosimetry, etc. All results are evaluated in relation to crop yields and profit under different cultural systems.

KEYWORDS : Cerrados — Latosols — Compaction — Structural condition — Organic matter — Cultural systems — Cultural profile — No tillage system — Erosion — Conservation.

RESUMO

O PLANTIO DIRETO COMO PRÁTICA DE CONSERVAÇÃO DOS SOLOS DOS CERRADOS DO BRASIL CENTRAL

Aproximadamente 23 % do território brasileiro é ocupado pelo ecossistema do Cerrado do qual pelo menos 50 x 10⁶ ha possuem potencialidade para agricultura mecanizada intensiva, desde que as limitações físicas e químicas sejam superadas.

Caracterizado pelo clima (precipitação anual média de 1 500 mm, com até 180 dias de seca contínua), o ecossistema apresenta grande diversidade de vegetação e de solos, predominando os Latossolos (45 % da área), em sua maioria argilosos e muito argilosos, profundos, com alta capacidade de infiltração, média susceptibilidade a erosão e baixa fertilidade natural. No entanto, após alguns anos de cultivo estes solos perdem rapidamente sua capacidade produtiva, especialmente quando manejados inadequadamente.

A razão principal da queda de produtividade consiste na diminuição do teor de matéria orgânica e uma degradação das propriedades físicas dos solos, principalmente da condição estrutural, o que provoca a compactação. Esses fenômenos afetam a dinâmica da água e dos nutrientes no solo, assim como o desenvolvimento do sistema radicular, que se traduzem pela aceleração dos processos erosivos destes solos.

Os programas de pesquisas iniciados em cooperação entre Orstom e Embrapa/SNLCS-CRCCO nos Cerrados do Brasil central, são estreitamente relacionados com os sistemas culturais atuais e são orientados para uma melhor caracterização das propriedades físicas, químicas e biológicas desses solos. O objetivo é propor práticas alternativas como soluções conservacionistas visando manter ou incrementar a produtividade das culturas, reduzindo ao mínimo as operações de preparo de modo a evitar a excessiva pulverização superficial do solo.

O plantio direto (plantio na palha ou resteva, sem mobilização do solo), como parte integrante de sistemas agroecológicos integrados, aparece como um excelente meio de controle da erosão e de conservação do solo sob as condições adversas do Cerrado.

A viabilização dessa nova técnica, que depende da adoção de tecnologias alternativas associadas, tais como a rotação de culturas e o manejo de adubos verdes, constitui atualmente objeto de pesquisas.

Uma vez corrigidas as deficiências químicas e físicas dos solos, o uso do plantio direto apresenta várias vantagens em relação aos outros sistemas culturais, sob condição do Cerrado : mantém relativamente a condição estrutural do solo e controla a erosão ; mostra alta porosidade e uma boa distribuição de tamanho de poros ; uma boa drenagem interna ; apesar de uma tendência à compactação, proporciona uma alta atividade biológica e variedade da fauna do solo que favorecem uma profunda incorporação da matéria orgânica e penetração das raízes ; minimiza o uso de agrotóxicos, combustível e adubos ; e, mostra que os rendimentos elevados podem ser obtidos para diferentes cultivos econômicos como soja, milho, feijão ou arroz, nos Cerrados do Brasil central.

Esses resultados são obtidos através da metodologia da análise morfo-estrutural do solo (perfil cultural) e por comparações entre diferentes sistemas de preparo. As determinações físico-químicas feitas em relação às características morfo-estruturais dos solos abrangem, entre outras, a estrutura, a matéria orgânica, a atividade biológica, o desenvolvimento e a orientação do sistema radicular e a porosidade. Elas são realizadas com diferentes técnicas (micromorfologia, porosimetria de mercúrio etc.). Os resultados são avaliados em relação à produtividade das culturas sob diferentes sistemas culturais.

PALABRAS CHAVES : Cerrado — Latossolos — Compactação — Condição estrutural — Matéria orgânica — Sistemas culturais — Perfil cultural — Plantio direto — Erosão — Conservação.

INTRODUCTION

La demande croissante en aliments et en matières premières d'origine agro-sylvopastorale, tant interne qu'externe, a conduit le Brésil à accélérer le développement de ce secteur, non seulement par l'augmentation de la productivité, mais fondamentalement par l'expansion de sa surface agricole.

L'orientation de cette expansion vers les « cerrados » est favorisée par la conjoncture socio-économique et politique. Le développement économique du pays, allié à la croissance démographique, principalement des régions sud et sud-est, exige l'ouverture de zones de développement relativement proches des grands centres de consommation. La nécessité d'augmenter la participation des exportations pour compenser les coûts du développement industriel et

urbain contribue également à l'incorporation des cerrados à la production agropastorale. Le déplacement de la capitale fédérale et la création de Brasilia sur le plateau central ont été des facteurs significatifs dans la promotion et la consolidation du développement régional en question.

Les sols sous végétation de cerrados sont occupés approximativement par 39 % de pâturages naturels, 15 % de pâturages plantés, 8 % de cultures annuelles et pérennes et 38 % de végétation naturelle. L'occupation pleine, intensive et rationnelle de la région des cerrados peut fournir annuellement près de 150 millions de tonnes de grain, 9 millions de tonnes de viande et 300 millions de mètres cubes de bois, tout en maintenant 20 % de la surface pour la préservation de l'environnement et l'occupation par la population. En considérant la possibilité d'utiliser l'irrigation sur 10 millions d'hectares, le total produit pourrait

atteindre 190 millions de tonnes de grain (GOEDERT *et al.*, 1980 ; GOEDERT, 1989).

Afin que cette prévision devienne une réalité, il est nécessaire de créer, d'adapter et de valider des technologies qui garantissent des gains représentatifs d'efficacité des systèmes de production, principalement ceux qui sont liés à la gestion des sols et des eaux. Pour cela, on doit gérer l'application de techniques visant principalement à l'exploitation soutenue des ressources disponibles des cerrados. Le semis direct représente, pour ce biotope, une

alternative technique prometteuse pour le développement de systèmes agroécologiques intégrés.

CARACTÉRISATION DE LA RÉGION

La région des cerrados, avec 200 millions d'hectares, représente près de 23 % de la superficie du territoire national. Cette surface, distribuée de façon hétérogène et discontinue, s'étend principalement sur les régions centre-ouest, sud-est et nord-est du Brésil (fig. 1).

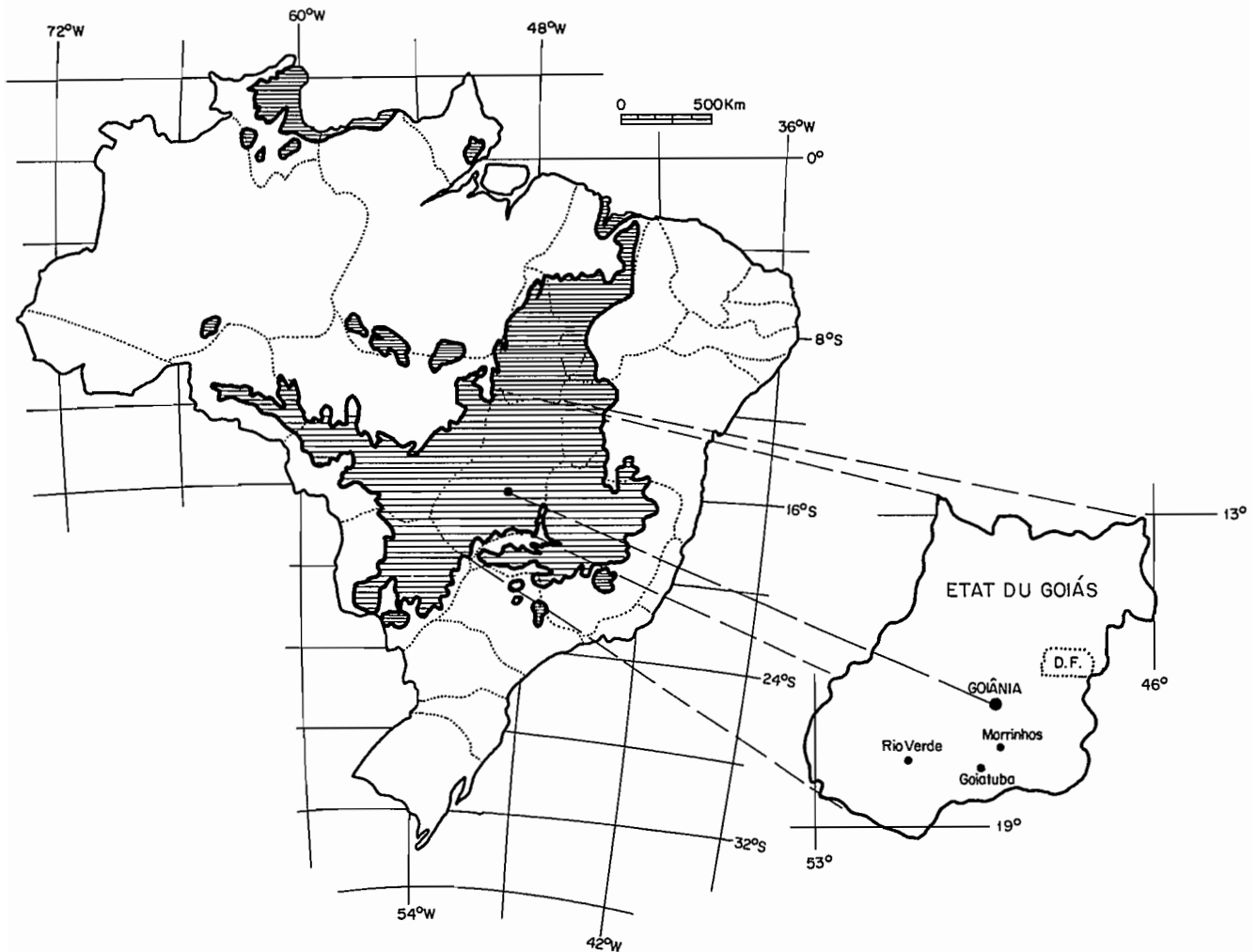


FIG. 1. — Localisation des cerrados au Brésil.
Localization of cerrados (acid savannas) areas in Brazil.

Des sept domaines morphoclimatiques et phytogéographiques brésiliens, les cerrados constituent, par leur position géographique, leur caractère floristique, celui de la faune et de leur géomorphologie, le point d'équilibre de domaines variés, puisqu'ils se connectent au travers de couloirs hydrographiques à ces derniers. Écologiquement,

ils sont rapportés aux savanes, constituant des configurations régionales de celles-ci (BIOMA CERRADO, 1991).

Malgré l'intense croissance, vérifiée dans la dernière décennie, liée au déplacement des populations vers l'intérieur du pays, la région présente encore une faible densité de population. L'industrialisation en est à ses balbutiements, mais son potentiel d'expansion est grand.

La pression anthropique tend à s'accroître grâce aux potentialités des cerrados, spécialement dans le Goiás. Cet État continue à recevoir un fort contingent de producteurs agricoles des régions sud et sud-est, à la recherche d'espaces plus grands, de terres moins chères et non dégradées, pour développer leurs activités agropastorales.

Climat

La majeure partie de la région possède un climat de type Aw de la classification de Köppen, bien que soient représentés, dans les zones plus élevées, les types climatiques Cwa et Cwb. La température moyenne annuelle varie de 26 °C à l'extrême nord à moins de 20 °C dans les « chapadas » du centre-sud. D'après ADAMOLI *et al.* (1986), près de 65 % de la surface des cerrados reçoit entre 1 200 et 1 800 mm de pluie et pour 80 % les précipitations sont comprises entre 1 000 et 2 000 mm annuels. Toutefois, cette distribution est concentrée durant les mois d'octobre à avril, caractérisant deux saisons bien définies, l'une sèche, l'autre pluvieuse (fig. 2). La période sèche peut durer quatre à sept mois sur environ 88 % de la surface, entraînant de sérieuses limitations pour l'agriculture, qui est réduite à la saison pluvieuse.

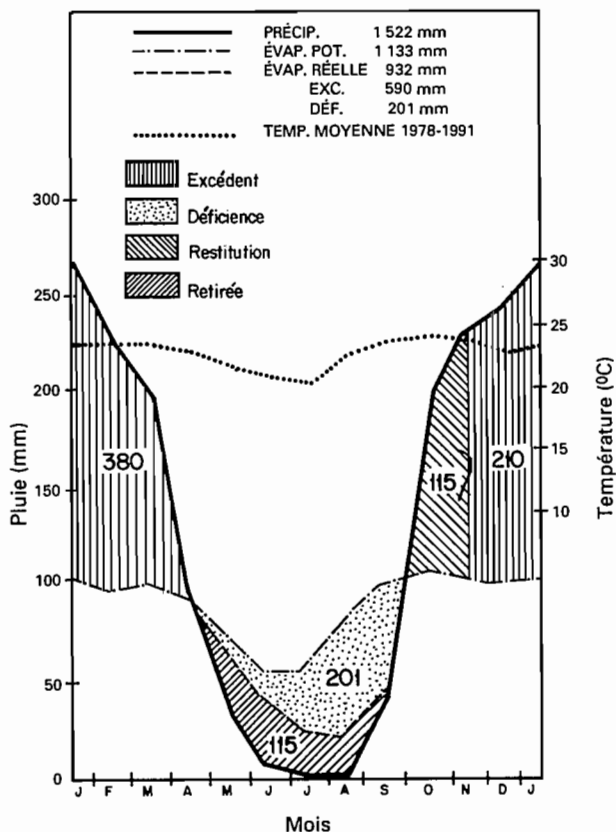


FIG. 2. — Bilan hydrique. Goiânia, période 1961-1971 (d'après THORNWAITE et MATHER, 1955).
Water balance for Goiânia, Brazil.

Une autre caractéristique marquante est l'existence de périodes à déficit pluviométrique, durant la saison pluvieuse, connues dans la région sous le nom de « verânicos ». En fonction de leur intensité et de leur durée, du stade de développement de la culture et de l'espèce cultivée, ce déficit peut causer de sévères réductions de productivité. D'après COCHRANE *et al.* (1988), plus de 60 % de la surface des cerrados est affectée par les verânicos dont la période de plus grande probabilité d'apparition va de fin décembre à la première décennie de février, lorsque les cultures sont déjà installées, l'interruption continue des pluies pouvant aller jusqu'à vingt jours.

Un autre facteur à considérer est l'intensité des pluies ; les précipitations peuvent dépasser 100 mm en 24 heures, contribuant dans la majorité des cas à un grand effet érosif.

Végétation

Les variations édaphiques et climatiques résultant de l'ample surface de distribution des cerrados déterminent une grande diversité dans la végétation de ce biotope. Du point de vue de la physiologie, les cerrados constituent une savane plus ou moins dense, avec une couverture herbacée continue, une strate discontinue d'éléments arborés et arbustifs aux troncs et aux branches tordus, avec des écorces épaisses, sombres, et, chez de nombreuses espèces, de grandes feuilles scoriacées (KER *et al.*, 1992 ; BRANDAO, 1991 ; CRUZ *et al.*, 1979).

Les sols acides, de faible fertilité, et le climat saisonnier sont les facteurs déterminants de l'existence des divers écosystèmes des cerrados. Un exemple pourrait être la présence des savanes broussailleuses (*campos sujos*) sur les sols les plus pauvres, et de forêts arborées (*cerradões*) dans les zones plus fertiles (KER *et al.*, 1992 ; ADAMOLI *et al.*, 1986).

Géomorphologie et géologie

La région centre-ouest du Brésil est caractérisée par une grande diversité de formes géomorphologiques dérivant de l'hétérogénéité des matériaux et de l'intensité des facteurs morphoclimatiques qui y ont joué. Le processus d'évolution du paysage a donné lieu à un modelé constitué de diverses surfaces d'érosion distribuées en niveaux altimétriques distincts, qui correspondent à des grands compartiments ou unités géomorphologiques (BRASIL et ALVARENGA, 1989).

Les sous-unités « Plateau rabaisé de Goiânia » et « Plateau septentrional du bassin du Paraná », appartenant respectivement au « Plateau central goiânais » et aux « Plateaux et Chapadões (formes tabulaires) du bassin sédimentaire du Paraná », décrites par BRASIL (1983), sont celles qui concentrent la plus grande part de la production agricole des cerrados du Goiás.

Le « Plateau rabaisé de Goiânia », avec des altitudes variant de 650 à 850 m, présente des formes de dissection

tabulaires où le relief varie de doucement à fortement ondulé. Géologiquement, il est constitué par des couvertures détrito-latéritiques pléistocéniques, reposant sur des micaschistes et quartzites du groupe « Araxá », du précambrien.

Le « Plateau septentrional du bassin du Paraná », qui englobe des formes géomorphologiques assez diverses avec prédominance des formes tabulaires, comprend deux compartiments distincts : le premier, plus élevé (600 à 1 000 m), dont la lithologie se réfère à des couvertures détrito-latéritiques pleistocéniques, constituées par des sédiments non consolidés sablo-argileux et argileux ; le second, abaissé (350 à 650 m), dont la lithologie est constituée par une succession d'épanchements majoritairement basiques (basaltes toléitiques), souvent associés à des arénites, appartenant à la formation « Serra Geral », et au groupe « São Bento » du jurassique/crétacé.

Sols

Les sols ferrallitiques (oxisols ou *latossolos*) sont les sols les plus fréquents et les plus utilisés dans la région des cerrados, couvrant près de 46 % de la superficie totale et occupant les plateaux tabulaires et les zones de topographie plus ou moins ondulée (EMBRAPA/SNLCS, 1981).

Tout au long de leur processus de formation, ces sols ont connu une intense lixiviation des bases et de la silice, et donc une concentration en minéraux argileux du type 1 : 1, principalement en kaolinite et en oxydes de fer et d'aluminium. Ce sont des sols très altérés, avec une CEC faible, une acidité élevée, une forte capacité de fixation du phosphore, et en conséquence une faible fertilité naturelle (KER *et al.*, 1992 ; ADAMOLI *et al.*, 1986 ; MALAVOLTA et KLIEMANN, 1985).

Dans les zones non exploitées, ces sols ferrallitiques offrent des caractéristiques physiques favorables telles que la profondeur, la friabilité, la porosité élevée, une bonne aération et un bon drainage (LUCHIARI Jr *et al.*, 1986). Ces facteurs physiques, associés au relief plat ou doucement ondulé de la région, confèrent à ces sols une potentialité élevée pour une agriculture mécanisée intensive, une fois corrigées leurs déficiences chimiques. Toutefois, dès leur incorporation au processus productif apparaissent des modifications qui peuvent provoquer de sérieux problèmes de dégradation, lesquels s'accroissent avec une utilisation inadéquate, entraînant le compactage, une faible infiltration de l'eau, une densité élevée, et l'érosion de ces sols.

La caractérisation structurale et analytique de la couverture pédologique développée sur les sédiments tertiaires ou quaternaires du Brésil central (couverture détrito-latéritique), sous végétation de cerrado, a permis de distinguer deux grands domaines d'altération et de pédogenèse (BLANCANEUX *et al.*, 1991) : un domaine ferrallitique fortement altéré et riche en kaolinite (milieu ouvert et bien drainé) et un domaine ferrugineux et hydromorphe,

relativement confiné. Le domaine ferrallitique couvre la plus grande partie des versants et le sommet des collines, tandis que le domaine ferrugineux et hydromorphe occupe le tiers inférieur des versants, les bas de pente et les axes de drainage. Ces domaines sont constitués par un certain nombre de *systèmes pédologiques* qui présentent une distribution horizontale sur les versants. Les systèmes pédologiques les plus fréquemment associés et utilisés pour l'agriculture dans les paysages des cerrados du Brésil central sont caractérisés par les séquences sols ferrallitiques rouge sombre et rouge jaunâtre. L'étude des interactions entre le sol et les autres composantes du milieu physique met en évidence l'influence déterminante de la lithologie et de la topographie sur le développement vertical et latéral de ces systèmes pédologiques, et montre l'étroite relation qui existe entre la profondeur du sol et les variations de couleur et de minéralogie.

Le semis direct, analysé dans cette étude, pour les cultures développées sur les sols ferrallitiques rouges vise au maintien des bonnes caractéristiques physiques ainsi qu'à l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques altérées par une utilisation inadéquate de ces sols.

LE SEMIS DIRECT

Les systèmes agricoles conventionnels utilisés dans les cerrados compromettent la productivité des cultures installées dans cette région (GOEDERT et LOBATO, 1986). Cette réduction de capacité productive, causée principalement par l'emploi intensif et continu du même outil ou d'outils agricoles impropres pour les opérations de préparation du sol, est le résultat d'une diminution de la teneur en matière organique et de la dégradation des propriétés physico-hydrauliques des sols. La pulvérisation excessive des horizons superficiels et le tassement subsuperficiel, avec la réduction de la porosité totale et particulièrement de la macroporosité, la diminution de la capacité d'infiltration affectent la dynamique de l'eau et des nutriments, accélérant les processus érosifs de ces sols (HARROLD, 1984 ; VIEIRA et MUZILLI, 1984 ; VIEIRA, 1985 ; CENTURION et DEMATÉ, 1992). DEDECEK *et al.* (1986) considèrent que la mauvaise préparation du sol, avec une utilisation répétée des pulvérisateurs lourds, constitue un sérieux facteur d'aggravation de l'érosion hydrique dans la région, provoquant des pertes de sol de 29,4 t/ha/an sous culture de maïs, 8,1 t/ha/an avec le soja et de 7,1 t/ha/an sous culture de riz dans un sol ferrallitique rouge de 2 % de pente. Ces mêmes auteurs observent une réduction de 90 % des pertes en terre sur un sol ferrallitique rouge sous couverture végétale, par rapport au même sol découvert, et une réduction de 33 % en relation avec le système conventionnel. Nos résultats (tabl. I) concernant les pertes en sol et l'écoulement superficiel sur le sol ferrallitique de Goiânia, avec

3% de pente, après deux années de mesures, montrent l'importance de la couverture végétale pour le contrôle de l'érosion hydrique, et confirment les résultats de DEDECEK *et al.* (1986).

TABLEAU I
Perte en sol et écoulement superficiel.
Sol ferrallitique rouge, argileux, fortement désaturé en B,
Goiânia. Période : décembre 1988 à mai 1990
Soil loss and runoff in a Red Clayey Oxisols of Goiânia, Brazil.
Period : December 1988 to May 1990

Traitement	Perte en sol (t/ha/an)	Écoulement superficiel (%)
Sol nu avec préparation conventionnelle*	56,0	28,9
Sol nu avec préparation par pulvérisateurs	50,3	32,4
Pâturage avec préparation conventionnelle	0,07	2,9
Soja avec préparation conventionnelle	3,5	11,7
Soja avec préparation par pulvérisateurs	3,9	10,9
Maïs avec préparation conventionnelle	1,4	8,4
Maïs avec préparation par pulvérisateurs	2,2	8,4

* Préparation conventionnelle : un traitement par charrue à disques et deux pulvérisations de nivellement.

Source : Embrapa/SNLCS-CRGO, Goiânia (résultats non publiés).

La capacité d'infiltration est également affectée par le système de préparation du sol (REZENDE *et al.*, 1992 ; SILVA *et al.*, 1991). STONER *et al.* (1991) ont vérifié une réduction très forte de la vitesse d'infiltration dans un sol ferrallitique rouge jaunâtre très argileux, laquelle après quatorze années de culture avec utilisation de pulvérisateurs passe de 44 mm/h sous végétation de cerrados à 6,3 mm/h. Le même sol, après six années de préparation avec des charrues à disques, montre une infiltration de 15 mm/h. La perméabilité et la porosité totale diminuent également à mesure que l'on recourt aux labours et aux pulvérisations. L'augmentation de la densité du sol est fonction du type de préparation ; elle est toujours plus forte dans les systèmes avec pulvérisation.

STONER *et al.* (1991) montrent l'augmentation de la résistance mécanique à la pénétration dans un sol ferrallitique rouge jaunâtre sous végétation de cerrados en comparant le même sol sous végétation naturelle et après quatorze années d'utilisation de pulvérisateurs à disques lourds (fig. 3).

Le manque de rentabilité économique des systèmes conventionnels, en plus de la dégradation des ressources na-

tuelles et de ses effets, a conduit à la recherche de techniques alternatives (SORRENSON et MONTOYA, 1989).

SÉGUY (1987) et SÉGUY *et al.* (1984), évaluant agronomiquement et techniquement les effets de plusieurs types de préparation d'un sol sous cerrado, concluent que le labour en sol humide, après trituration et préincorporation des résidus cultureux, est l'opération la plus efficace, en termes d'amélioration de la fertilité et de la conservation de l'eau.

Parmi les systèmes alternatifs, le semis direct sur les résidus de la culture antérieure est présenté comme une option pour la gestion des sols des cerrados. Associé à d'autres pratiques agroécologiques, comme l'introduction d'engrais verts, la rotation et la succession des cultures et le contrôle des parasites et des maladies, le semis direct deviendrait viable par le perfectionnement des technologies de fertilisation, chaulage et contrôle des mauvaises herbes, des variétés, ainsi que des systèmes de plantation et de couverture du sol (FREITAS et BLANCANEUX, 1991).

Dans plusieurs essais réalisés, le semis direct se présente comme une *technique de conservation efficace* pour réduire les pertes en sol dans la mesure où les résidus végétaux maintenus en surface absorbent l'énergie cinétique des gouttes de pluie et du ruissellement (FREITAS *et al.*, 1992).

AMABILE et RESCK (1990 a), étudiant l'effet de différents systèmes de préparation (semis direct, scarification, labour avec charrue à disques ou à socs) sur un sol ferrallitique rouge argileux sous cerrados, observent, la septième année, des comportements différents avec deux cultures introduites. Pour le soja, le semis direct est supérieur d'environ 25 % dans la production de grain, comparé à la préparation par charrue à disques. Pour le maïs, l'utilisation des disques donne une augmentation de 34 % environ par rapport au semis direct. Ces mêmes auteurs (AMABILE et RESCK, 1990 b), travaillant sur le même sol, notent une meilleure distribution des racines du soja et du maïs dans le traitement par semis direct en comparaison du traitement avec disques.

CENTURION et DEMATÉ (1992), comparant les effets de divers systèmes de préparation du sol (système conventionnel : pulvérisations après labour ; système inversé : labour après pulvérisations ; semis direct) sur la production de maïs dans un sol ferrallitique rouge argileux des cerrados, observent que le semis direct produit moins que les autres traitements.

ARDENGI (1989), travaillant sur un sol ferrallitique rouge non désaturé de la région des cerrados et cultivé en maïs depuis dix ans, n'observe pas de différence significative dans la production entre les parcelles en semis direct et celles traitées par charrue à disques ou à socs, bien que l'on constate des teneurs plus importantes en matière organique et en phosphore soluble dans les premiers

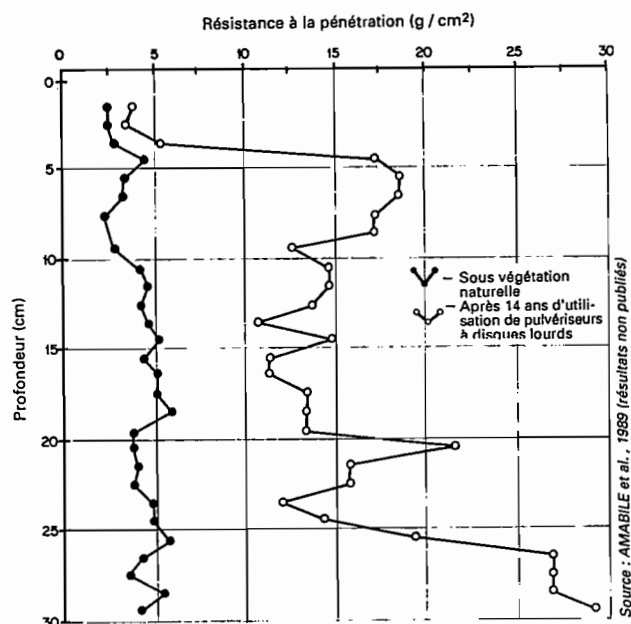


FIG. 3. — Résistance mécanique à la pénétration d'un sol ferrallitique rouge jaunâtre sous végétation de cerrado (*latossolo vermelho-amarelo*).

Mechanical resistance to penetration in a red-yellow oxisol under cerrados vegetation.

horizons ainsi qu'une plus forte porosité totale du sol sous semis direct.

SIDIRAS *et al.* (1984), en déterminant quelques paramètres physiques d'un sol ferrallitique non désaturé du sud du pays, sous semis direct et traitement conventionnel, obtiennent avec le semis direct une plus grande rétention en eau dans la couche superficielle et un plus faible gradient de densité du sol dans le profil, qu'ils justifient par la réduction de la macroporosité et l'augmentation de la teneur en matière organique de la couche superficielle.

En conclusion, d'après les différents travaux évoqués, l'influence du semis direct, par rapport aux autres systèmes de préparation, se traduit d'une façon générale par une amélioration des caractéristiques physiques du sol. Les résultats semblent plus contradictoires quant à la production, et différer selon les cultures (maïs, soja...).

Les connaissances techniques et scientifiques sur la viabilité du semis direct dans la région des cerrados sont encore insuffisantes. L'objectif de ce travail est de présenter les résultats des recherches développées en coopération entre l'Orstom et l'Embrapa/SNLCS-CRGO dans la région des cerrados du Centre-Ouest, afin d'évaluer les possibilités d'utiliser le semis direct comme pratique alternative visant à la conservation, à l'amélioration et (ou) au maintien de la capacité productive des sols par l'élimination des problèmes de dégradation de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Stratégie d'action

L'étude des systèmes alternatifs incluant le semis direct est réalisée dans deux sites expérimentaux. Le premier à la station expérimentale de l'Embrapa/SNLCS-Emgopa, à Senador Canedo, Goiânia ; le second à la Fazenda Quêrência das Antas, à Montividiu, Goiás.

SITE 1 : GOIÂNIA (RÉGION CENTRALE DE L'ÉTAT DU GOIÁS)

Cette expérimentation installée en 1989 vise à l'observation et à la comparaison de successions de cultures irriguées et de systèmes de préparation du sol, considérés comme conventionnels et alternatifs. Les systèmes de préparation retenus sont les suivants : pulvérisation (GP) ou « grade pesada », avec utilisation d'un pulvérisateur à disques autoporteur lourd, suivi de deux pulvérisations légères ; labour profond (AP) (charrue à disques, charrue à socs, et nivellement) ; semis direct (PD) sur les résidus de la culture antérieure avec une semeuse spécialement adaptée.

Les cultures étudiées sont le maïs (été, chaud et pluvieux) et le haricot (hiver, sec et froid).

Les successions de ces systèmes sont testées en parcelles de 40 m x 15 m sur un sol ferrallitique argileux rouge, sous pivot central avec « gicleurs » sous pression moyenne.

SITE 2 : MONTIVIDIU (RÉGION SUD-OUEST
DE L'ÉTAT DU GOIÁS)

L'expérimentation vise au test des systèmes agroécologiques alternatifs, avec comparaison de la préparation du sol et de la plantation sous cultures non irriguées (une culture par an). Les parcelles de démonstration (30 m x 600 m), sans répétitions, sont installées dans une aire cultivée, zone de pâturage à *Panicum maximum*, *Bracharia ruzizensis* et *Cajanus cajan*. Les traitements culturaux considérés sont les suivants : traitement conventionnel, c'est-à-dire préparation par charrue à disques suivie de deux pulvérisations (PC) ; semis direct (PD).

Les parcelles sont subdivisées pour différentes doses de fertilisants, d'herbicides, et les cultures introduites sont le maïs et le soja.

Méthodologies adoptées

SYSTÉMATISATION ET ADAPTATION DE LA MÉTHODOLOGIE DU PROFIL CULTURAL

Organisation macroscopique

La caractérisation de l'état structural des sols étudiés est réalisée à partir de la méthodologie adaptée du « profil cultural » de GAUTRONNEAU et MANICHON (1987). Cette méthodologie basée sur la caractérisation morphologique des différents volumes pédologiques reconnus au cours de l'examen des profils, tant verticalement que latéralement, s'appuie également sur un certain nombre de déterminations analytiques effectuées tant *in situ* qu'au laboratoire (BLANCANEUX *et al.*, 1991).

L'objectif de la description est la caractérisation morphostructurale et physico-hydrigue du sol, ainsi que de ses relations avec la couverture végétale et les opérations culturales. La description doit inclure principalement les observations sur l'état structural, la consistance et la porosité, en plus du développement et de l'orientation des racines. L'ensemble des résultats obtenus doit permettre la compréhension des diverses interventions agricoles antérieures à la description des profils, ainsi que du rôle des cultures antérieures, afin d'établir, entre autres, les *relations entre l'état structural et le développement racinaire*.

Organisation microscopique

La caractérisation microscopique est réalisée par l'observation à la loupe de mottes et de lames minces, et au microscope optique de ces dernières. Pour l'analyse micromorphologique, les lames étudiées correspondent à des échantillons non déformés de *volumes structuraux homogènes* identifiés lors de la description morphostructurale.

CARACTÉRISATION DE L'ESPACE PORAL

Les observations morphostructurales et microscopiques de l'espace poral sont complétées par la quantification de la porosité totale et de la distribution de la taille des pores, pour divers intervalles, en fonction des différents traitements culturaux. À cette fin sont déterminés les densités,

apparente et réelle, la rétention en eau à différentes pressions, ainsi que le spectre poral par la porosimétrie à mercure.

Densimétrie et porosité

Les déterminations sont réalisées sur des échantillons non remaniés, prélevés verticalement dans les horizons diagnostiqués, avec des cylindres volumétriques de 100 cm³. Après saturation, les échantillons sont soumis à des pressions de 6, 33 et 100 kPa, puis, après équilibre de chaque pression, la teneur en eau des échantillons est mesurée par gravimétrie et ces derniers sont légèrement réhumidifiés. Deux répétitions sont faites par horizon étudié. Les résultats sont rapportés à l'humidité volumétrique.

La densité apparente est déterminée dans les mêmes échantillons, après séchage à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures (EMBRAPA/SNLCS, 1979). La densité réelle est déterminée dans un ballon volumétrique avec l'alcool éthylique. Les densités sont exprimées en g/cm³.

La distribution de la taille des pores est réalisée sur la base du rayon équivalent à partir de la théorie des tubes capillaires pour les différentes pressions appliquées. Sont déterminés les pourcentages de micropores, dans les intervalles de 50-9 µm, 9-3 µm et < 3 µm, qui composent la microporosité, et > 50 µm, ou macroporosité (FREITAS, 1988), exprimés en pourcentage du volume total de l'échantillon.

Porosimétrie au mercure

L'étude du système poral par intrusion de mercure dans de petits échantillons de 2 à 4 cm³, séchés à l'étuve, permet d'évaluer la distribution de la taille des pores, en fonction du rayon équivalent, dans les intervalles de 0,004 à 80 µm (BRUAND, 1985, 1991). Les déterminations ont été réalisées au laboratoire de l'Orstom à Cayenne (Guyane française), avec utilisation du microporosimètre (Micrometrics Pore Sizer — Carlo Erba 2000). Les résultats sont exprimés par l'indice des vides *-e-* et du « spectre de vide », calculé sur la base de l'indice des vides et du logarithme du rayon équivalent (TESSIER, 1984).

Stabilité des agrégats

La détermination de la stabilité des agrégats permet l'évaluation de la résistance de ces derniers à leur humectation et aux forces de désintégration. Plus la stabilité des agrégats est faible dans l'eau, plus la susceptibilité du sol à la détérioration de sa structure par l'impact des gouttes d'eau ou par l'action des outils de préparation culturale du sol, ou son tassement par le passage des machines agricoles, sera grande.

La détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau suit la méthodologie présentée par FREITAS et BLANCANEUX (1991, 1994), d'après KEMPER (1965). Les échantillons sont prélevés sous la forme de monolithes dans les horizons décrits lors de l'analyse morphostructurale. Au

laboratoire, les agrégats compris entre 4 et 8 mm sont soumis à une humidification par « brumisation » et tamisés dans l'eau grâce à un jeu de tamis de taille variant de 2 à 0,053 mm d'ouverture.

Caractérisation chimique (fertilité)

La méthodologie adoptée est la suivante :

- carbone organique : méthode volumétrique par le bichromate de potassium et titrage au sulfate ferreux (EMBRAPA/SNLCS, 1979) ;
- matière organique : à partir du carbone ($MO\% = C\% \times 1,724$) ;
- N total : par distillation Kjeldahl ;
- pH eau : par potentiométrie ;
- H + Al (acidité échangeable) : méthode volumétrique et titrage par la soude ;
- Ca + Mg échangeables par complexométrie et titrage par EDTA ;
- P assimilable : méthode colorimétrique par acide ascorbique ;
- K échangeable : méthode directe par photométrie de flamme ;
- Al échangeable : méthode volumétrique par titrage à la soude.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Organisation et constituants des sols étudiés

Les sols étudiés sont classés comme « *Latossolo vermelho-escuro* » correspondant aux sols ferrallitiques fortement désaturés de la classification française des sols et aux oxisols de la Soil Taxonomy, et sont caractéristiques des sols développés sur la couverture détrito-latéritique du quaternaire, sous végétation de cerrados, dans la région centrale du Brésil. Ils sont représentés par les profils de référence LSG0 (Goiânia) et T2.4 (Morrinhos).

Le profil de référence LSG0 décrit à Goiânia se situe à proximité des parcelles expérimentales PCG et se trouve sous jachère de graminées depuis environ cinq ans ; ce sol était antérieurement cultivé par traitement conventionnel (GP). Le profil T2.4 est localisé à Morrinhos (GO) et se trouve sous végétation naturelle (cerrado).

ORGANISATION MACROSCOPIQUE

Le profil LSG0 est caractérisé par les horizons Ap, AB, BA et BW. Les transitions entre les horizons sont graduelles ou diffuses. Il y a peu de variation de couleur, si ce n'est un léger brunissement dans les horizons superficiels plus riches en matière organique. Les sesquioxydes sous forme diffuse sont répartis dans tout le profil dont la texture est argileuse. La structure microagrégée en profondeur (« poudre de café ») se développe en agrégats polyédriques subanguleux, plus ou moins fragiles dans les horizons superficiels.

Dans son ensemble, ce sol présente une forte activité biologique, un enracinement profond, des propriétés physiques correctes dans les horizons profonds microagrégés, tandis qu'un tassement résultant vraisemblablement de l'activité agricole passée se manifeste dans les horizons subsuperficiels.

CONSTITUANTS DU SOL

Minéralogie

L'analyse aux rayons X de la fraction inférieure à 2 μ révèle la présence d'un peu de kaolinite désordonnée, d'interstratifié chlorite-vermiculite et (ou) vermiculite alumineuse, de traces d'illite altérée, de gibbsite et d'hématite assez importantes, d'un peu de goethite alumineuse et d'anatase, et ce pour tous les horizons du profil.

Analyse granulométrique

La détermination de la texture d'un sol ferrallitique microagrégé est une opération délicate et complexe, comme l'ont signalé de nombreux auteurs dont, entre autres, EL SWAIFY (1980) et CARVALHO (1990). L'argile associée au fer, organisée en microagrégats, n'est pas totalement dispersable dans l'eau. CHAUVEL *et al.* (1976) ont ainsi distingué trois degrés de mobilisation de l'argile dans un sol ferrallitique : argiles « libres », argiles « immobilisées » et argiles « cimentées ».

Texturalement (tabl. II), ce profil montre des taux d'argile qui varient de 51 % en Ap à 56 % en BW. Les taux en limons restent de l'ordre de 15 %. Les taux de sables fins ne varient pas dans le profil et sont de 24 %. Ceux de sables grossiers varient de 9 % dans les horizons Ap à 6 % en BW. On n'observe pas d'éléments grossiers.

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Le sol est acide à très acide dans tous les horizons (tabl. II) ; il possède une faible teneur en bases échangeables et un fort taux de désaturation. La somme des bases échangeables S qui est égale à 3,9 méq/100 g dans les horizons Ap tombe à 1,4 méq/100 g en ABp, pour atteindre 0,6 méq/100g en BW. On peut remarquer que, en BW, pH KCl > pH eau, ce qui traduit une charge nette positive dans cet horizon (capacité d'échange anionique supérieure à capacité d'échange cationique) et donc une mauvaise rétention des cations. Les taux en matière organique (C et N) sont significatifs seulement dans les horizons superficiels, tombant très rapidement à des valeurs de l'ordre de 0,3 % pour C et 0,04 % pour N dès les horizons de moyenne profondeur (60 cm). Les teneurs en Fe₂O₃ et Al₂O₃ (attaque à H₂SO₄ 1:1) sont élevées ; dans tous les horizons, la teneur en fer total est supérieure à 10 %, tandis que Al₂O₃ oscille autour de 21 %, ce qui confirme la grande richesse en sesquioxydes de ce sol. K_i (SiO₂/Al₂O₃) est de l'ordre de 0,6 tandis que K_r (SiO₂/R₂O₃) reste de l'ordre de 0,48.

TABLEAU II
Caractéristiques physiques et chimiques du profil LSG0
Physical and chemical characterization of profile LSG0

Horizon	Prof. (cm)	Composition granulométrique du sol (%)				
		Sable grossier (2-0,2 mm)	Sable fin (0,2-0,05 mm)	Limon (0,05-0,002 mm)	Argile (< 0,002 mm)	Argile dispersée dans l'eau
Ap1	0-9	9	24	16	51	28
Ap2	9-21	9	24	16	51	32
ABp	21-33	8	25	16	51	8
BA	33-62	7	25	14	54	0
Bw1	62-100	7	24	15	54	0
Bw2	100-138	6	24	15	55	0
Bw3	138-184	6	23	15	56	0

Horizon	Ph		Complexe absorbant (mécq/100 g)								
	Eau	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	T	V (%)
Ap1	5,5	4,5	2,4	0,8	0,64	0,05	3,9	0,1	5,5	9,5	41
AP2	5,4	4,3	2,7	0,3	0,23	0,04	3,3	0,1	5,2	8,6	38
ABp	4,9	4,2	0,8	0,5	0,11	0,03	1,4	0,1	4,3	5,8	24
BA	4,9	4,4	0,5	0,6	0,08	0,03	1,2	0,0	3,0	4,2	29
Bw1	5,4	5,3	0,8	0,03	0,03	0,03	0,9	0,0	1,5	2,4	38
Bw2	4,7	5,7	0,5	0,02	0,03	0,03	0,6	0,0	1,0	1,6	38
Bw3	5,0	5,7	0,5	0,02	0,03	0,03	0,6	0,0	0,8	1,4	43

Horizon	Sat., Al (%)	P (ppm)	C (%)	N (%)	Attaque par H ₂ SO ₄ (%)			
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
Ap1	3	16	1,72	0,16	7,7	21,0	10,3	1,19
Ap2	3	10	1,44	0,13	7,8	20,6	10,4	1,24
ABp	7	1	1,08	0,10	7,8	21,0	10,2	1,23
BA	0	2	0,69	0,08	7,8	21,5	11,3	1,26
Bw1	0	1	0,37	0,05	7,9	21,5	10,5	1,26
Bw2	0	1	0,16	0,04	8,4	22,5	10,8	1,27
Bw3	0	1	0,37	0,03	7,9	21,7	11,5	1,30

CONCLUSION

Les caractéristiques morphostructurales et physico-chimiques du profil LSG0₀ montrent que ce sol est bien représentatif des sols développés sur les couvertures détrito-latéritiques argileuses rouges du quaternaire du plateau central brésilien sous végétation de cerrado. Ces sols sont caractérisés par une texture argileuse, une structure microagrégée (état de liaison argile/oxydes et sesquioxydes de fer et d'aluminium) des horizons de profondeur ; cette structure a tendance à s'effacer dans les horizons anthropisés pour faire place à des assemblages plus consistants donnant naissance à des horizons plus cohérents, plus ou moins tassés en fonction du travail du sol.

Chimiquement, ce sont des sols acides, pauvres en éléments nutritifs, très riches en oxydes et sesquioxydes, relativement dépourvus de matière organique lorsque leur couverture végétale naturelle est enlevée.

Effet des systèmes agricoles (altération des structures)

L'exploitation intensive et l'utilisation inadéquate d'outils agricoles à disques (pulvérisateurs lourds ou légers) affectent l'état structural des sols en causant une pulvérisation excessive de la terre et un tassement ou un compactage subsuperficiel, qui réduit la porosité, affecte la capacité d'infiltration de l'eau et provoque une chute significative de la capacité productive du sol.

Pour analyser les modifications structurales et les propriétés physico-hydriques des sols étudiés, une étude de l'espace poral est menée à différentes échelles et par des méthodes d'approche diverses.

CARACTÉRISATION MORPHOSTRUCTURALE

La caractérisation morphostructurale *in situ* permet les observations suivantes.

Site 1, Goiânia (Senador Canedo), profils PCG

Système cultural 1

Système conventionnel : *grade pesada* (été)/*grade pesada* (hiver) (GP/GP). Le profil PCG01 est caractérisé par la présence d'un horizon tassé entre 5 et 19 cm (Ap2). À la limite supérieure de cet horizon, il y a déviation horizontale du système racinaire du haricot. Cet horizon surmonte un horizon ABp (19-28 cm) encore riche en matière organique, à éléments polyédriques subanguleux ; le matériau est relativement moins compact et consistant que Ap2, mais toutefois plus cohérent que BA (28-41 cm). On note d'une manière générale une tendance nette à l'augmentation de la consistance, de la profondeur, où des fragments de matière organique sont encore observables à près de 60 cm, vers le sommet du profil. La tendance au tassement est maximale vers 6 cm de profondeur et semble être le résultat des deux opérations de pulvérisation du sol en surface.

Système cultural 2

« Labour profond (été)/labour profond (hiver) » (AP/AP). Le profil PCG07 montre une incorporation de matière organique humifiée et (ou) de résidus végétaux en voie de décomposition dans tous les horizons. La structure reste polyédrique subanguleuse et la tendance à la microagrégation croît avec la profondeur : on passe à une structure microagrégée (« poudre de café ») en BW. L'activité biologique est forte dans l'ensemble du profil (galeries de termites). Globalement, le profil montre donc une forte porosité interagréat.

Système cultural 3

« Labour profond (été)/semis direct (hiver) » (AP/PD). Le profil PCG08 montre au niveau de l'horizon Ap2/AB (4-25 cm) un mélange mécanique de l'horizon Ap1 avec les matériaux plus profonds de l'horizon BA. Des fragments de matière organique sont fréquents dans tous les horizons et la porosité reste forte dans tout le profil. Il apparaît donc que le semis direct effectué pour la culture d'hiver maintient les propriétés structurales héritées du traitement cultural d'été (labour profond, AP).

Système cultural 4

« Semis direct (été)/semis direct (hiver) » (PD/PD). Le profil PCG12, représentatif de ce système, montre une tendance à la déviation horizontale des racines à la limite supérieure de l'horizon Ap2 peu tassé. On observe en effet dans cet horizon, ainsi que dans AB, la présence de macropores tubulaires, de galeries racinaires localisées et d'une activité biologique (termites). Les racines qui pénètrent en profondeur dans cet horizon ont tendance à contourner les grosses mottes (20 cm de diamètre) plus consistantes, et globalement l'horizon reste encore relativement poreux.

Conclusion

L'observation macroscopique des différents profils pédologiques anthropisés, soumis à des combinaisons de traitements culturaux différents et sous irrigation, montre :

— une tendance à un tassement des horizons Ap2, plus particulièrement observable lors de la répétition des traitements GP ;

— l'influence assez nette du traitement antérieur (été) qui semble conditionner l'organisation structurale du sol même après le traitement d'hiver ; cela est particulièrement observable en PCG08 (AP/PD) dans l'horizon Ap2/AB ;

— que le semis direct offre une forte activité biologique, responsable pour une très grande part de la macroporosité du sol (galeries, cavités...) et du maintien d'un stock organique relativement important dans le sol ;

— que les sols sous semis direct sont en hiver (saison froide et sèche) relativement plus humides que leurs voisins sous traitement conventionnel (rôle de la paille en surface dans l'évaporation).

Site 2, Montividiu (Fazenda Querência das Antas), profils ATM

Les principaux résultats comparatifs des systèmes de préparation du sol par semis direct et traitement conventionnel, pour les cultures pluviales de maïs et de soja, sont présentés dans le tableau III.

En conclusion, l'observation des sols sous semis direct, tant pour le maïs que pour le soja, montre le développement d'une structure fragmentaire nette et généralisée dans l'ensemble des profils. Elle se caractérise par l'existence d'agrégats subarrondis, d'une macroporosité importante, d'un enracinement profond, et l'absence d'indice de déviation du système racinaire ; par ailleurs, il est observé un important stock de matière organique et son incorporation en profondeur (plus de 2 % en dessous de 60 cm) par une très forte activité biologique dont les principaux constituants sont mentionnés dans le tableau III.

Les profils ATM1 et ATM2 se montrent très poreux et, bien qu'une légère augmentation de la cohésion se manifeste vers 20 cm de profondeur, ces sols apparaissent bien aérés, bien structurés, riches en matière organique et *légèrement humides* dans tous les horizons.

Sous traitement conventionnel, tant pour ATM3 (maïs) que ATM4 (soja), une tendance à la déviation du système racinaire est observée dans les horizons Ap2 et AB ; l'enracinement reste toutefois profond dans les profils qui sont poreux. La matière organique organisée et (ou) humifiée est encore observée à plus de 60 cm de profondeur, mais globalement l'activité biologique développée au sein de ces profils est nettement moins forte que dans le cas du semis direct. Par ailleurs, ces profils, tant pour le maïs que pour le soja, montrent des horizons relativement secs.

TABLEAU III
Caractérisation morphostructurale des profils ATM (site 2, Montividiu) : comparaison des systèmes de culture
Morpho-structural characterization of ATM profiles (site 2, Montividiu). Cultural systems comparison

Expérience : AgroTrop, Montividiu. Comparaison de systèmes de culture				
Cultures : Maïs et soja				
Sol : Ferrallitique, typique, modal, rouge, très argileux (60-65 % argile)				
PROFIL	ATM ₁ _____	ATM ₂ _____	ATM ₃ _____	ATM ₄ _____
Traitement	Semis direct	Semis direct	Conventionnel	Conventionnel
Séquence d'horizon	Ap ₁ /ABp/BA/Bw	Ap ₁ /ABp/BA/Bw	Ap ₁ /Ap ₂ /BA/Bw	Ap ₁ /Ap ₂ /AB/BA/Bw
Profondeur Ap/ABp	17 cm	33 cm	19 cm	28 cm
Prof. couleur brune	17 cm	33 cm	19 cm	20 cm
Couverture du sol	déchets organiques en décomposition (<i>Panicum maximum</i> et <i>C. cajan</i>)	déchets organiques en décomposition (<i>Panicum maximum</i> et <i>C. cajan</i>)	fragments de <i>Brachiaria</i> sp. en décomposition	déchets organiques peu décomposés
Taches	dans BA/Bw ; incorpor. de mat. org. par act. biol.	dans ABp/BA/Bw ; incorpor. de mat. org. par act. biol.	dans BA ; incorpor. de mat. org. par act. biol.	dans BA ; incorpor. de mat. org. par act. biol.
Matière organique	Ap : d.d. ; organisée et humifiée ; très abondante (3-4 %) ABp/BA : d.d. ; organisée et humifiée ; abondante (~ 2,5 %) Bw : d.d. ; organisée (carbonisée) et humifiée (commune) (< 2,0 %)	d.d. ; organisée (carbonisée) et humifiée très abondante (3-4 %) d.d. ; organisée (carbonisée) et humifiée abondante (2,7 %) d.d. ; organisée (carbonisée) et humifiée commune (< 2,2 %)	d.d. ; organisée et humifiée très abondante (~ 3,5 %) d.d. ; organisée et humifiée abondante (2,4 %) d.d. ; organisée et humifiée commune (2,2 %)	d.d. ; organisée et humifiée très abondante (~ 3,2 %) d.d. ; organisée et humifiée abondante (2,4 %) d.d. ; organisée et humifiée commune (< 2,3 %)
État structural	Ap : grumeleuse et polyédrique fine ABp/BA : polyédrique subanguleuse moyenne et fine Bw : polyédrique moyenne et fine à sous-structure microagrégée	grumeleuse et polyédrique fine polyédrique subanguleuse moyenne et fine polyédrique moyenne et fine à sous-structure microagrégée	polyédrique subanguleuse moy. et forte polyédrique subanguleuse moyenne et fine à sous-structure microagrégée	polyédrique subanguleuse fine et moyenne polyédrique subanguleuse moy. à forte polyédrique subanguleuse moy. et fine à sous-structure microagrégée
Porosité	très poreux ; pores fins, moyens et larges, intra-et inter-agrégats ; tubulaires d'act. biologique	très poreux ; pores fins, moyens et larges, intra-et inter-agrégats ; tubulaires d'act. biologique	très poreux dans l'ensemble du profil ; pores fins et moyens	très poreux dans l'ensemble du profil ; pores fins et moyens
Consistance	ABp : semi-rigide ; meuble, très friable, plast., collant BA : idem ; légèrement plus cohérent que ABp	semi-rigide ; meuble, très friable, plast., collant idem	semi-rigide ; très friable, très plast., très collant idem	semi-rigide ; friable, plast., coll. idem
Racines	Ap ₁ : très nombreuses ; fines, moyennes (concentrées dans les lignes de semis) ABp/BA/Bw : communes ; fines et moyennes, verticales	très nombreuses ; fines, moyennes ; relativement concentrées dans l'horizon communes ; fines et moyennes ; verticales	nombreuses ; fines et moyennes ; verticales et obliques communes ; fines et très fines ; ramifiées	nombreuses ; fines et moyennes ; concentrées entre 0 et 5 cm ; horizontales communes ; fines, sans direction préférentielle
Activité biologique	très forte en Ap ₁ et Abp, forte dans BA et Bw faune : insectes divers, larves de coléoptères (<i>Euethoia</i> sp. et <i>Dyscinetus</i> sp.), <i>Gryllus assimilis</i> , <i>Gryllotalpa hexadactyla</i> et dermaptères (<i>Doru lineare</i>)	forte dans tous les horizons arthropodes divers, chilopodes (mille-pattes) et diplopodes (« peau de serpent » - <i>Gymnostreptus olivaceus</i>)	forte dans les horizons idem ATM ₁	forte dans tous les horizons idem ATM ₂
Observations	tassement : non observé enracinement : profond ; concentration de racines dans les lignes de semis déviations des racines : non observée	légèrement plus cohérent en ABp profond non observée	léger tassement observé en BA qu'apparaît plus ferme et cohérent que les horizons de ATM ₁ et 2 profond peu nette ; horizont. non généralisée ; dans Ap ₂	léger tassement observé en ABp/BA concentré en Ap ₁ ; manteau de racines en surface ; forte nodulation non observée
Transition entre les horizons	grad. et plane : Ap ₁ /ABp dist. et plane : ABp/BA/Bw	diffuse et plane : Ap ₁ /ABp grad. et plane : ABp/BA/Bw	nette et plane : Ap ₁ /Ap ₂ grad. et plane : Ap ₂ /ABp/BA/Bw	nette et plane : Ap ₁ /Ap ₂ dist. et plane : Ap ₂ /ABp/BA/Bw

ORGANISATION MICROSCOPIQUE (cf. photos p. VI)

Profils de référence LSG0 et T2.4

L'observation à la loupe de prélèvements de mottes effectués dans les horizons profonds montre des agrégats de fer-argile bien individualisés, avec une forme subarrondie et une taille comprise entre 150 et 200 μ .

Pour l'ensemble du profil LSG₀, le squelette est également réparti et représente environ 20% du volume total. Il est constitué essentiellement de grains de sable quartzeux, fins et grossiers, de rares nodules ferrugineux et de fragments millimétriques de mica, isolés au sein d'une phase plasmique selon une distribution de type porphyrosquellique (BREWER, 1964).

La phase plasmique est organisée en éléments structuraux subarrondis, les microagrégats, de couleur rouge jaunâtre à rouge sombre en lumière naturelle, avec une orientation de type asépique. Nous n'avons pas observé de traits pédologiques. La principale variation observée concerne l'assemblage des microagrégats et donc la porosité qui en résulte.

On distingue globalement dans le profil LSG₀, et ce en accord avec les observations macroscopiques, deux « compartiments » distincts au plan de leur organisation.

Le « compartiment inférieur », de 62 à 184 cm de profondeur, se caractérise par une organisation du plasma en agrégats subarrondis, et par la présence d'une forte macroporosité interagrégat, notamment sous la forme de *chenaux/cavités*. Ces derniers, de forme allongée, constituent une porosité continue en reliant des *chambres* et des *vésicules* (BULLOCK *et al.*, 1985). En section transversale, ces chenaux révèlent des formes ovoïdes et se montrent fréquemment remplis de petits agrégats, de *pelotes fécales* et de petits grains de quartz, ce qui témoigne d'une forte activité biologique au sein du matériau (termites). Les parois de ces pores sont constituées par des assemblages plus denses d'agrégats dont les faces externes sont parfois recouvertes de films organiques.

En résumé, l'arrangement des microagrégats dans les horizons BW engendre une porosité interagrégat continue, irrégulière et polyconcave qui occupe une partie importante du volume du sol étudié.

Le « compartiment supérieur », de 0 à 62 cm, englobe les horizons anthropisés. Il présente une organisation de la phase plasmique relativement plus dense que celle qui a été décrite précédemment.

La couleur rougeâtre à jaune rougeâtre et la forme dominante des microagrégats restent les mêmes (subarrondie), mais de nouvelles formes (agrégats subanguleux) apparaissent et ces agrégats sont plus proches les uns des autres, tassés ; ils ont tendance à s'agglomérer pour constituer des « paquets » de plasma. Il en résulte une porosité nettement plus faible ; les pores interagrégats sont plus petits et nettement polyconcaves. Les surfaces et les con-

nexions entre les pores sont réduites de manière significative par rapport aux horizons de profondeur BW. On n'observe pas ou très peu de chenaux/cavités. Il demeure toutefois une macroporosité racinaire et d'activité biologique, mais globalement moins importante que dans les horizons profonds.

En conclusion, l'analyse microscopique a montré que l'unité d'assemblage élémentaire de ce sol est le microagrégat, de forme subarrondie et d'environ 200 μ de diamètre. Ces microagrégats présentent un squelette uniformément réparti dans tout le profil. La taille et la forme des pores sont conditionnées par le type d'organisation des microagrégats ; dans les horizons superficiels, le tassement de ces derniers réduit de façon significative les connexions et les volumes entre ces pores qui apparaissent plus isolés au sein d'une phase plasmique plus dense. Les chenaux/cavités sont beaucoup mieux représentés dans le compartiment inférieur du profil qui n'est pas ou n'a pas été directement soumis à l'action des outils agricoles.

On en déduit que, malgré l'absence de travail du sol durant les cinq dernières années, celui-ci apparaît relativement tassé dans ses horizons supérieurs, conséquence de l'activité agricole passée (système conventionnel avec pulvérisateur lourd). L'inexistence de végétation arborée jusqu'à aujourd'hui n'aura pas permis à ce sol de reconstituer son organisation structurale telle qu'elle existe sous végétation naturelle de cerrado.

En effet, si on compare l'organisation superficielle et subsuperficielle de LSG₀ avec celle du profil T2.4 situé sous végétation arborée de cerrado, on observe dans ce dernier sol une organisation en microagrégats nettement arrondis, beaucoup plus « libres » (structure lâche), qui engendre une porosité beaucoup plus importante. On y observe également de très nombreux chenaux/cavités remplis de débris organiques et de microagrégats arrondis qui rendent compte de la très forte activité biologique jusque dans les horizons de profondeur.

Profils PCG (Goiânia, Senador Canedo)

PCG01 : GP/GP (système conventionnel, répétition des opérations en été et en hiver)

L'examen des lames correspondant aux horizons Ap2/ABp (6-19 cm) montre que le squelette est constitué de grains de sables quartzeux millimétriques. L'assemblage est porphyrosquellique. La phase plasmique est très dense, continue, de couleur rougeâtre en lumière naturelle. Les microagrégats sont tassés. Il en résulte une porosité relativement faible ; les pores paraissent isolés, polyconcaves, avec des surfaces et des connexions réduites. Il y a peu ou pas de chenaux/cavités. On observe de très nombreux petits fragments (1/10 mm) de matière organique noirâtre dans toute la lame. Quelques fissures liées au compactage apparaissent dans la phase plasmique. L'orientation est asépique.

En conclusion, l'organisation en microagrégats arrondis n'apparaît que localement dans le bas de la lame, au niveau de la transition entre Ap2 compacté et ABp relativement moins tassé. Le tassement entre les microagrégats réduit le volume et les connexions entre les pores ; on n'observe pas de chenaux/cavités. Le matériau est dense, tassé, compacté.

PCG07 : AP/AP (labour profond, répétition des traitements, charrue à disques et charrue à socs en été et en hiver)

L'examen de la lame correspondant à l'horizon ABp montre localement quelques assemblages plus denses et relativement tassés. Dans son ensemble, le matériau offre une microstructure relativement lâche et aérée. Les microagrégats sont subarrondis, la macroporosité est forte. De nombreuses galeries de racines et une forte activité biologique sont constatées.

PCG08 : AP/PD (succession des traitements labour profond en été et semis direct en hiver)

L'examen de la lame correspondant à l'horizon ABp (4-25 cm) montre que dans l'ensemble le matériau reste relativement poreux avec une structure microagrégée. Toutefois, par comparaison avec l'horizon plus profond, la microstructure paraît plus dense et le matériau relativement moins aéré que dans cette dernière lame. On observe ici une activité biologique forte qui conduit à l'existence d'une porosité tubulaire, localisée, avec des galeries racinaires remplies de débris organiques. La variation structurale observée serait le résultat du mélange mécanique des matériaux lors du labour profond.

En conclusion, l'observation montre une tendance au tassement vers la partie supérieure du profil. La phase plasmique de ABp est en effet relativement plus dense que celle de BA.

PCG12 : PD/PD (semis direct en été et semis direct en hiver)

À l'œil nu, l'examen de la lame correspondant à l'horizon ABp (16-24 cm) montre un réseau de fissures en étoile qui fait penser à une « *crack structure* ». On observe par ailleurs des plages relativement étendues de « paquets » de plasma rouge sombre résultant de l'agglomération d'agrégats ; le tout offre un aspect désordonné de plages denses séparées par de larges fissures.

Au microscope, le squelette se montre constitué de quartz fins, parfois revêtus d'argile, avec de rares nodules ferrugineux. La phase plasmique présente :

— de gros paquets de microagrégats accolés, avec une macroporosité relativement réduite ;

— des microagrégats subarrondis de taille très nettement supérieure aux microagrégats de PCG12, horizon BA ; ces agrégats ont eux-mêmes tendance à se regrouper localement pour constituer des plages denses et continues de matériau argilo-ferreux englobant des quartz et des petits fragments de matière organique organisée.

Au sein des plages denses de plasma, la porosité est réduite, mais on note la présence de gros pores fissuraux polyconcaves.

Au sein du matériau microagrégé, la structure paraît plus lâche ; les microagrégats ont une taille de l'ordre de 0,2 mm ; ils sont subarrondis ou subangulaires et tendent à se regrouper localement pour constituer des assemblages relativement plus denses. On observe des chenaux/cavités remplis de microagrégats et de petits éléments structuraux subarrondis (boulettes fécales), qui rendent compte d'une forte activité biologique à ce niveau.

L'horizon présente donc une porosité qui varie localement. L'activité biologique engendre une macroporosité tubulaire qui occupe un volume important dans cet horizon.

L'examen de la lame correspondant à l'horizon BA/BW1 (31-60 cm) montre un squelette identique à celui de la lame précédente. La phase plasmique, par contre, montre des microagrégats plus petits, apparemment plus arrondis et surtout moins tassés que dans le cas précédent. Le matériau apparaît plus aéré et avec davantage de connexions entre les pores. L'activité biologique est encore bien visible à ce niveau.

Conclusion sur l'examen des lames minces de PCG

Le traitement GP/GP montre au niveau de l'horizon Ap2/ABp un matériau compacté, à microagrégats tassés, à porosité très réduite, avec une phase plasmique très dense.

Le traitement AP/AP montre pour le même horizon une phase plasmique encore dense, mais avec un tassement moindre que le précédent. Les microagrégats sont plus arrondis. La porosité y est relativement plus forte, de larges pores racinaires et fissuraux ainsi que des chenaux/cavités sont présents.

Le traitement AP/PD dans l'horizon subsuperficiel Ap2 se montre relativement poreux dans certaines plages, avec localement existence de plages plus denses ; ce qui serait le résultat du mélange d'horizons par action mécanique. Dans l'horizon BA, le matériau est moins tassé et plus poreux ; mais on observe également à ce niveau l'influence du mélange mécanique des horizons qui engendre une variabilité structurale.

En ce qui concerne le traitement PD/PD, de gros paquets de microagrégats accolés sont des indices de tassement assez nets. On observe toutefois une très forte activité biologique responsable d'une macroporosité tubulaire importante, tant dans l'horizon AB que dans BA, avec une augmentation de la microagrégation en profondeur et donc de la porosité interagrégat qui en résulte.

Caractérisation de l'espace poral

DENSIMÉTRIE ET POROSITÉ

Les résultats obtenus pour la densité apparente, le volume de solides et la distribution de la taille des pores pour

différents intervalles sont présentés dans les figures 4 (site 1, Goiânia) et 5 (site 2, Montividiu).

Dans les deux sites, nous avons observé une variation

assez importante de la densité apparente dans tous les profils étudiés, en fonction des différents horizons, ce qui confirme les observations morphostructurales réalisées.

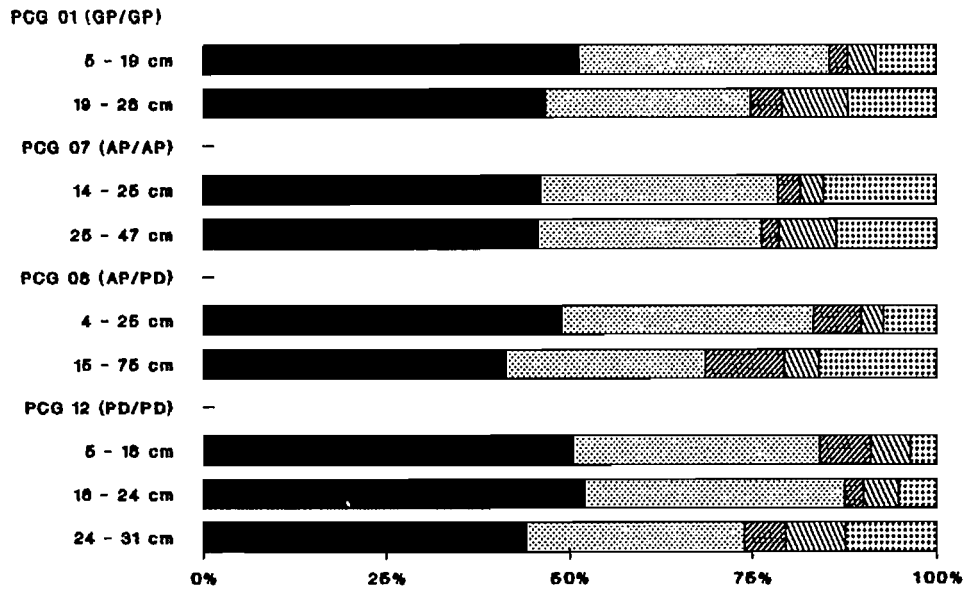


FIG. 4. — Distribution des volumes des différents constituants du sol pour divers systèmes culturaux (site 1, Goiânia).
Volume distribution of the different components of the soil under different cultural systems (site 1, Goiânia).

La figure 4 montre la distribution du volume de solides et de vides au site 1 (Goiânia). Les différences de volume des vides observées antérieurement sont ainsi présentées pour les différents intervalles de taille équivalente des pores en μm .

La principale preuve du compactage des couches observées, pour pratiquement tous les traitements, est une diminution significative du volume des macropores

(> 50 μm) et des micropores, principalement compris entre 3 et 9 μm et de 9 à 50 μm , responsables, respectivement, des mouvements de l'eau et de sa disponibilité. Le volume des pores en dessous de 3 μm (retenus au-dessus de 100 kPa) montre une variation sensiblement moindre. Ainsi, le tassement du sol provoque une diminution significative de la porosité entre (inter) et dans (intra) les agrégats polyédriques, confirmée par la porosimétrie au mercure.

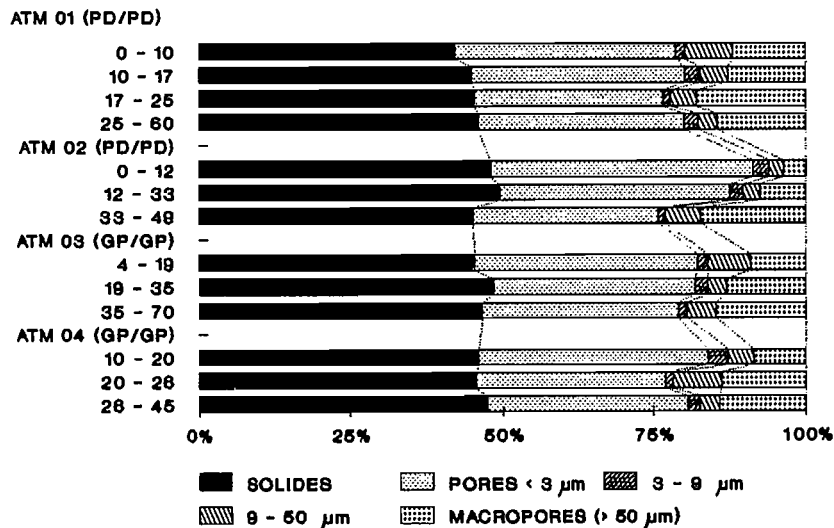


FIG. 5. — Distribution des volumes des différents constituants du sol pour divers systèmes culturaux (site 2, Montividiu).
Volume distribution of the different components of the soil under different cultural systems (site 2, Montividiu).

La figure 5 montre la même distribution pour le site 2 (Montividiu). Dans ce cas, l'effet majeur apparu non à cause du système cultural appliqué, mais de la culture, est confirmé par la différence significative de macroporosité ($> 50 \mu\text{m}$) existant entre les traitements ATM1 (PD, maïs) et ATM2 (PD, soja) et, en moindre proportion, entre ATM3 (système conventionnel, PC, maïs) et ATM4 (PC, soja). En comparant les traitements sous culture de maïs, il apparaît que le semis direct est celui qui offre la meilleure distribution des pores dans tous les horizons.

POROSIMÉTRIE AU MERCURE

Le spectre de porosité obtenu pour les horizons Ap2 (5-19 cm) et Bw (28-60 cm) du profil PCG1 (GP/GP) et l'horizon ABp (16-24 cm) du profil PCG12 (PD/PD) est présenté dans la figure 6 ; il montre une diminution du volume poral des horizons superficiels par rapport à l'horizon profond (Bw/PCG12).

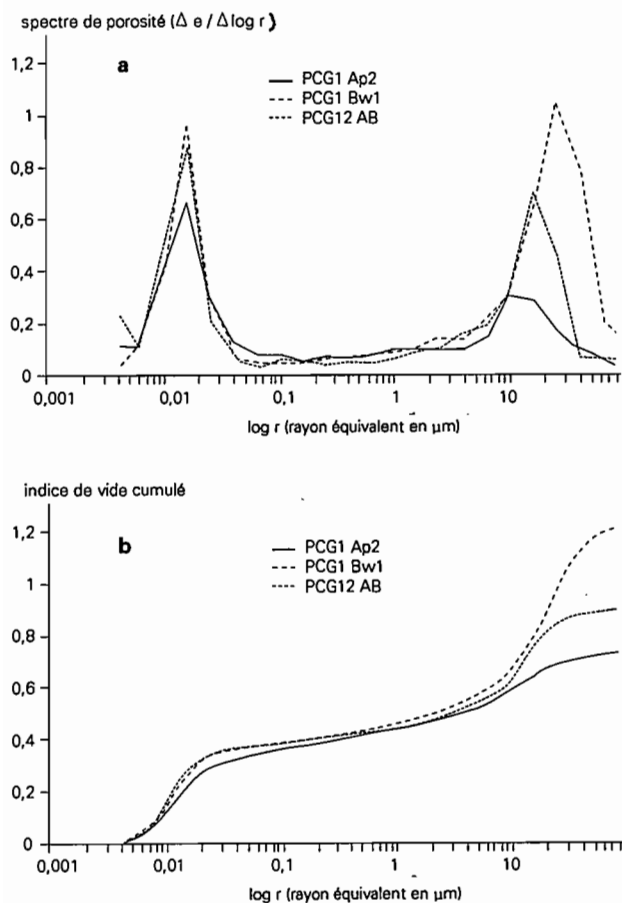


FIG. 6. — Courbes du spectre de porosité dérivé (a) et d'indice de vide cumulé (b) pour les horizons de deux traitements du site 1 (Goiânia).

Curves of the derivative porosity spectra (a) and accumulated void space index (b) for horizons of two treatments in site 1 (Goiânia).

Les courbes de distribution relative montrent une distribution bimodale de la porosité. En considérant les études morphologiques et les études antérieures réalisées dans des sols ferrallitiques (BRUAND, 1985, 1991 ; CHAUVEL *et al.*, 1991 ; KERTZMAN, 1989), il est possible de distinguer deux familles de pores : la première, dans l'intervalle de 0,006 à 0,03 μm , qui correspond aux pores situés dans les microagrégats (intra-microagrégats), et la seconde, constituée par les pores entre les microagrégats (inter-microagrégats) et intra-agrégats en considérant une macrostructure polyédrique subanguleuse. La porosité modale de cette seconde famille de pores varie avec l'horizon et le traitement étudiés, et est de 10 μm pour Ap2/PCG1, 20 μm pour ABp/PCG12 et 40 μm pour Bw/PCG1, en accord avec la structure de l'horizon. On observe une réduction significative du volume des pores de cette famille, quand on compare l'horizon profond (Bw) avec les horizons superficiels tassés, principalement pour Ap2/PCG1.

La réduction de la porosité dans l'intervalle étudié est visualisée dans la figure 6 b. Dans l'horizon ABp/PCG12, il y a une réduction de 25 % ($e_i = 0,91$) par rapport à l'horizon profond ($e_i = 1,22$), tandis que dans l'horizon Ap2/PCG12 la réduction est de 38 % ($e_i = 0,75$). Toutefois, dans le premier cas, la porosité déterminée dans l'intervalle 0,004 à 80 μm représente 99 % de la porosité totale obtenue par densimétrie, tandis que dans le second cas elle totalise 80 %, ce qui indique le volume de pores d'une troisième famille, de rayons équivalents supérieurs à 80 μm ; ce volume de pores, composés de cavités et de galeries, est plus important dans Ap2/PCG1, en accord avec la structure. Dans le cas de l'horizon profond (Bw/PCG1), la structure microagrégée très forte qu'il présente fait que plus de 95 % de la porosité totale est constituée par des pores de taille inférieure à 80 μm .

Stabilité des agrégats

Les résultats obtenus pour la distribution de la taille des agrégats après test de stabilité sont présentés dans les figures 7 (site 1, Goiânia) et 8 (site 2, Montividiu), pour les divers profils étudiés. On observe une forte stabilité des agrégats au-dessus de 2 mm, totalisant plus de 60 % dans tous les traitements. Dans le site 1, le traitement conventionnel (PCG₁, GP/GP) et le labour profond (PCG₇, AP/AP) montrent une stabilité moins forte dans tous les horizons, tandis que pour le semis direct (PCG₁₂, PD/PD) le profil présente la meilleure stabilité ; le même résultat étant observé avec le traitement mixte (PCG₈, AP/PD) qui montre une pulvérisation limitée aux horizons de surface (0-4 cm). Les résultats obtenus au site 1 sont à mettre en relation avec la qualité structurale du sol, la bonne teneur en matière organique et la forte activité biologique.

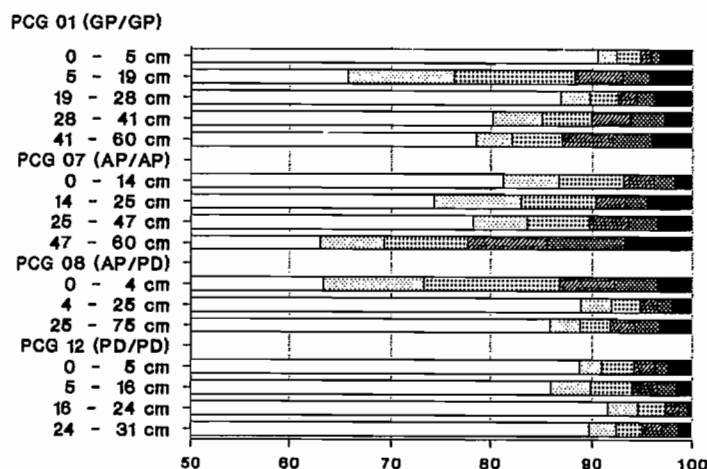


FIG. 7. — Distribution de la taille des agrégats stables dans l'eau. Site 1, Goiânia (PCG).
Water aggregate size distribution. Site 1, Goiânia (PCG).

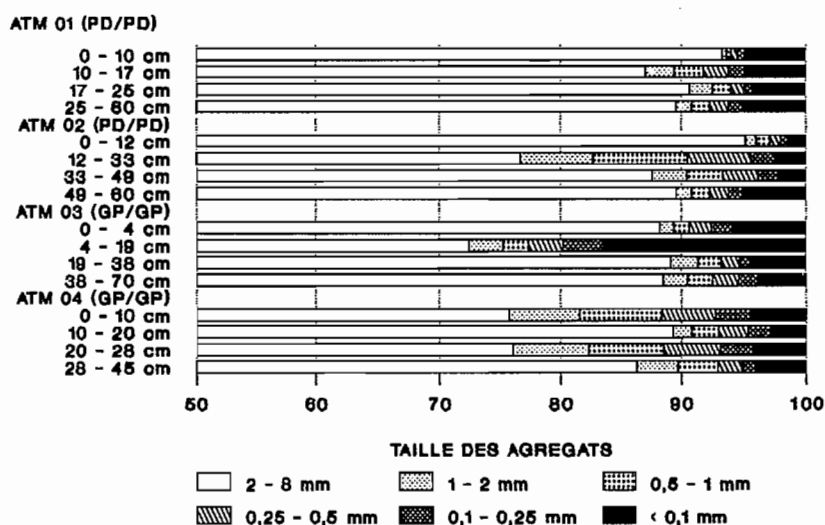


FIG. 8. — Distribution de la taille des agrégats stables dans l'eau. Site 2, Montividiu (ATM).
Water aggregate size distribution. Site 2, Montividiu (ATM).

Dans le site 2 (Montividiu), la distribution de la taille des agrégats stables montre une corrélation importante avec la distribution des volumes du sol (fig. 5) ; elle est un bon indicateur du tassement des couches, qui résulte des systèmes culturaux appliqués.

Caractérisation de la fertilité chimique du sol

Les caractéristiques chimiques présentées dans le tableau IV montrent une *augmentation de la fertilité du sol sous semis direct*, et ce pour les deux sites considérés (Goiânia, PCG, et Montividiu, ATM).

D'après Howler, cité par FLOR (1988), tous les traitements de PCG, principalement dans la couche explorée par les racines, présentent pour les paramètres de fertilité évalués, à l'exception de Ca et de Mg, des teneurs supérieures aux niveaux jugés critiques pour le haricot, plante considérée dans cette étude. Si on compare les traitements PCG01 (GP/GP) et PCG12 (PD/PD), on vérifie une augmentation de 46 %, 55 % et 17 % respectivement pour les éléments P, Ca et Mg, dans l'horizon Ap1 du profil sous semis direct, en plus de l'élimination totale de l'aluminium échangeable. La quantité de potassium dans le système conventionnel est toutefois de 59 % plus élevée que pour

TABLEAU IV
Caractéristiques chimiques des profils sous différents systèmes culturaux
Chemical characteristics of profiles under different cultural systems

Profil	Horiz.	Prof. (cm)	pH	Al (%)	P (ppm)	K	Ca ----- (méq/100 g) -----	Mg
PCG01	AP1	1-5	5,4	3,0	24	0,62	2,0	0,6
PCG01	AP2	5-19	4,9	26,2	9	0,31	0,9	0,2
PCG01	AB	19-28	4,9	21,2	1	0,12	0,8	0,2
PCG01	BA	28-41	5,0	16,9	1	0,08	0,9	
PCG01	Bw	41-60	5,4	0	1	0,04	0,9	0,1
PCG07	AP1	1-14	5,2	2,8	51	0,52	2,5	0,4
PCG07	AP2	14-25	5,2	8,7	14	0,24	1,6	0,3
PCG07	BA	25-47	5,2	6,4	1	0,15	1,1	0,2
PCG07	Bw	47-60	5,7	0	1	0,08	1,0	0,0
PCG08	AP1	1-4	5,2	8,9	20	0,34	1,5	0,2
PCG08	AP2	4-25	5,3	10,0	10	0,18	1,3	0,3
PCG08	BA	25-75	5,3	8,3	1	0,10	0,9	0,1
PCG12	AP1	1-5	5,7	0,0	35	0,39	3,1	0,7
PCG12	AP2	5-16	5,5	3,6	34	0,24	2,1	0,3
PCG12	BA	16-25	5,2	12,0	12	0,11	1,2	0,1
PCG12	Bw	25-60	4,8	30,9	1	0,07	0,6	
ATM01	AP	1-10	5,3	2,7	7	0,10	2,4	1,1
ATM01	AB	10-17	5,4	3,9	3	0,03	1,6	0,8
ATM01	BA	17-25	5,1	21,7	1	0,02	0,7	
ATM01	Bw	25-60	5,0	24,4	1	0,02	0,6	
ATM02	AP1	1-12	5,3	3,1	11	0,11	2,2	0,8
ATM02	ABp	12-33	5,3	13,0	1	0,04	0,7	0,6
ATM02	BA	33-49	5,0	24,4	1	0,02	0,6	
ATM03	AP1	1-4	4,7	19,4	5	0,06	1,0	0,6
ATM03	AP2	4-19	4,8	21,7	4	0,04	0,8	0,6
ATM03	BA	19-38	5,0	36,6	1	0,02	0,5	
ATM03	Bw	38-70	5,2	24,7	1	0,01	0,6	
ATM04	AP1	1-10	4,9	13,2	7	0,07	1,1	0,8
ATM04	AP2	10-20	4,9	19,6	3	0,03	0,6	0,6
ATM04	AB	20-28	5,0	43,0	1	0,03	0,5	
ATM04	BA	28-45	4,9	48,8	1	0,02	0,4	

le semis direct. L'analyse de l'horizon Ap2 de ces deux traitements montre des augmentations de 278 %, 133 % et 50 % respectivement pour P, Ca et Mg, et une réduction de 26,6 % à 3,6 % pour la saturation en aluminium, quand on passe du système conventionnel au semis direct, avec toutefois un contenu plus élevé (29 %) pour PCG01. Les valeurs les plus adéquates du pH se réfèrent au semis direct, si on considère les deux horizons Ap1 et Ap2, même si dans Ap1 de PCG01 ce paramètre se situe encore dans un intervalle favorable pour la culture. On observe, en plus, une tendance à l'augmentation de la saturation en aluminium et une réduction des teneurs en phosphore et en bases échangeables (Ca et Mg) avec la profondeur, avec des teneurs en phosphore au-dessus des niveaux critiques

dans le traitement par semis direct, et ce jusqu'à 25 cm, tandis que dans le système conventionnel, à partir de 19 cm, la teneur en cet élément est réduite à 1,0 mg/kg.

Les traitements du profil ATM présentent des limitations pour la majorité des constituants chimiques évalués. Dans le système conventionnel (maïs et soja), la distribution dans le profil du sol montre que la saturation en aluminium est un facteur limitant, et que les teneurs en nutriments (P, K, Ca, Mg) et le pH sont en dessous des teneurs critiques déterminées par la Commission de fertilité des sols du Goiás (1988). Les profils sous semis direct (ATM01 et ATM02), en revanche, présentent, principalement dans la couche supérieure, des valeurs favorables en ce qui concerne le pH et la saturation en aluminium.

Les effets positifs du semis direct sur le pH, la saturation en aluminium et le phosphore constatés dans ce travail sont d'une importance fondamentale pour la consolidation de ce système dans les cerrados, puisque ces paramètres sont considérés comme les facteurs les plus limitants du développement des cultures dans cette région.

Rendement agronomique et économique des cultures

L'effet des traitements appliqués dans le site 1 (Goiânia) est évalué en termes de productivité (fig. 9) et de gain (fig. 10) pour les cultures du haricot et du maïs durant les années 1990-1992.

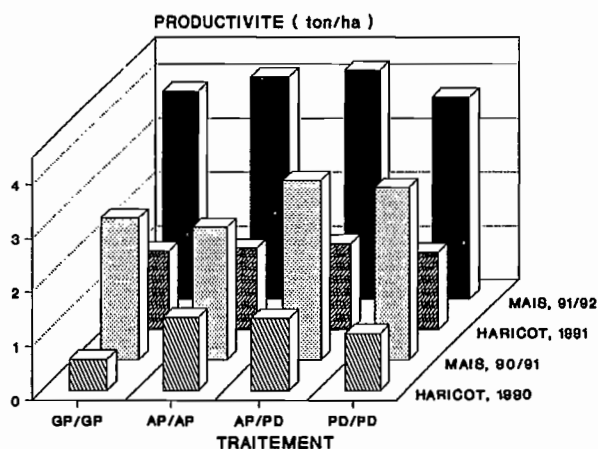


FIG. 9. — Productivité des cultures de haricot et de maïs pour divers traitements (site 1, Goiânia).

Bean and corn yields for different treatments (site 1, Goiânia).

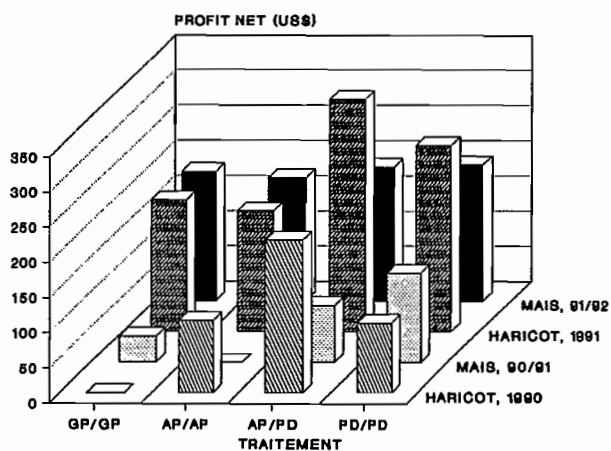


FIG. 10. — Profit net en dollars US des cultures de haricot et de maïs pour divers traitements (site 1, Goiânia).

Bean and corn net profit for different treatments (site 1, Goiânia).

En termes de productivité (t/ha/an), les traitements PCG7 (AP/AP) et PCG8 (AP/PD) présentent les meilleures performances, suivis par PCG12 (PD/PD). En termes de gain, calculé à partir des coûts de la main-d'œuvre, de produits variés et de l'irrigation, pour le haricot, les traitements PCG8 et PCG12 montrent les meilleurs résultats, avec un profit de 520 et 460 dollars US par hectare et par an, respectivement.

L'amélioration de l'état structural du sol et de la plupart des caractéristiques chimiques, qui favorisent l'obtention de meilleurs rendements, associée au coût moindre de la production, pourrait rendre viable l'utilisation du semis direct en tant que pratique alternative pour une agriculture intensive et une production soutenue dans les cerrados du Brésil central.

CONCLUSION

Cette étude a été réalisée sur les sols ferrallitiques caractéristiques de la région des cerrados (de l'État du Goiás en particulier), développés sur les couvertures détritico-latéritiques, rouges, argileuses, du quaternaire.

Ces sols présentent, dans les conditions de végétation naturelle, une structure microagrégée bien organisée qui engendre une porosité très importante, tant en surface qu'en profondeur, sur un profil profond.

Lorsqu'ils sont soumis à une exploitation agricole intensive avec utilisation d'outils agricoles inadéquats, en particulier les pulvérisateurs autoporteurs à disques lourds (*grade pesada*), ces sols souffrent d'une pulvérisation excessive des couches superficielles qui conduit à un tassement des horizons de moyenne profondeur, lequel tend à augmenter leur susceptibilité à l'érosion et leur encroûtement superficiel.

L'étude de plusieurs systèmes de préparation du sol avec la méthode d'analyse morphostructurale met en évidence les points suivants : une tendance au tassement des horizons subsuperficiels ; l'influence assez nette des traitements antérieurs ; une activité biologique particulièrement forte sous semis direct, plus particulièrement mise en évidence dans le site 2 (Montividiu) ; une humidité relativement plus forte de tous les horizons des profils sous semis direct.

L'analyse micromorphologique du profil de référence montre que l'unité d'assemblage élémentaire est le microagrégat et que la taille et la forme des pores sont conditionnées par le type d'organisation de ces agrégats. Elle montre également que les chenaux/cavités sont beaucoup mieux représentés dans les horizons qui ne sont pas soumis à l'influence des outils agricoles.

Cette même analyse micromorphologique appliquée aux différents traitements culturels fait apparaître un net tassement des horizons subsuperficiels des sols soumis au traitement GP/GP, tandis que dans le traitement PD/PD,

bien que présentant un certain tassement localisé, l'existence d'une très forte activité biologique est responsable d'une macroporosité importante dans ces horizons.

La densimétrie et la distribution de la taille des pores, déterminée de manière globale par la rétention de l'eau dans le sol, et de manière particulière par l'intrusion du mercure, permettent la quantification des différents types de pores et de leur évolution :

— la porosité interne des microagrégats est constante dans les profils et n'est pas modifiée par les traitements culturaux ;

— la porosité d'assemblage des microagrégats, qui est également importante en profondeur, est affectée par le tassement des horizons superficiels (particulièrement en Ap2) ; on observe une diminution des pores ; *cette variation est fonction du système cultural adopté* ;

— la porosité d'ordre biologique, grossière, composée de chenaux/cavités et de gros pores tubulaires, notable en profondeur, apparaît globalement réduite dans les horizons subsuperficiels (quel que soit le traitement mais bien moindre avec le semis direct) ; elle est parfois totalement éliminée par le tassement.

La distribution de ces types de pores dans les horizons est fonction de leur structure et de leur sous-structure.

Le compactage et le tassement produits par les traitements culturaux, particulièrement ceux relatifs aux systèmes conventionnels (GP) avec utilisation de pulvérisateurs autoporteurs à disques lourds, affectent les propriétés physico-hydriques des horizons superficiels du sol. La réserve en eau du sol est réduite, l'eau restante est confinée dans les pores de taille très fine.

Ces modifications mettent en évidence la résistance et la stabilité des microagrégats, mais rendent également compte de la fragilité de la structure globale du sol. Le travail intensif du sol avec des outils agricoles inappropriés provoque une pulvérisation excessive des couches superficielles et, lorsqu'il est associé à une utilisation non rationnelle de l'irrigation, conduit à des risques importants de dégradation de l'environnement, en plus de la chute des rendements des cultures. Le semis direct, en ce sens, montre une série d'avantages, confirmés dans tous les traitements considérés dans cette étude, notamment quand on le compare avec le système conventionnel (GP).

L'augmentation de la densité du sol et la conséquente diminution de la porosité interagrégat observées dans les traitements sous semis direct, confirmées par SÉGUY *et al.* (1984), montrent la nécessité d'une période de transition entre le traitement conventionnel (GP) et le système alternatif (PD), transition qui inclut une préparation du sol en profondeur, afin de diminuer le tassement des horizons subsuperficiels par un labour ou une scarification jusqu'à 30 cm de profondeur environ. Cette préparation profonde doit être complétée par une correction chimique du sol (chaulage et phosphatage), et par l'introduction d'espèces végétales à haut rapport C/N, comme les engrais verts, en succession avec la culture principale de maïs ou de riz, qui vise à l'augmentation des taux de matière organique et de l'activité biologique du sol, ainsi qu'à la formation d'un mulch pour le semis direct (FREITAS et BLANCA-NEAUX, 1991).

Cette transition a enfin pour objectif la réalisation de systèmes agroécologiques intégrés incluant la rotation et la succession des cultures, la gestion rationnelle du sol ainsi que celle des différentes pratiques de contrôle des maladies et insectes, la fertilisation par engrais verts, entre autres (FREITAS *et al.*, 1992).

En plus de tous les avantages relatifs au semis direct vérifiés dans cette étude, nous signalons, avec divers auteurs, la tolérance au *verânico* et les risques moindres des cultures vis-à-vis des variations climatiques, un intervalle de temps plus grand pour la préparation du sol, une fluctuation moindre de la température du sol, une meilleure rentabilité du fait du niveau inférieur des dépenses (engrais, agrototoxiques, etc.), un contrôle accru de l'érosion qui favorise globalement un meilleur équilibre écologique et une meilleure protection de l'environnement.

Les conclusions agronomiques ont été obtenues sur deux cycles culturaux. Pour être tout à fait objectif, et sans rien enlever des qualités reconnues ici au semis direct, il conviendrait de confirmer ces résultats sur des périodes qui soient suffisamment longues pour porter un jugement définitif sur toutes les catégories de plantes cultivées et sur le contrôle de tous les effets d'une utilisation abondante d'herbicides et de pesticides sur le sol, le sous-sol et les produits végétaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMOLI (J.), MACEDO (J.), AZEVEDO (L.), MADEIRA NETTO (J. S.), 1986 — « Caracterização da região dos cerrados ». In : Goedert (W. J.), éd. : *Solos dos cerrados : Tecnologias e estratégias de manejo*, Brasília, Embrapa/CPAC : 33-74.
- AMABILE (R. F.), RESCK (D. V. S.), 1990 a — *Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo na produção de soja e milho em*

um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. I. Comparação de dois métodos de avaliação de raízes. Planaltina, Embrapa/CPAC, 3 p.

- AMABILE (R. F.), RESCK (D. V. S.), 1990 b — *Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo na produção de soja e milho em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. II. Produção*

- em grãos e dados fenológicos. Planaltina, Embrapa/CPAC, 3 p.
- ARDENGI (A. F.), 1989 — *Efeito de métodos de preparo do solo e controle de plantas daninhas sobre propriedades físicas e químicas de um Latossolo Roxo Eutrófico, cultivado com milho durante 10 anos*. Tese de Mestrado, Viçosa, UFV, Impr. Univ., 68 p.
- Bioma Cerrado, 1991 — *Subsídios para estudos e ações*. Goiânia, Universidade Católica de Goiás, Instituto do Tropicó subúmido, 16 p. (Documento elaborado pelo Fórum das ONGs Goianas para o Meio Ambiente).
- BLANCANEUX (P.), FREITAS (P. L. DE), AMABILE (R. F.), 1991 a — « Sistematização e adaptação da metodologia para caracterização do perfil cultural ». In : *Reunião técnica sobre a metodologia do perfil cultural*, Londrina, PR Brasil, 4-8/2/1991, Goiânia, Embrapa/SNLCS, 27 p., *multigr.*
- BLANCANEUX (P.), KER (J. C.), CHAGAS (S. C. DA), CARVALHO FILHO (A. DE), AMABILE (R. F.), FREITAS (P. L. DE), CARVALHO Jr (W. DE), MOTTA (P. E. DA), COSTA (L. D. DA), PEREIRA (N. R.), 1991 b — « Interações ambientais na microbacia piloto de Goiás (Morrinhos). III. Organização e funcionamento da cobertura pedológica ». In : *Congr. Bras. Ciência do Solo*, 23, Porto Alegre (RS), 21-27/7/1991, Goiânia, Orstom/Embrapa-SNLCS, Resumo 380.
- BRANDAO (M.), 1991 — Considerações sobre a formação do cerrado. *Informe Agropecuario, Belo Horizonte*, 15 (168) : 5-7.
- BRASIL (A. E.), 1983 — *Projeto Radambrasil. Folha SE 22 Goiânia. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, Levantamento de Recursos Naturais, 31, 768 p.
- BRASIL (A. E.), ALVARENGA (S. M.), 1989 — « Relevo ». In : *Geografia do Brasil*, Rio de Janeiro, v. 1 : *Região Centro-Oeste* : 53-72.
- BREWER (R.), 1964 — *Fabric and mineral analysis of soils*. New York, John Wiley, 470 p.
- BRUAND (A.), 1985 — *Contribution à l'étude de la dynamique de l'organisation des matériaux gonflants. Application à un matériau provenant d'un sol argilo-limoneux de l'Auxerrois*. Thèse 3^e cycle, univ. Paris-VII, 225 p.
- BRUAND (A.), 1991 — « Characterization of the groundmass porosity, water retention and shrinkage properties : Partial results and first analysis ». In : *First year report of the EEC Project : Improvement of productivity of Crusting Soils and Depleted Sandy Soils in Zimbabwe areas under intensive cropping*, Orléans, Inra, Ardon, SESCOF, 31 p., *multigr.*
- BULLOCK (P.), FEDOROFF (N.), STOOPS (G.), TURSINA (T.), BABEL (U.), 1985 — *Handbook for Soil Thin Section Description*. Wolverhampton, Waine Research Publ.
- CARVALHO (S. R. DE), 1990 — *Tassement des sols ferrallitiques mis en culture. Apport d'une analyse compartimentale de l'espace poral de sols « Podzolicos »*. État de Rio de Janeiro, Brésil. Thèse doct., Inra/SESCPF.
- CENTURION (J. F.), DEMATÉ (J. L. I.), 1992 — Sistemas de preparo de solos de cerrado : efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19 (7) : 315-324.
- CHAUVEL (A.), GRIMALDI (M.), TESSIER (D.), 1991 — Changes in soil pore-space distributions following deforestation and revegetation : An example from the Central Amazon Basin, Brazil. *Forest Ecol. and Management*, 38 : 259-271.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.), TESSIER (D.), 1976 — Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaoliniques. Études expérimentales. *Science du sol*, 2 : 101-113.
- COCHRANE (T. T.), PORRAS (J. A.), HENAO (M. DEL R.), 1988 — « The relative tendency of the cerrados to be affected by verânicos : a provisional assessment ». In : *Simpósio sobre o Cerrado : Savanas, alimento e energia*, 6, Brasília, 1982, Planaltina, Embrapa-CPAC : 229-242.
- Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás, 1988 — *Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás. 5^a Aproximação*. Goiânia, UFG/Emgopa, Informativo Técnico, 1, 101 p.
- CRUZ (V. B.), SOUZA (S. M. T. DE), NUNES (G. S. S.), 1979 — « Recursos hídricos para a agricultura dos cerrados ». In : *Simpósio sobre o Cerrado : Uso e manejo*, 5, Brasília, 1979, Planaltina, Embrapa-CPAC : 232-260.
- DEDECEK (R. A.), RESCK (D.V.S.), FREITAS Jr (E. DE), 1986 — Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10 (3) : 265-272.
- EL SWAIFY (S. A.), 1980 — « Physical and mechanical properties of oxisols ». In Theng (B. K. G.), éd. : *Soil with variable charge*, New Zealand Society of Soil Science, 448 p.
- EMBRAPA/SNLCS (Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos), 1979 — *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro.
- EMBRAPA/SNLCS (Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos), 1981 — *Mapa de Solo do Brasil*. Rio de Janeiro.
- FLOR (C. A.), 1988 — *Revision de algunos criterios sobre el problema de la recomendación de fertilizantes en frijol*. Cali, CIAT, 29 p.
- FREITAS (P. L. DE), 1988 — *Effects of soil structure on root growth and function*. PhD Thesis, Cornell Univ., Ithaca, 213 p.
- FREITAS (P. L. DE), BLANCANEUX (P.), 1991 — Condição estrutural do solo para o plantio direto. *Informativo AEAGO*, 1 (1).
- FREITAS (P. L. DE), BLANCANEUX (P.), 1994 — « Metodologia de pesquisa em manejo do solo : Estrutura e Porosidade do Solo ». In Puigneau (J.), éd. : *Metodologias para investigación en manejo de suelos*, Montevideo, IICA-Procisur. *Diálogo*, 39 : 25-42.
- FREITAS (P. L. DE), BLANCANEUX (P.), AMABILE (R. F.), 1992 — Sistemas agroecológicos integrados. *Informativo AEAGO*, 1 (3).
- GAUTRONNEAU (Y.), MANICHON (H.), 1987 — *Guide méthodique du profil cultural*. Paris, Gera et Ceret, 71 p.
- GOEDERT (W. J.), 1989 — Região dos Cerrados : Potencial agrícola e seu política para desenvolvimento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 24 (1) : 1-17.
- GOEDERT (W. J.), LOBATO (E.), 1986 — « Agro-economic considerations of modern agriculture on Oxisols ». Trabalho

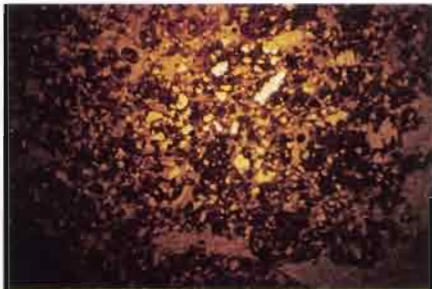
- apresentado no VIII International Soil Classification Workshop, Brasília.
- GOEDERT (W. J.), LOBATO (E.), WAGNER (E.), 1980 — Potential agrícola da região dos Cerrados Brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 15 (1) : 1-17.
- HARROLD (L. L.), 1984 — « Efeito de sistemas de preparo reduzido do solo sobre a erosão causada pelas águas ». In : *Plantio Direto no Brasil*, Campinas, Fundação Cargill : 93-107.
- KEMPER (W. D.), 1965 — « Aggregate stability ». In Klute (A. K.), éd. : *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Madison, ASA/SSSA, Agronomy, 9 : 511-519.
- KER (J. C.), PEREIRA (N. R.), CARVALHO Jr (W. C.), CARVALHO FILHO (A. DE), 1992 — « Cerrado : Solos, Aptidão e potencialidade agrícola ». In : *Simposio sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado*, Campinas, Fundação Cargill : 1-31.
- KERTZMAN (F. F.), 1989 — *Modification de la structure et des propriétés physiques des couches superficielles d'un « Latossolo Roxo » (Guaira, São Paulo, Brésil) soumis à une irrigation par aspersion*. DEA, pédologie, univ. Pierre et Marie Curie, univ. Nancy-1, univ. Franche-Comté, Inra, Ensa, 48 p., multigr.
- LUCHIARI Jr (A.), RESENDE (M.), RITCHEY (P. I. M. DE), 1986 — « Manejo do solo e aproveitamento de água ». In Goedert (W. J.), éd. : *Solos dos cerrados : Tecnologias e estratégias de manejo*, Brasília, Embrapa/CPAC : 285-322.
- MALAVOLTA (E.), KLIEMANN (H. J.), 1985 — *Desordens nutricionais no Cerrado*. Piracicaba, Potafos, 136 p.
- REZENDE (C.), SILVA (L. T. C.), FREITAS (P. L. DE), BLANCANEUX (P.), AMABILE (R. F.), 1992 — « Efeito do preparo do solo na resposta da cultura do feijão a disponibilidade de água ». In : *IX Reun. Bras. Manejo e Conserv. Solo e Água*, CNPq, Embrapa/SNLCS, CRCO e Orstom, Jaboticabal, 12-18 juillet 1992.
- SÉGUY (L.), 1987 — *Influência agro-econômica de diversos métodos de preparo do solo sobre varias culturas em sistemas de rotação*. Goiânia, Embrapa/CNPq, Projeto de pesquisa, 31 p.
- SÉGUY (L.), KLUTHCOUSKI (J.), SILVA (J. G. DA), BLUMENSCHNEIDER (F. N.), 1984 — *Técnica de preparo do solo, efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água*. Goiânia, Embrapa/CNPq, Circular Técnica, 17, 26 p.
- SIDIRAS (N.), VIEIRA (S. R.), ROTH (C. H.), 1984 — Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo Distrófico sob plantio direto e plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 8 : 265-268.
- SILVA (L. T. DA), FREITAS (P. L. DE), BLANCANEUX (P.), RAFAEL (F. J.), RIBEIRO Jr (W. Q.), CORREA (J. R.), JORGE (H. D.), 1991 — « Efeito da disponibilidade de água e preparo do solo na cultura do feijão ». In : *Congr. Bras. Ciência do Solo*, 23, Embrapa/SNLCS, Orstom, CNPq, Emgopa, Porto Alegre, 21-27/7/1991, Resumo 166.
- SORRENSEN (W. J.), MONTOYA (L. J.), 1989 — *Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas do Parana*. Londrina, IAPAR, Bol. Tec., 21, 104 p.
- STONER (E. R.), FREITAS Jr (E. DE), MACEDO (J.), MENDES (R. C. A.), CARDOSO (I. M.), AMABILE (R. F.), BRYANT (R. B.), LATHWELL (D. J.), 1991 — Physical constraints to root growth in savana oxisols. *Trop. Soils Bull.*, 91 (1) : 1-28.
- TESSIER (D.), 1984. — *Étude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation*. Thèse, univ. Paris-VII, 360 p.
- VIEIRA (M. J.), MUZILLI (O.), 1984 — Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19 (7) : 873-882.
- VIEIRA (M. J.), 1985 — « Comportamento físico de solo em plantio direto ». In : *Atualização em plantio direto*, Campinas, Fundação Cargill : 163-179.

Le semis direct comme pratique de conservation des sols des cerrados du Brésil central : 253-275

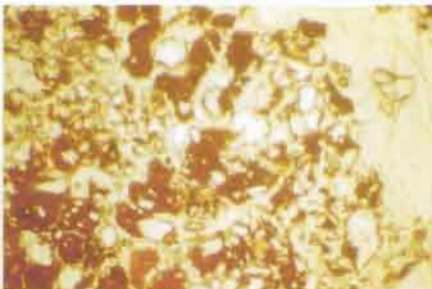
Photographies au microscope optique, en lumière naturelle, de différents horizons correspondant à divers systèmes culturaux des sols ferrallitiques



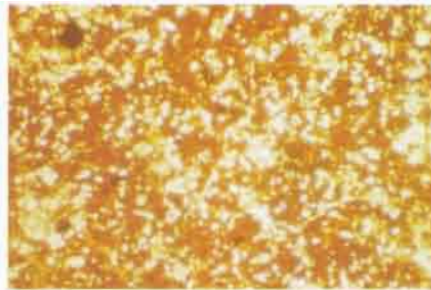
Horizon B_w (138-184 cm) - LSG₀ - Goiânia. Profil de référence, sous jachère ; observation de l'organisation en agrégats subarrondis.



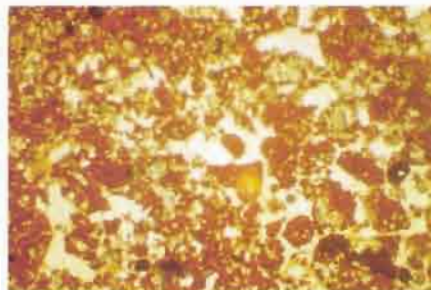
Horizon A_p (9-21 cm) - LSG₀ - Goiânia. Observation de la phase plasmique relativement plus dense que B_w.



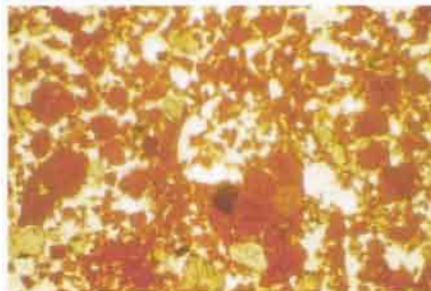
Horizon AB (16-28 cm) - T_{2.4} - Morrinhos. Profil sous végétation naturelle de cerrados ; organisation en microagrégats nettement arrondis.



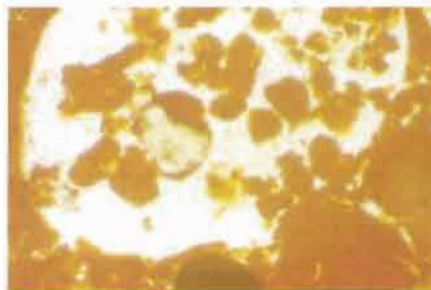
Horizon A_{p2}/A_{Bp} (6-19 cm) PCG₀₁. Système : 1-GP/GP. Transition entre A_{p2} compacté et A_{Bp} moins tassé.



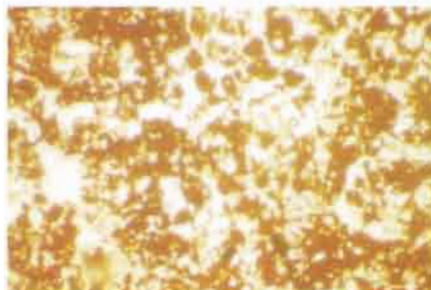
Horizon A_{Bp} (4-25 cm) PCG₀₈. Système : 3-AP/PD. Matériel relativement poreux ; structure microagrégée dense due à l'origine du mélange mécanique à forte activité biologique.



Horizon A_{Bp} (16-24 cm) PCG₁₂. Système : 4-PD/PD. Phase plasmique avec différentes organisations : microagrégats accolés, d'une part, et subarrondis libres, d'autre part, d'où les variations de porosité locale.



Horizon A_{Bp} (16-24 cm) PCG₁₂. Système : 4-PD/PD. Agrandissement de la photo précédente, avec macroporosité tubulaire (activité biologique).



Horizon B_w (31-60 cm) PCG₁₂. Système : 4-PD/PD. Squelette identique ; phase plasmique avec microagrégats plus petits, plus arrondis et moins tassés.



Outil pour la préparation du sol : pulvérisateur à disque lourd, châssis autoporteur.



Charrue à disques.

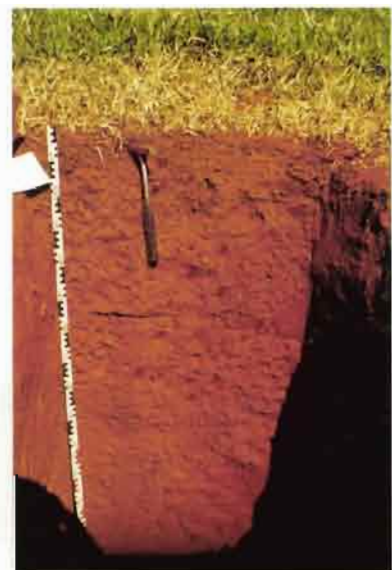


Charrue à socs.



Semeuse adaptée pour semis direct.

Aspects de relief et de végétation des cerrados.



LSG₀ - Goiânia. Profil de sol ferrallitique « rouge » typique (*Latossolo Vermelho-Escuro*) des cerrados.