

APPROCHE METHODOLOGIQUE UTILISEE POUR LES RECHERCHES
AGROPEDOLOGIQUES DANS LES CERRADOS DU BRESIL CENTRAL ET
PREMIERS RESULTATS

Philippe BLANCANEUX*, Pedro Luiz de FREITAS, Armanda Moreira de
CARVALHO et Joao Roberto CORREIA

OBJECTIF : Les programmes de recherches entrepris en coopération entre l'ORSTOM et l'EMBRAPA/CNPS-CRCC dans les cerrados du Brésil central sont étroitement liés aux systèmes culturaux actuels et sont orientés vers une meilleure caractérisation des propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols.

L'objectif est de proposer des pratiques culturales alternatives comme solutions de conservation visant à la maintenance 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 qui est l'un des facteurs de la compaction du sol auquel on assiste depuis quelques années .

MATERIEL ET METHODES

1 - Stratégie d'action

L'étude de systèmes alternatifs, incluant le Semis Direct, est réalisée dans le centre-ouest du Brésil en divers sites expérimentaux de l'état du Goiás : Goiânia (station du CNPS/EMGOPA), Rio verde, Jataí, Morrinhos (station de l'EMGOPA et Bassin versant), ainsi que dans diverses propriétés rurales directement avec les agriculteurs.

Les expérimentations installées parfois depuis 1970 visent à l'observation et à la comparaison des successions de cultures et de préparation du sol, considérées comme conventionnelles et alternatives, sous conditions d'irrigation (Pivot central) ou non.

Les systèmes de préparation du sol retenus sont ceux qui sont le plus largement utilisés dans la région à savoir : a) Pulvérisation par utilisation de pulvérisateur à disques autoporteur lourd ("Grade pesada"), suivi de deux pulvérisations légères (système conventionnel le plus largement utilisé actuellement); b) labour profond avec passage successif de charrue à disques, charrue à socs, suivi d'un nivellement; c) Semis Direct sur les restes de la culture antérieure avec une semeuse spécialement adaptée.

Parmi les cultures suivies on retiendra : le maïs (été, chaud et pluvieux) et le haricot (hiver, froid et sec). Mais le semis direct est également étudié dans des aires de cultures variées (engrais verts) ainsi qu'après pâturages à Brachiaria ruzinensis, Panicum maximum ou cajanus cajan.

Les successions de ces systèmes sont testées en parcelles de 40 X 15 mètres, sur des sols ferrallitiques faiblement ou non désaturés en B rouges, argileux (Latossolo Roxo),

* EMBRAPA, GOIANIA, BRESIL.

développés sur basaltes ou sur des sols ferrallitiques fortement désaturés en B rouges ou jaune-rougeâtres, argileux (latossolos vermelho-escuro ou vermelho-amarelo) développés sur les couvertures détrito-latéritiques argileuses rouges du tertiaire et du quaternaire.

2 - Méthodologie

2.1 - Systématisation et adaptation de la méthodologie du Profil Cultural . Organisation macroscopique.

La méthodologie utilisée se base sur une adaptation du "Guide Méthodique du Profil Cultural" de Gautronneau et Manichon, 1987. Notre méthodologie se fonde sur une caractérisation morphologique (analyse structurale) des différents volumes pédologiques reconnus au cours de l'examen des profils, tant verticalement que latéralement, mais elle s'appuie également sur un certain nombre de déterminations analytiques et de mesures effectuées tant in situ, qu'au laboratoire, Blancaneaux et al, 1991.

Les différents paramètres utilisés pour la description des profils pédologiques anthropisés sont résumés dans le tableau annexé.

Pour chaque site considéré, un profil de référence, sous végétation naturelle, situé à proximité des parcelles étudiées, est systématiquement caractérisé.

L'objectif de la description est la caractérisation morphostructurale et physico-hydrrique du sol, ainsi que ses relations avec la couverture végétale et les opérations culturales. La description doit inclure principalement les observations sur l'état structural, la consistance, la porosité, en plus du développement et de l'orientation des racines. L'ensemble des résultats obtenus, confirmés par les mesures diverses effectuées sur le terrain en fonction des variations des états structuraux (pénétrométries verticale et horizontale, tests d'infiltration etc..), doivent permettre la compréhension des diverses interventions agricoles antérieures à la description des profils, ainsi que le rôle des cultures antérieures. Elle permet entre autre d'établir les relations entre l'état structural et le développement racinaire.

2.2 - Organisation microscopique

La caractérisation microscopique est réalisée par 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 remaniés prélevés en fonction de l'analyse morphostructurale.

2.3 - 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. A cette fin, sont déterminées les densités, apparente et de solide, et la rétention en eau à différentes pressions, ainsi que le spectre poral par porosimétrie à mercure.

23.1 - Densimétrie et porosité

Les déterminations sont réalisées sur des échantillons non remaniés, prélevés verticalement dans les horizons diagnostiqués, avec des cylindres volumétriques de 100cm³. Après saturation, les échantillons sont soumis à des pressions de 6, 33 et 100KPa. Après équilibre de chaque pression, la teneur en eau des échantillons est mesurée par gravimétrie et les échantillons 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 24h. La densité de solides et de vides est déterminée dans des ballons volumétriques 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 déterminées les pourcentages de micropores dans les intervalles de 50-9µm, 9-3µm et <3µm, qui composent la microporosité (Freitas,1988) et >50µm ou macroporosité, exprimés en pourcentage du volume total de l'échantillon.

23.2 - Porosimétrie à mercure

L'étude du système poral par intrusion de mercure dans de petits échantillons de 2 à 4cm³, séchés à l'étuve, permet d'étudier la distribution de la taille des pores, en fonction du rayon équivalent, dans les intervalles de 0,004 à 80µm (Bruand, 1985, 1991). Les déterminations jusqu'à fin 1993 ont été réalisées au laboratoire ORSTOM de Cayenne; elles le seront dorénavant soit à Versailles (M.Grimaldi), soit à Orléans (A.Bruand). Les résultats sont exprimés par l'indice des vides v_e et du "spectre de vide", calculé sur la base de l'indice des vides et du logarithme du rayon équivalent (Tessier, 1984).

23.3 - Rétractométrie

Cette nouvelle méthode de caractérisation des propriétés physiques du sol (Braudeau,1987) nous permet également d'étudier différents aspects des propriétés de sa structure (porosité, réserves en eau, gonflement-retrait..). La méthodologie qui lui est liée permet une approche quantitative et standardisée de cette structure. Celle ci évolue du fait de nombreux facteurs naturels et anthropiques. Il nous est possible de suivre les modifications et transformations apportées par les changements du fait des conditions climatiques, chimiques ou agronomiques, que celles-ci soient simulées ou naturelles. Les échantillons non remaniés prélevés au Brésil sont acheminés au laboratoire d'hydrophysique de

Bondy où sont effectuées les différentes déterminations analytiques (G. Bellier).

2.4 - Stabilité d'agrégats

La détermination de la stabilité des agrégats permet l'étude 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 grand.

La détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau suit la méthodologie présentée par Freitas et Blancaneaux, 1990, Freitas et al 1991, 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 8mm sont soumis à une humidification par "brumisation" et tamisés dans l'eau grâce à un jeu de tamis de taille variant de 2 à 0,053mm d'ouverture.

2.5 - Caractéristique chimique (Fertilité)

Parallèlement aux déterminations précédentes un certain nombre de déterminations analytiques visant à suivre l'évolution de la fertilité chimique des sols sous différentes conditions d'utilisation et de préparation sont faites. C'est ainsi que sont déterminés :

- carbone organique : méthode volumétrique par le bichromate de potassium et titrage au sulfate ferreux (EMBRAPA/CNPS, 1979).
- Matière organique : à partir du carbone (M.O% = C X 1,724)
- caractérisation des différentes fractions organiques : C.Feller et équipe du LCSC de Montpellier à partir de 1994.
- N total par distillation Kjeldahl
- pH eau par potentiométrie
- H + Al (acidité échangeable) par la 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.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ces études sont réalisées sur les sols ferrallitiques caractéristiques de la région des cerrados du Brésil central, en particulier dans l'état du Goiás. Dans les conditions de végétation naturelle, ces sols présentent une structure microagrégée bien organisée qui engendre une porosité importante tant en surface qu'en profondeur, sur un profil généralement épais.

Lorsqu'ils soumis à une exploitation intensive, quelque soit le système utilisé, mais surtout quand ils le sont avec des outils agricoles inadéquats, en particulier les

pulvérisateurs autoporteurs à disques lourds ("grade pesada"), ces sols souffrent une pulvérisation excessive des couches superficielles qui conduit à un tassement des horizons de moyenne profondeur, ce qui augmente la susceptibilité à l'érosion et leur encroûtement superficiel.

L'étude comparative de plusieurs systèmes de préparation du sol avec la méthodologie proposée montre : a) une tendance au tassement des horizons subsuperficiels quelque soit les traitements effectués mais surtout remarquables dans les traitements par charrues à disques; b) une activité biologique nettement plus forte sous semis direct; c) une humidité relativement plus forte de tous les horizons des profils sous semis direct

L'analyse micromorphologique des profils de références 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 culturaux montre un tassement très net des horizons sub-superficiels des sols soumis au traitement par charrue à disques lourds ou pulvérisateurs lourds autoporteurs. Les traitements par semis direct, bien que présentant un certain tassement localisé, révèle l'existence d'une forte activité biologique responsable d'une macroporosité non négligeable dans ces mêmes horizons.

La densimétrie et la distribution de la taille des pores, déterminées 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 leur évolution :

- la porosité interne des microagrégats est constante dans les profils et n'apparaît 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; on observe une diminution des pores. *Cette variation est fonction du système cultural utilisé.*

- 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 (quelque soit le traitement); 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 produit par les traitements culturaux, particulièrement ceux relatifs aux systèmes conventionnels avec utilisation de pulvérisateurs autoporteurs à disques lourds, affectent les propriétés physico-hydrauliques des

horizons superficiels du sol. La réserve en eau du sol est réduite, l'eau restante est confinée dans les pores de tailles très fines.

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 avec des outils agricoles inappropriés, provoque une pulvérisation excessive des couches superficielles du sol, et lorsqu'il est associé à une irrigation mal contrôlée, conduit à des risques importants de dégradation de l'environnement, en plus des chutes de rendements des cultures. Le Semis Direct, en ce sens, montre une série d'avantages, confirmés dans tous les traitements considérés dans nos études, notamment quand on le compare avec le système conventionnel.

Néanmoins l'augmentation de la densité du sol, et la conséquente diminution de la porosité interagrégat observées dans les traitements sous Semis Direct montrent la nécessité d'une période de transition entre le traitement conventionnel et le système alternatif (Semis Direct). Cette transition inclut la préparation du sol en profondeur, afin de diminuer le tassement des horizons sub-superficiels par un labour ou une scarification jusqu'à 30cm de profondeur environ. Cette préparation profonde doit être complétée par une correction chimique du sol (chaufage et phosphatage), et par l'introduction d'espèces végétales à haut rapport C/N, comme les engrais verts, en succession avec la culture principale, visant à l'augmentation des taux en matière organique et de l'activité biologique du sol, ainsi qu'à la formation d'un mulch pour le Semis Direct. Nous menons actuellement à la station de Goiânia des essais d'introduction d'engrais verts compte-tenu des spécificités climatiques du cerrado du Goiás et évaluons les divers effets de ces derniers tant sur les propriétés physiques que chimiques des sols.

Les conclusions agronomiques que nous présentons dans l'article intitulé : Le "Semis Direct" comme pratique de conservation des sols des "cerrados" du Brésil central. Ph. Blancaneaux, P.L de Freitas, R.F. Amabile et A.M de Carvalho., Cah. ORSTOM, Sér. Pedol., Spécial Erosion, 1993, à paraître, ont été obtenus sur deux cycles culturaux. Pour être tout à fait objectif, et sans rien diminuer aux qualités reconnues pour le Semis Direct, il convient de confirmer ces résultats sur des périodes suffisamment longues pour porter un jugement définitif, pour toutes les catégories de plante cultivée et pour le contrôle de tous les effets pouvant résulter d'une utilisation abondante d'herbicides et de pesticides, au niveau du sol, sous-sol et produits végétaux.

Toutefois parmi les avantages relatifs au Semis Direct vérifiés dans nos études, nous citerons en outre : la tolérance au "verânico" et les risques moindres des cultures aux variations climatiques, un intervalle plus grand pour la préparation du sol, une meilleure rentabilité du fait du coût inférieur des dépenses (engrais, machines, agrototoxiques etc.), un meilleur contrôle de l'érosion qui favorise globalement un

meilleur équilibre écologique et une meilleure protection de l'environnement.

Tableau II -

Identification:	- numéro du profil, désignation de l'horizon et, profondeur, en cm
Humidité:	- sec, légèrement humide, humide, très humide
Couleur:	- sec et humide
Taches:	- quantité: peu (< 2 %), communes (2 à 20 %), abondantes (20 - 30 %), très abondantes (30 - 50 %) - taille: petites (< 5 mm), moyennes (5 - 15 mm), grandes (> 15 mm) *noter: contraste, couleur de fond, couleur des taches, associations, orientations, nature.
Matière Organique:	- présence et forme: - débris organiques, débris organiques décomposés ou en décomposition, directement décelable (humifiée et/ou organisée), non directement décelable (supposée par la couleur), et apparemment non organique. *noter: teneur estimée en matière organique.
Oxydes et/ou hydroxydes:	- quantité: très peu (< 5 %), peu (5 - 15 %), fréquent (15 - 40 %), dominant (> 80 %) - taille: petit (< 1 cm), grand (> 1 cm). - forme: diffuse, taches, nodulaire, concrétions, carapaces - nature: ferrugineux, ferro-manganésifère, sesquioxides non identifiés *noter: dureté et couleur
Éléments grossiers:	- graviers (2 - 20 mm), cailloux (20 - 200 mm), blocs (> 20 cm) - forme et degré d'arrondissement: anguleux, arrondi, roulé
Texture:	- très argileux (> 60 %), argileux (40 - 60 %), argilo-sableux (35 - 55 %), limono-argilo-sableux (20 - 35 %), limono-sableux (15 - 25 %), sableux (< 15 %)
État structural:	- nature générale: particulière, massive, fragmentaire - netteté: peu nette, nette, très nette - généralisation: localisée, généralisée - type: lamellaire, prismatique, polyédrique (anguleuse, subanguleuse), granulaire, grumeleuse, microagrégée - classe: très fine, fine, moyenne, grossière, très grossière - degré de développement: faible, modérée, forte
Porosité de l'horizon:	- volume des vides entre les agrégats: faible, important, très important
Porosité de l'agrégat:	- quantité: sans pores visibles, pores peu nombreux, nombreux, très nombreux - taille: très fins (< 1 mm), fins (1 - 2 mm), moyens (2 - 5 mm), larges (5 - 10 mm), très larges (> 10 mm). - forme: tubulaire, vacuolaire, intergranulaire - orientation: verticale, horizontale, oblique, sans orientation dominante - porosité globale: non poreux, peu poreux, poreux, très poreux
Revêtements:	- nature (argileux, organo-argileux, argilo-ferrugineux, sesquioxides); épaisseur (minces, épais, très épais); quantité (peu, communs, abondants); localisation (face des agrégats, grains, vides); et, surfaces (friction, compression).
Consistance:	- état général: rigide, semi-rigide, malléable, pâteuse, élastique - sec (dureté et ténacité): peu dur, dur, très dur, extrêmement dur - humide (friabilité): libre, très friable, friable, ferme, très ferme, extrêmement ferme (compacité): compact, très compact, extr. compact - mouillé (plasticité) non plastique, peu plastique, plastique, très plastique (adhésivité): non collant, peu collant, collant, très collant
Racines:	- abondance: rares, peu communes, communes, fréquentes - type: fasciculées, pivotantes, secondaires, autres - grosseur: fines, moyennes, grosses *noter: disposition, orientation et localisation
Activité biologique:	- intensité: très forte, forte, moyenne, faible - type: vers, termites, fourmis, tatous, etc. - distribution
Observations Complémentaires:	
Transition:	- netteté: abrupte (< 2.5 cm), distincte (2.5 - 7.5 cm), graduelle (7.5 - 12.5 cm), diffuse (> 12.5 cm)