

Influence des pratiques culturelles sur le comportement et les propriétés de sols du parana (Bresil)

Joao Tavares-Filho⁽¹⁾ et Daniel Tessier⁽²⁾

1 UEL, Département d'Agronomie, BP 6001, 86051-970 Londrina, Brésil

2 INRA, Science du Sol, route de Saint Cyr, 78026 Versailles

RÉSUMÉ

Dans l'Etat du Paraná, des « Latossolos Roxo » (Oxisols) ont été mis en culture depuis environ 35 ans. Ces sols présentent actuellement des problèmes de dégradation principalement liés à leur tassement et à la disparition d'une partie de leur macroporosité. L'objectif de cet article est de discuter de l'évolution des sols sous l'influence de pratiques culturelles, dans une perspective de gestion à long terme de leur fertilité. Une étude de longue durée a été menée à l'OCEPAR (Organisation des Coopératives du Paraná) sur l'évolution simultanée des sols et des rendements des cultures. Des profils culturaux ont été effectués et des échantillons non remaniés prélevés après semis direct et labour à la charrue à soc. Une comparaison a été faite entre les propriétés physiques (rétention d'eau, gonflement-retrait) et physico-chimiques des sols sous forêt et cultivés.

Les sols sous forêt présentent une structure microagrégée typique des sols ferrallitiques (latosols) développés sur basaltes (>70 % d'argile). Dans ce type de sol, le degré d'altération des constituants minéraux et leur environnement géochimique sont des éléments fondamentaux à prendre en compte pour comprendre et prévoir leur stabilité physique.

Lorsque le pH est acide (Cascavel) et le complexe d'échange largement désaturé, les forces de cohésion entre les constituants très fins (argiles, oxydes et des matières organiques) permettent d'assurer la stabilité physique du sol. Le labour se révèle alors une technique relativement dangereuse car il tend à rompre de façon durable leur structure microagrégée; en revanche, la pratique du semis direct semble être une technique de conservation bien adaptée aux sols acides.

Lorsque le pH tend vers la neutralité comme à Palotina, l'absence de forces de cohésion entre les constituants (argiles, oxydes et des matières organiques) ne contribue plus à assurer une certaine stabilité physique au sol. Les conclusions établies pour Cascavel ne paraissent plus appropriées pour Palotina car le sol présente, du fait de sa constitution et de son environnement géochimique, un comportement potentiellement instable. Il est conclu que la technique de semis direct est alors moins bien adaptée que le labour à la charrue au maintien d'un espace poral favorable au développement des plantes.

Au total, il apparaît que dans les régions tropicales, la maîtrise des techniques culturelles nécessite de connaître un ensemble de caractéristiques propres aux sols et une gestion adaptée à chaque type de milieu.

Mots clés

Sols ferrallitiques, pratiques culturelles, comportement physique, environnement géochimique.

SUMMARY

INFLUENCE OF CULTIVATION PRACTICES ON THE BEHAVIOUR AND PROPERTIES OF SOILS IN PARANA (BRAZIL)

In the Parana region, « Latossolos Roxo » (oxisols) have been cultivated for about 35 years. These soils currently face problems of degradation which are mainly due to their compaction and the partial disappearance of macropores. The objective of this article is to examine the evolution of soils as affected by cultivation practices in the context of the long-term management of their fertility. A long-term study was carried out by the OCEPAR (Organisation des Coopératives du Parana) regarding the simultaneous evolution of soils and crop yields. Cultural profiles were made and undisturbed samples were collected after no tillage technique and mouldboard ploughing. The physical (water retention, shrinking-swelling) and physico-chemical properties of forest and cultivated soils were compared.

Forest soils present a microaggregated structure which is characteristic of oxisols (latosols) developed on basalts (70 % of clay). In this type of soil, the degree of weathering of the mineral constituents and their geochemical environment have to be taken into account to understand and predict their physical stability.

When the pH was acidic (Cascavel) and the exchange complex was highly saturated, cohesive forces between very fine constituents (clays, oxides and organic matter) maintained the physical stability of the soil. Ploughing thus appears as a relatively dangerous technique because it tends to destroy the soil microaggregated structure on a long-term basis. No tillage technique seems to be a well adapted conservation method in acidic soils. When the pH was close to neutrality, like in Palotina, the absence of cohesive forces between the constituents (clays, oxides and organic matters) led to the physical instability of the soil. The conclusions drawn in Cascavel no longer seem appropriate in Palotina because the soil presented a potentially unstable behaviour due to its structure and its geochemical environment. The no tillage technique was therefore less suitable than ploughing for maintaining a pore space favourable to plant growth.

In tropical regions, mastering cultivation techniques requires knowing a set of soil characteristics and adapting management to each type of environment.

Key words :

Oxisol, cultivation practices, physical behaviour, geochemical environment

RESUMEN

INFLUÊNCIA DE PRÁTICAS CULTURAIS NO COMPORTAMENTO E PROPRIEDADES DE SOLOS DO PARANÁ

No Estado do Paraná, os Latossolos Roxos (Oxisols) são explorados agricolamente depois de aproximadamente 35 anos. Esses solos apresentam atualmente problemas de degradação principalmente ligados à sua compactação e ao desaparecimento de seus macroporos. O objetivo deste artigo é de discutir a evolução desses solos sob a influência de práticas culturais, dentro de uma perspectiva de gestão a longo prazo da sua fertilidade. Um estudo de longa duração foi conduzido na OCEPAR (Organização das Cooperativas do Paraná), sobre a evolução simultânea de solos e dos rendimentos das culturas. Perfis culturais foram descritos e amostras de solos indeformadas foram coletadas nas parcelas sob plantio direto e arado de aiveca. Uma comparação foi feita entre as propriedades físicas (retenção de água, expansão-retração) e físico-químicas dos solos sob floresta e cultivados. Os solos sob floresta apresentam uma estrutura microagregada típica dos latossolos, desenvolvidos sobre basalto (70 % de argila). O grau de alteração dos constituintes minerais parece ser um elemento fundamental e ser considerado para a estabilidade física desses solos.

Quando o pH é ácido (LRd de Cascavel) e o complexo de troca saturado, as forças de coesão entre os constituintes bem finos (argilas, óxidos e matérias orgânicas), permitem assegurar a estabilidade física do solo. O trabalho do solo com arado se revela então uma técnica relativamente perigosa pois, ele tende a romper sua estrutura microagregada; por outro lado, o plantio direto parece ser uma técnica de conservação bem adaptada aos solos ácidos.

Quando o pH tende à neutralidade como no LRe (Palotina), a ausência de forças de coesão entre os constituintes (argilas, óxidos e matérias orgânicas), não contribuem para assegurar uma certa estabilidade física do solo. As conclusões estabelecidas para o LRd (Cascavel) não parecem ser apropriadas para o LRe (Palotina), pois esse solo apresenta, devido sua constituição e seu ambiente geoquímico, um comportamento potencialmente instável. Pode-se concluir, neste caso presente, que a técnica do plantio direto é então menos adaptada que a técnica do trabalho do solo com arado de aiveca para a manutenção de um espaço poral favorável ao desen-

volvimento das plantas. Em suma, nos meios tropicais argilosos, para um bom domínio das técnicas culturais é necessário o conhecimento de um conjunto de características dos solos afim de se conseguir uma melhor adaptação das mesmas e uma gestão adaptada à cada tipo de meio físico.

Palavras claves

Latosolo, práticas culturais, comportamanto físico.

Dans l'État du Paraná, les latosols rouges « Latossolos Roxo » sont parmi les plus riches et les plus productifs du Brésil. Ils ont une importance primordiale pour le pays car on y fait des cultures vivrières et d'exportation. Bien que ces sols aient été mis en culture depuis une période récente, environ 35 ans, des problèmes de dégradation principalement liés à leur tassement et à la disparition d'une partie des macropores du sol sont de plus en plus souvent observés (Guimarães, 1993; Ralisch *et al.*, 1991 et 1993; Ralisch et Guimarães 1994).

L'évolution simultanée de la porosité globale et de la structure conduit à des changements considérables des propriétés d'infiltration, de la disponibilité de l'eau et de l'aération, mais aussi de l'exploitation du sol par le système racinaire des plantes. Ceci a été invoqué par les auteurs précédents comme étant à l'origine d'une baisse de rendement des cultures. L'hypothèse d'une dégradation de l'espace poral due aux pratiques culturales qui modifient la structure du sol et, en conséquence ses principales fonctions, est souvent avancée.

La question posée est de savoir sur quelles bases on peut interpréter l'évolution des sols, dans une perspective d'une agriculture durable, notamment au travers d'un choix des pratiques culturales. L'étude proposée repose sur des expériences de longue durée de façon à se référer à des informations précises sur la mise en culture. Aussi deux types de pratiques de travail du sol seront retenues à savoir le semis direct et la charrue à soc. Nous étudierons comment se manifestent des différences au niveau des comportements physiques, surtout de la rétention d'eau et du changement de volume. Nous comparerons les données sous culture à la situation sous forêt qui servira de référence. Pour analyser les changements résultant des pratiques, nous examinerons l'évolution simultanée des propriétés physico-chimiques des sols, en tenant compte de la constitution propre à chaque sol.

CADRE SPATIAL ET METHODES

Les sites d'étude

Les sites sélectionnés pour l'étude sont situés au Brésil, dans la partie ouest de l'État du Paraná juste au dessous du tropique de Capricorne. Plus précisément, la région appartient au plateau de Guarapuava, limité par les rivières Piquiri et Iguçu, à savoir :

- le site de Cascavel situé à 24°56' de latitude sud et 53°26' de longitude ouest. Les sols sont développés sur un écoulement basaltique recouvrant une surface ancienne stable en position de haut plateau (760 m d'altitude moyenne). Le climat est du type Cfb selon la classification de Koëppen, c'est à dire avec des mois d'été frais ($t < 22$ °C), du givre en hiver et sans saison sèche (Derpesch *et al.*, 1991).

- le site de Palotina est situé à 24°18' de latitude sud et 53°55' de longitude ouest. La zone d'écoulement basaltique est aussi en position de plateau mais l'altitude est plus faible (360 m en moyenne). Le climat est du type Cfa selon la classification de Koëppen, c'est à dire avec des mois d'été chauds ($t > 22$ °C), quasi absence de givre en hiver et sans saison sèche (Derpesch *et al.*, 1991).

Les sols

Dans chaque site, les sols sélectionnés pour cette étude ont été mis en valeur à partir de 1960. Pour Cascavel, il s'agit d'un Latossolo Roxo dystrophique (LRd) (Haplic Acrorthox, Soil Taxonomy), à texture argileuse prédominante sous forêt subtropicale pérenne. Le relief est doux et ondulé. Pour Palotina, le sol est un Latossolo Roxo eutrophique (LRe) (Haplic Eutorthox, Soil Taxonomy), à texture argileuse modérée, sous forêt tropicale pérenne. Le relief est très doux voire pratiquement plat (EMBRAPA, 1972, 1984).

En ce qui concerne la minéralogie, les deux sols possèdent 50 à 60 % de kaolinite avec des minéraux 2:1 de type vermicu-

lite; leur teneur en oxydes de fer est de l'ordre de 20 % à Palotina et de 15 % à Cascavel (Tavares-Filho, 1995). La principale différence entre les sols réside dans la présence de gibbsite (~15 %) dans le Latosol Roxo distrophe alors qu'elle est absente dans le Latosol Roxo Eutrophe (Tavares Filho, 1995).

Gestion des terres

Il s'agit d'une expérimentation à long terme menée par l'OCEPAR (Organisation des Coopératives du Paraná).

- Dans le cas du site de Cascavel, l'aire d'étude a subi une déforestation à la fin des années 60 en vue de l'implantation de cultures de blé et de soja. En 1980, une technique de non-travail du sol, dite de semis direct a commencé. Pour remédier à l'acidité endémique de ce type de sol, un apport de CaCO_3 (~1 t.ha⁻¹) a été effectué en 1982. A partir de cette date, l'aire d'étude a été divisée en parcelles de 1 ha qui ont subi le même type de pratiques jusqu'à nos jours. Dans la parcelle correspondant au semis direct, la seule intervention sur le sol est effectuée au moment du semis (blé en hiver et soja en été) avec des semoirs à disques. Sur la parcelle labourée à la charrue à soc, le labour est effectué 2 fois par an aussi bien pour le blé que le soja. Le prélèvement des échantillons a été effectué en novembre après la récolte du blé d'hiver, c'est à dire avant le labour et le semis du soja.

A proximité du site, une aire de forêt secondaire a été utilisée afin de comparer l'évolution des sols sous forêt et cultivés. La parcelle a été cultivée deux ans puis reboisée en 1975 avec *Pinus elliotis* et *Araucaria angustifolia*.

- En ce qui concerne le site de Palotina, la déforestation a été réalisée sur l'ensemble du site entre les années 60 - 70. La pratique du semis direct a commencé en 1980 et un apport de carbonate de calcium (1 t.ha⁻¹) a aussi été effectué, malgré le pH relativement élevé du sol. Le dispositif expérimental est identique en tout point à celui de Cascavel. A Palotina, cependant, sur le même plateau, c'est une forêt primaire qui sert de comparaison avec les sols cultivés.

Méthodes d'étude

L'étude a d'abord reposé sur l'établissement de profils culturaux suivant la méthode décrite par Hénin *et al.* (1960), Manichon (1982) et adaptée par Dersigny *et al.*, (1990); Ralisch (1995); Tavares-Filho (1995), Tavares-Filho *et al.* (1996) pour ce type de sol. Les horizons ont été caractérisés suivant des critères de dureté au couteau, taille et forme des agrégats, résistance des agrégats à la rupture, porosité visible à l'oeil nu (Manichon, 1982; Tavares Filho, 1995). Sous forêt, des blocs non perturbés de l'ordre de 1 à 5 dm³ ont été prélevés dans la gamme des profondeurs allant de 5 à 150 cm. Sous culture, l'étude a porté plus spécialement sur l'évolution des sols entre 5 et 40 cm. Après leur collecte, les échantillons ont été stockés dans des sacs clos afin de conserver leur humidité au moment du prélèvement.

Au laboratoire, les blocs de sol ont été fragmentés à la main de façon à obtenir des fragments, « des mottes », de 10 à 15 cm³. L'étude de l'évolution simultanée du contenu en eau et du volume apparent des échantillons a été effectuée à différents potentiels de l'eau depuis -1 kPa jusqu'à -100 MPa suivant la norme AFNOR n° X31D (1994). De -1 kPa à -100 kPa, un dispositif de filtration a été utilisé (Tessier et Berrier, 1979). De -1000 kPa à -1600 kPa on a utilisé des cellules de Richards (1947). Au delà de -1600 kPa et jusqu'à -100 MPa, les échantillons ont été placés dans des dessiccateurs à l'intérieur desquels l'humidité relative a été fixée avec des solutions salines saturées. Dans nos expériences, nous avons estimé que l'équilibre était obtenu lorsque la courbe d'évolution du poids des échantillons a atteint un palier (Tessier, 1975). A chaque potentiel de l'eau, le volume apparent des mottes a été déterminé par la mesure de la poussée d'Archimède dans du kérosène (Monnier *et al.*, 1973), et la référence pondérale par gravimétrie après séchage à 105°C pendant 48 heures.

Le nombre de répétitions pour chaque valeur de potentiel a été au minimum de 10 et, dans chaque cas, pour bien caractériser et aussi apprécier l'hétérogénéité de la structure du sol, le coefficient de variation, ainsi que l'intervalle de confiance à 95 % ont été calculés. Les résultats des mesures seront ici exprimés en indice des vides (e), d'eau (J) et d'air (a), qui sont respectivement $e = V_v / V_s$, $J = V_w / V_s$, et $a = V_a / V_s$, avec V_s , V_v , V_w et V_a représentant les volumes respectifs des solide, vide, eau et air, avec $e - J = a$.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur la terre fine tamisée à 2 mm. Le carbone total et l'azote ont été dosés respectivement selon la méthode Anne (oxydation au bichromate de Potassium) et la méthode Kjeldahl. Les analyses granulométriques ont été effectuées par sédimentation après ajout d'hexamétophosphate de sodium et agitation mécanique dans l'eau (Robert et Tessier, 1974). Les mesures de pH dans l'eau ont été faites en prenant un rapport masse de solide/masse de liquide de 1/2,5. La mesure de la capacité d'échange cationique (CEC) du sol et l'extraction des cations échangeables ont été effectuées au chlorure de cobalthexamine de façon à rendre compte de la charge variable des constituants des sols (X31-130, AFNOR, 1994; Ciesielski et Sterckeman, 1997 a, b).

RESULTATS

Analyses physiques et physico-chimiques

Analyses granulométriques.

Les résultats sont la moyenne de 3 répétitions. Ils sont rassemblés *tableau 1*.

La granulométrie des sols sous forêt est caractérisée par

Tableau 1 - Analyse granulométrique des profils sous forêt des sites de Cascavel et Palotina (0-1,50 m).

Table 1 - Mechanical analyses of forest soil profiles in the Cascavel and Palotina sites (0-1.50 m).

Prof. (cm)	Site de Cascavel (LRd)			Site de Palotina (LRe)		
	Argile	Limon total total	Sable total	Argile	Limon total total	Sable total
0-20	73,6	24,2	2,2	71,9	21,6	6,6
20-40	80,0	17,7	2,3	80,0	14,0	6,0
40-70	80,1	17,5	2,4	81,0	13,0	6,0
70-100	80,9	16,9	2,2	82,5	11,3	6,2
100-150	81,0	16,8	2,2	82,8	11,0	6,2

une forte domination de la fraction argile (< 2 µm). D'après le triangle de texture (Jamagne, 1967, in Baize, 1988), ces sols seraient classés en argile lourde avec en moyenne 75 % d'argile dispersable à l'hexamétaphosphate pour le site de Cascavel et 77 % pour le site de Palotina. Il est important de remarquer que contrairement à d'autres sols argileux, les sols de Cascavel et Palotina présentent une structure tout à fait particulière : elle est composée de micro-agrégats argileux et présente une structure dite « poudre de café » qui a pour conséquence de présenter une texture sableuse à l'évaluation tactile.

L'étude de la granulométrie des sols sous culture (tableau 2) permet de vérifier que leur texture est tout à fait similaire à ceux sous forêt, aussi bien à Cascavel qu'à Palotina. Les légères variations sont attribuées à la variabilité spatiale des sols. Nous admettons donc que les sols cultivés sont issus d'une couverture pédologique homogène et que ceci nous autorise à effectuer des comparaisons sur l'évolution des sols du fait de leur mise en culture.

Evolution des taux de matières organiques

Les résultats sont la moyenne de 3 répétitions et sont rassemblés dans le tableau 3. A Cascavel, la teneur en carbone du sol sous forêt est de 2,66 %. Elle est plus faible avec le

semis direct (2,21 %) et devient encore plus basse avec la charrue à soc (1,49 %). Les rapports C/N élevés à Cascavel indiquent une humification relativement médiocre des matières organiques (C/N ~ 12). Pour le site de Palotina, la teneur en carbone du sol sous forêt est inférieure à celle du site de Cascavel (2,06 %). Elle décroît pour les sols mis en culture, de 1,37 % pour le sol sous semis direct à 1,11 % pour le sol sous charrue à soc. Les rapports C/N restent constants pour les trois profils (C/N ~ 8). Leur faible valeur indique une meilleure minéralisation des matières organiques qu'à Cascavel.

Analyses chimiques

Pour les deux sites, les résultats sont le moyenne de 3 répétitions (tableau 4).

Du point de vue des propriétés chimiques, Cascavel se distingue de Palotina, en particulier par sa forte acidité avec une désaturation en bases prononcée, et ce, aussi bien sous forêt que dans les parcelles cultivées. Les données relatives à l'aluminium échangeable corroborent ce résultat. Plus précisément :

- A Cascavel, le sol sous forêt présente une accumulation en cations alcalino-terreux (Ca-Mg) et alcalins (K-Na) dans les 40 cm premiers cm du sol. Cette accumulation peut probablement être attribuée au même mécanisme que celui décrit par

Tableau 2 - Analyse granulométrique des sols cultivés et sous forêt (moyenne sur 40 cm).

Table 2 - Mechanical analyses of the cultivated and forest soils (over 40 cm on average).

Profils	Granulométrie (%)			Argile	Limon total total	Sable total
	Argile	Limon total total	Sable total			
Forêt	76,5	21,1	2,2	76,1	17,6	6,3
S. direct	77,0	20,3	2,7	76,0	15,9	8,1
C. soc	71,5	20,0	8,4	79,6	14,5	5,9

Tableau 3 - Teneur moyenne en carbone organique, azote et relation C/N pour les deux sols étudiés.

Table 3 - Mean organic carbon, nitrogen contents and C/N ratio for the two soils studied.

Profils	Site de Cascavel (LRd)			Site de Palotina (LRe)		
	C(%)	N(%)	C/N	C(%)	N(%)	C/N
Forêt	2,66	0,23	12	2,06	0,27	8
Semis direct	2,21	0,17	13	1,37	0,17	8
Charrue à soc	1,49	0,13	11	1,11	0,14	8

Tableau 3 - Analyses chimiques des sols de Cascavel et Palotina. Moyennes obtenues sur 40 cm.

Table 3 - Chemical analyses of soils in Cascavel and Palotina. Means obtained over 40 cm.

Profils	Site de Cascavel (LRd)					Site de Palotina (LRe)				
	pH	Complexe adsorbant (méq/100g)				pH	Complexe adsorbant (méq/100g)			
		H ₂ O	CEC	Ca ⁺ Mg	K ⁺ Na		Alech	H ₂ O	CEC	Ca ⁺ Mg
Forêt	5,0	8,2	5,35	0,11	1,55	6,55	9,35	7,65	0,60	0,15
S. direct	4,8	5,65	2,00	0,10	2,00	6,65	12,1	9,77	0,39	0,20
C. soc	5,2	4,65	1,87	0,10	1,05	5,93	7,01	5,17	0,40	0,20

Chauvel *et al.*, (1986), Lucas *et al.*, (1986, 1993). En effet, sous forêt, les feuilles qui retombent contribuent à recycler les cations et la silice dans la partie supérieure du sol. Il en résulte un taux de saturation élevé dans les premiers cm du sol. Il est à noter que la mise en culture semble, au moins partiellement, remettre en cause cet équilibre initial. En effet, après 35 ans de culture et malgré l'apport initial d'amendements calcaires, la désaturation du complexe d'échange est très forte, aussi bien avec la technique de semis direct qu'avec le labour classique. Le taux de désaturation rejoint alors celui des horizons profonds tel qu'il était sous forêt (Tavares-Filho, 1995).

- En ce qui concerne Palotina, la situation est totalement différente. Le sol sous forêt est encore largement saturé en cations. Néanmoins, après la mise en culture, le stock global en cations échangeables est légèrement augmenté avec la technique du semis direct alors qu'il s'abaisse avec le labour traditionnel. Il faut enfin remarquer que les données chimiques obtenues sur Cascavel et Palotina sont conformes à celles données par l'EMBRAPA (1984) et Ferreira (1988) sur des sols ferrallitiques similaires au Brésil, et par Kilasara (1991) sur des sols d'Afrique (Tanzanie) développés sur d'autres matériaux volcaniques.

Propriétés physiques

Courbes de changement de volume

Nous avons vu précédemment que les sols de Cascavel et

de Palotina sont des sols argileux, présentant une structure microgranulaire qui les rapproche des sols sableux : cependant, c'est ici l'argile qui est organisée en agrégats relativement stables. Or la persistance d'un état agrégé est essentielle au maintien d'une forte porosité corollaire de conditions d'aération, de percolation des eaux et d'enracinement des plantes satisfaisantes. Il a été montré par les auteurs précédents que le comportement macroscopique d'un sol, notamment sa rétention en eau, ainsi que le changement de volume sont des révélateurs sensibles des propriétés des sols. C'est notamment le cas lorsque l'on étudie l'ensemble du domaine de rétention de l'eau, c'est à dire depuis les très hauts potentiels de l'eau (~- 1 kPa, pF = 1) jusqu'aux très bas potentiels (# - 100 MPa, pF = 6).

Les résultats de changement de volume des échantillons de sols sont présentés *figure 1*. Dans toutes les situations, aux hauts potentiels de l'eau, les valeurs de l'indice de vides indiquent que les sols sont plus poreux à Cascavel qu'à Palotina. A Cascavel cependant, et dans une très large gamme de potentiel de l'eau, aucune variation significative du volume n'est observée sous forêt et avec le semis direct. Le sol peut donc être considéré comme rigide dans cette gamme de potentiels de l'eau et son comportement se rapproche réellement de certains sols sableux. En revanche, pour les situations de Palotina le sol demeure toujours gonflant, alors que pour Cascavel avec le labour traditionnel le sol n'a plus la rigidité qui le caractérisait. Il peut alors changer de volume sur l'ensemble

Figure 1 - Evolution des indices de vides des différentes situations étudiées dans les sites de Cascavel et Palotina.

Figure 1 - Variation in the void ratios in the different situations studied in the Cascavel and Palotina.

AU SCANNER

Fig.

de la courbe de rétention de l'eau : d'une certaine façon, le sol exprime alors les propriétés normales d'un sol argileux.

Ces deux comportements distincts nous permettent de discuter de la stabilité du comportement au gonflement-retrait des sols tropicaux. D'après nos résultats, on peut d'ores et déjà considérer deux origines pour le caractère gonflant d'un sol :

- une origine liée à sa constitution : ainsi à Palotina, le sol sous forêt est naturellement gonflant et les pratiques culturales ne modifient pas cette caractéristique,

- une origine liée à l'influence des pratiques culturales quand celles-ci sont dégradantes pour le sol : ainsi à Cascavel le sol devient gonflant du fait du travail du sol avec la charrue à soc alors que le semis direct n'a pas modifié le caractère non gonflant du sol sous forêt.

Courbes de rétention d'eau et taux de saturation

Les courbes de rétention d'eau permettent de compléter les données physiques et d'interpréter les courbes de retrait (*figure 2*). Il apparaît qu'à Cascavel comme à Palotina, la rétention de l'eau est plus faible avec la charrue à soc qu'elle ne l'est avec le semis direct ou sous forêt. En outre, quelle que soit la situation (forêt) ou la pratique culturale (semis direct ou labour), la forme générale des courbes est similaire dans un domaine de

potentiel de l'eau allant de - 1 kPa ($pF = 1$) à - 10 MPa ($pF = 5$). C'est au delà de - 10 MPa que la courbe de rétention de l'eau semble principalement affectée. Compte tenu des pores concernés dans ce domaine d'énergie ($< \sim 0,01 \mu m$), il est clair que l'explication de cette évolution doit être recherchée au niveau de l'assemblage des constituants argileux des sols.

L'évolution de l'indice d'air dans les différents sites et en fonction des pratiques confirme que dans le domaine de l'eau utilisable par les plantes, la macroporosité peut être plus ou moins affectée. On constate qu'à - 1 MPa ($pF = 4$) (*tableau 5*), une macroporosité importante subsiste dans le sol de Cascavel et ce aussi bien pour le semis direct que le labour. A Palotina, la technique de semis direct apparaît particulièrement dégradante puisqu'elle fait disparaître l'essentiel des macropores.

DISCUSSION

Stabilité/instabilité de la structure liée aux constituants des sols

Les deux sols qui ont servi de support à cette étude ont été sélectionnés de façon à discuter du rôle spécifique du sol et de l'influence de pratiques culturales sur ses propriétés. Rappelons que les sols étudiés contiennent la même quantité

Figure 2 - Evolution des indices d'eau des différentes situations étudiées dans les sites de Cascavel et Palotina.

Figure 2 - Variation in the water ratios in the different situations studied in the Cascavel and Palotina.

AU SCANNER

Tableau 5 - Evolution de l'indice d'air des sols de Cascavel et Palotina à - 1MPa, sous forêt, semis direct et labour à la charrue.

Table 5 - Variation in the air ratio of soils in Cascavel and Palotina at - 1MPa in the case of a forest, no tillage and mouldboard ploughing.

Profils	Indice d'air (- 1MPa)	
	Site de Cascavel (LRd)	Site de Palotina (LRe)
Forêt	0,56	0,41
Semis direct	0,38	0,12
Charrue à soc	0,33	0,33

d'argile. Les travaux minéralogiques réalisés par Tavares-Filho (1995) montrent que les sols de Cascavel et de Palotina sont essentiellement constitués de kaolinite et d'oxydes de fer. Le sol de Cascavel apparaît cependant à un stade d'évolution très différent. Il se trouve sur un plateau étroit et semble bien drainé (Tavares-Filho, 1995). Il est de ce fait fortement altéré puisqu'il contient environ 15 % d'hydroxyde d'aluminium (gibbsite) avec une très forte désaturation du complexe d'échange (S/T # 11 % à 100 cm). Dans des sols contenant de très fortes proportions d'argile comme les sols ferrallitiques développés sur basaltes, une bonne partie des propriétés doit être attribuée à la nature des constituants et à leur environnement géochimique. D'après Bradfield (1950) et Chauvel *et al.* (1976) de faibles différences de l'environne-

ment physico-chimique peuvent entraîner d'importantes variations des comportements physique et chimique. Ainsi, les données après 35 ans de culture tendent à montrer que le sol de Cascavel est plus stable au plan physique que celui de Palotina. Pour expliciter ces différences de comportement nous ferons intervenir plusieurs facteurs :

1) Tout d'abord la taille et la nature des constituants. Tavares-Filho (1995) et Assouline *et al.* (1997) ont montré que le sol de Cascavel est composé de très fines particules de kaolinite (souvent <0,1 μm) et d'oxydes de fer. En outre, la présence d'une phase amorphe alumineuse semble engluer les particules de kaolinite. En revanche, à Palotina, les particules argileuses sont toujours de grande taille (0,2 μm) sans que l'on puisse réellement identifier la présence d'aluminium. Ajoutons de plus que les teneurs en matières organiques sont systématiquement plus élevées à Cascavel qu'à Palotina. Ces trois facteurs concourent certainement à ce que la structure du sol de Cascavel soit plus stable que celle de Palotina.

2) Une partie de la réponse sur l'origine de la

stabilité physique des sols tropicaux argileux réside dans la connaissance de la nature des charges de surface des constituants. Les sols tropicaux étudiés ont ceci de particulier que la plupart de leurs constituants sont finement divisés (argiles, oxydes de fer et d'aluminium, matières organiques). Ils ont en commun de présenter une charge électrique variable en fonction du pH. Or les sols des deux sites sont très différents du point de vue de leur contexte géochimique. A Palotina, le pH est voisin de la neutralité : les kaolinites sont alors chargées négativement alors que les oxydes de fer et les matières organiques présentent une charge de surface quasi nulle car très près de leur point zéro de charge (pzc) (Mc Bride, 1989). En revanche, à Cascavel, le pH est voisin de 5 : il s'agit du domaine de pH où les kaolinites sont chargées négativement alors que les oxydes et les matières organiques sont chargés positivement. Une grande partie de la stabilité physique du sol peut alors être attribuée à l'attraction électrostatique entre des constituants de charge électrique de signe opposé.

Ainsi, dans le sol de Cascavel, les conditions sont réunies pour que la structure microagrégée soit stable. En revanche, avec un pH voisin de la neutralité, à Palotina, ce mécanisme ne peut réellement intervenir. Les résultats sont donc conformes à la théorie. Ils ne sauraient cependant à eux seuls expliquer les changements de propriétés des sols.

Influence spécifique des pratiques culturales

De nos résultats il est d'abord clair que la mise en culture provoque des changements notables des propriétés des sols. Les deux techniques culturales adoptées dans ces régions diffèrent avant tout par deux modes extrêmes d'intervention sur le sol :

- 1) le labour classique à la charrue à soc,
- 2) le semis direct qui implique un travail du sol quasi nul.

On sait que le labour retourne et fragmente le sol et conduit ainsi à son homogénéisation sur la profondeur de la couche travaillée (~ 40 cm). Il tend à améliorer l'aération, au moins temporaire du sol et il permet d'enfouir les matières organiques. La technique du semis direct, quant à elle, limite au maximum les effets de fragmentation, ce qui tend à limiter l'aération du sol : en effet, dans ce cas, les résidus de récolte s'accumulent, au moins temporairement, à la surface du sol. Nos résultats indiquent des évolutions contrastées en fonction du type de sol et du type de pratique culturale.

La technique semis direct permet toujours de maintenir un taux de matières organiques plus élevé que le labour classique, ce qui a donc un effet positif sur la gestion des stocks organiques. Cet effet est plus marqué en sol acide car l'on constate un abaissement moindre du taux de matières organiques du fait de la mise en culture. Il conduit aussi à un rapport C/N plus élevé. Tous ces éléments sont conformes à la

littérature (Feller *et al.*, 1996).

Un autre effet des pratiques est l'évolution du statut géochimique des sols. A Cascavel, sous forêt, le sol est relativement saturé en cations. On constate, du fait de la mise en culture, un abaissement du stock global de ces cations (tableau 4). Cet abaissement est concomitant avec la diminution des teneurs en matières organiques (tableau 3), mais il est moindre à Cascavel (pH ~ 5 qu'à Palotina (pH > 6). Il semble de plus qu'à Cascavel les exportations de cations dues aux récoltes tendent à accélérer la désaturation du complexe d'échange des sols. Cette évolution est sans doute liée à la faible réserve minérale initiale du sol. En revanche, avec de fortes réserves en cations, le même type de gestion n'entraîne pas de changement significatif du complexe d'échange à Palotina. Nous pouvons en conclure qu'à Cascavel, du fait de la désaturation du complexe d'échange, la stabilité physique du sol serait peu affectée, voire renforcée, par la mise en culture. A Palotina, en revanche, les conditions de pH, la saturation cationique et l'absence d'Al échangeable, ainsi que la baisse des taux de matières organiques ne permettent pas d'améliorer l'instabilité physique potentielle du sol.

En fait, une telle interprétation doit tenir compte de l'effet spécifique des techniques culturales. Nous constatons que la mise en culture s'accompagne toujours d'un tassement du sol. C'est le cas par exemple du sol de Cascavel en semis direct. A Cascavel cependant, les conséquences du tassement sont fort différentes d'une pratique à l'autre. Avec le semis direct, le sol garde une grande rigidité. Même si une partie de la macroporosité du sol a disparu, cette évolution n'a pas affecté le sol dans ses propriétés fondamentales. En revanche, le labour peut faire évoluer les propriétés du sol qui acquiert alors un comportement gonflant et des propriétés similaires à celui de Palotina. La raison de cette évolution n'est pas d'origine géochimique mais serait liée à l'effet mécanique provoqué par le labour, notamment du fait de ces effets de rupture par cisaillement (Tavares, 1995). Il semble donc que le travail du sol, par ses effets spécifiques, soit suffisant pour provoquer une fragmentation des agrégats et conduire aux propriétés d'un sol faiblement stable.

Le cas de Palotina est tout à fait différent car le sol présente initialement un comportement gonflant. Ce comportement subsiste après semis direct et labour. Cependant, du fait du non travail du sol, le semis direct apparaît moins bien adapté que le labour pour conserver une partie de la macroporosité du sol. Le semis direct a cependant des conséquences favorables au plan des teneurs en matières organiques, de la capacité d'échange et des teneurs en cations échangeables des sols.

CONCLUSIONS

Dans les sols tropicaux développés sur basalte comme

ceux du sud du Brésil, la mise en culture exige une gestion des pratiques adaptée aux types de sols. Il apparaît d'abord que le degré d'évolution des sols est un élément fondamental à prendre en compte pour juger de la stabilité physique. Les données sur le pH, le taux de saturation en cations et en aluminium échangeables, apparaissent des indicateurs pertinents de l'évolution des sols et de leurs propriétés. Ainsi la valeur du pH devrait rester suffisamment basse pour maintenir l'existence de forces de cohésion entre les constituants (charges négatives des argiles et positives des oxydes et des matières organiques), et ainsi assurer la stabilité physique du sol. Toute remontée excessive du pH et de la saturation cationique risque d'avoir un effet défavorable sur la structure (Hartmann *et al.*, (1994). Il faut donc rechercher des conditions géochimiques optimales qui permettent d'assurer une certaine stabilité physique au sol, mais qui n'entraînent pas de phénomènes de toxicité.

En ce qui concerne les techniques culturales, la question est de savoir quel type de dégradation est spécifique de chacune d'entre elles. A partir des résultats acquis, nous pouvons conclure que le labour, en agissant en compression sur le sol, induit très probablement des effets de rupture par cisaillement. Le labour semble, après 35 ans de mise en culture, apte à modifier de façon profonde le comportement du sol, même lorsqu'il apparaît initialement très stable. Le labour se révèle alors une technique relativement dangereuse car il tend à rompre de façon durable la structure microagrégée de ces sols. Le sol acquiert alors un caractère gonflant dont les effets à long terme sont encore mal connus. Ces effets doivent être considérés dans une perspective d'évolution des propriétés à long terme et donc par leur effet cumulatif.

En revanche, la pratique du semis direct n'a pas les mêmes inconvénients. En limitant les façons culturales, le sol perd une partie de sa macroporosité mais il n'est pas fondamentalement modifié dans sa structure naturelle microagrégée. Dans cette optique, la technique du semis direct semble donc capable de préserver l'état structural des sols acides.

Cette conclusion, valable pour Cascavel, ne paraît pas transposable pour Palotina car l'organisation du sol à l'échelle des constituants n'est pas de même nature. En l'absence de forces de cohésion entre les constituants, aucun obstacle ne s'oppose à la réorganisation des particules élémentaires. Dans ce cas, la technique de semis direct tend favoriser le compactage très intense du sol. Le terme extrême de l'évolution est obtenu quand toute la porosité autre que la porosité d'arrangement des constituants a disparu. C'est pratiquement ce qu'on obtient avec le semis direct après environ 35 ans de mise en culture. Dans ce cas de figure, le labour semble donc maintenir

une porosité favorable au développement des plantes.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1994 - Qualité des sols. Recueil de normes françaises, AFNOR, Paris France, 250p.
- Assouline S., Tavares Filho, J. et Tessier D., 1997 - Effect of compaction on soil physical properties : experimental results and modeling. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, 61 :390-398.
- Baize D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris. 172p.
- Bradfield R., 1950 - Soil structure. *Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci.*, II, 9-19.
- Ciesielski, H. et Sterckeman, T., 1997a - Determination of cation exchange capacity and exchangeable cations in soils by means of cobalt hexamine trichloride. *Effects of experimental conditions. Agronomie* 17, 1-17.
- Ciesielski, H. et Sterckeman, T., 1997b - A comparison between three methods for the determination of cation exchange capacity and exchangeable cations in soils. *Agronomie* 17, 9-16.
- Chauvel A., Pédro G. et Tessier D., 1976 - Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaoliniques. *Etudes expérimentales. Science du Sol*, 2, 101-113.
- Chauvel A., Lucas Y. et Boulet R., 1986 - On the genesis of the soil mantle in the region of Manaus, Central Amazonia. in « The dynamics of the Amazonia Terra Firme Forest », *Experientia*, 43, 3 :285-299.
- Derpesch R., Roth C.H., Sindiras N. et Köpke U., 1991 - Controle de erosao no Paraná, Brasil : Sistema de cultura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. 272p.
- Dersigny C., Guimaraes M.F. et Visintin T.M.R., 1990 - Observação do estado estrutural e da repartição espacial do sistema radicular do milho cultivado num Latosolo roxo. *Congresso Brasileiro de Conservação do Solo, Resumos, Londrina*, 1990.
- EMBRAPA (1972) - Serviço de levantamento de solos : Levantamento de reconhecimento dos solos do oeste do Estado do Paraná. Curitiba, EMPRAPA - SNLCS / DNPEA / DPP / CERENA / IBC (Boletim Técnico, 39).
- EMBRAPA (1984) - Serviço de levantamento de solos : Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Curitiba, EMPRAPA - SNLCS / SUDESUL / IAPAR, 2.V (Boletim Técnico, 57).
- Feller, C., Albrecht A. et Tessier D., 1996 - Agregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In : *Structure and organic matter storage in agricultural soils* M.R. Carter & B.A. Stabart (Eds.), p. :309-359. *Advances in Soil Science*, CRC Press Inc., New York.
- Ferreira M.M., 1988 - Influencia da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros. *Tese UFV, Viçosa*. 79 p.
- Guimaraes M.F., Ralisch R. et Medina C.C., 1993 - O perfil cultural e as modificações da estrutura do solo. In : *XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Cerrados : Fronteira agrícola no século XXI. RESUMOS, Goiania (GO)*, V I., p. : 23-25.
- Hartmann C., Tessier D. and Pédro G. (1994) - Changes in sandy oxisols microfabrics after mechanical uprooting of an oil palm plantation. *Developments in Soil Science*, 22, 687-695.
- Hénin S., Féodoroff A., Gras R. et Monnier G., 1960 - Le profil cultural. 1ère éd., Masson, Paris, 320p.
- Kilasara M. et Tessier D. (1991) Intérêt des mesures physiques sur échantillons non remaniés dans la caractérisation des sols ferrallitiques. Application à la couverture ferrallitique du district de Muhesa (Tanzanie) *Cah. Orstom, sér. Pédol.* XXVI-2, 91-103
- Lucas Y., Chauvel A. et Ambrosi J.P., 1986 - Process of aluminium and iron accumulation in Latosols developed on quartz rich sediments from cen-

- tral Amazonia (Manaus, Brasil). Proc. int Symp. on Geoch. of the Earth Surface, Granada (Spain).
- Lucas Y., Luizao F. J., Chauvel A., Rouiller J. et Nahon D., 1993 - The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. *Science / original* / 418a4113.
- Manichon H., 1982 - Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : Elaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse Docteur Ingénieur INA-PG, 241p. + annexes.
- Mc Bride M.B., 1989 - Surface chemistry of soil minerals. Dixon and S.B. Weed Ed., Minerals in soil environments. SSSA Book ser. 1., Madison WI., 35-88.
- Monnier G., Stengel P. et Fies J.-C., 1973 - Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. *Ann. Agron.*, 24 : 533-545.
- Ralisch R., Medina C.C., Guimaraes M.F., Tavares Filho J. Dersigny .C. et Visintin L.M.B., 1991 - O metodo do perfil cultural para auxiliar na avaliacao dos efeitos do preparo sobre a estrutura do solo. In : XX Congresso Brasileiro de Engenharia Agricola. RESUMOS, 58. Londrina (PR). 68p.
- Ralisch R., Guimaraes M.F., Balbino L.C., Medina C.C., Tavares Filho J., Dersigny C.G. et Visintin L.M.B., 1993 - Estudos dos efeitos da realizacao sucessiva de um mesmo tipo de manejo, sobre perfil cultural e o e Engenharia Agricola. ANAIS, V.III, Ilheus (BA), 2122-2135.
- Ralisch R. et Guimaraes M.F., 1994 - Avaliação do comportamento do solo através do perfil cultural. In : II Seminario sobre a cultura do milho « safrinha ». RESUMOS, 59. Assis (SP). 9 - 15.
- Ralisch R., 1995 - Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um Latossolo roxo. Botucatu, Dissertação de Mestrado em Energia na Agricultura (UNESP), 61p.
- Richards L.A., 1947 - Pressure membrane apparatus - construction and use. *Agric.Eng.*, 28 : 451-454.
- Robert M. et Tessier D., 1974 - Méthode de préparation des argiles de solo pour les études minéralogiques. *Ann. Agron.*, 25 : 859 - 882.
- Tavares Filho J., 1995 - Organisation et Comportement de Latosols du Parana (Brésil). Influence de leur mise en culture. Thèse Docteur Université de Nancy I, 229p.
- Tavares Filho J., Guimaraes M.F., Medina C.C., Ralisch R., 1996 - Método do Perfil Cultural : Adaptação e Utilização nos Estudos de Manejo em Solos Tropicais. I Simposio Nacional de Instrumentação Agropecuária, 27-29/11/1999, EMBRAPA, Sao Carlos (SP), Brasil.
- Tessier D., 1975 - Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles. Thèse Ing. CNAM, Paris, 230p.
- Tessier D. et Berrier J. 1979 - Utilisation de la microscopie électronique à

balayage dans l'étude du sol. Observation de sols humides soumis à

différents pF. Science du Sol (1) : 67-82