

STRATEGIE DES AGRICULTEURS FACE A L'EROSION DANS LES GRANDES CULTURES DU SUD DU BRESIL

Nilza Maria dos Reis Castro¹, Pierre Chevallier², Véronique Auzet¹, Michel Mietton¹

1 CEREG - URA 95 CNRS, 3, rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex

2 Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1

Résumé

Dans le sud du Brésil (états du Paraná, Santa Catarina et Rio Grande do Sul), les sols à très haute teneur en argile issus d'un épais basaltique sont, depuis une vingtaine d'années, mis en valeur par un système à base de grandes cultures (soja, maïs, céréales) qui a succédé à la canne à sucre. La fragilité des sols, un défrichement assez anarchique, une mécanisation lourde, un découpage foncier hérité d'une colonisation récente et un système économique chaotique constituent les principaux facteurs d'une érosion importante et généralisée. Cela a conduit les agriculteurs à adopter des stratégies de conservation dynamiques et originales sous l'impulsion de grandes coopératives agricoles et de centres de recherches agronomiques souvent privés.

Les pratiques conservacionistes des producteurs agricoles, plus particulièrement ceux des exploitations de tailles moyennes (taille comprise entre 50 et 500 ha), sont passées en l'espace de vingt ans par plusieurs étapes :

- l'installation de banquettes avec bourrelets isohypses anti-érosifs d'abord à base étroite, plus large ;
- la réorganisation du foncier en « microbassins versants » avec remblaiement mécanique des ravines ;
- le développement important du semis direct sur paillage avec suppression progressive des bourrelets et une rotation pluriannuelle adaptée à lutte contre les adventices et à la décompactation des sols.
- l'utilisation de l'activité biologique de la faune du sol (par exemple celle des « coros », scarabées fouisseurs).

Même s'il existe encore de très nombreux problèmes à surmonter, on note déjà dans le paysage très vallonné de ces régions des progrès bien visibles.

Mots-clés :

Brésil, grandes cultures, érosion, semi direct, coopératives agricoles

1. Introduction

Le plateau basaltique qui couvre principalement les Etats du Paraná, de Santa Catarina et du Rio Grande do Sul au Sud du Brésil est actuellement l'une des grandes zones de production agricole de ce pays, en particulier du soja. Les paysages sont marqués par des ondulations à pentes marquées (atteignant parfois 15%) presque entièrement cultivées et aménagées en banquettes en courbes de niveau. Bien davantage que les limites de parcelles qui couvrent plusieurs hectares à plusieurs dizaines d'hectares, ce sont ces banquettes qui, dans le paysage, délimitent les structures spatiales élémentaires.

Ces régions de latosols épais de plusieurs mètres sont également le siège d'une érosion importante, assez généralisée dans les zones cultivées : arrachement et transfert diffus sur les banquettes cultivées, avec des dépôts nettement identifiables sur les banquettes, incision des drains et ravinements importants. La couleur des écoulements dans le réseau hydrographique est par ailleurs éloquente.

Outre les réseaux de ravines des bas de versants pâturés, dont l'extension et la dynamique paraissent nettement favorisées par les piétinements du bétail, de très nombreuses ravines, dont les sections peuvent atteindre plusieurs m², marquent les limites de propriété et les bords des chemins, pistes et routes. Certains drains du rebord amont des bourrelets des banquettes sont plus ou moins incisés à la jonction avec ces dernières ravines. Enfin, quelques rigoles peuvent être observées à l'aval de débordements ou de rupture des bourrelets : elles sont en général rapidement effacées par les agriculteurs.

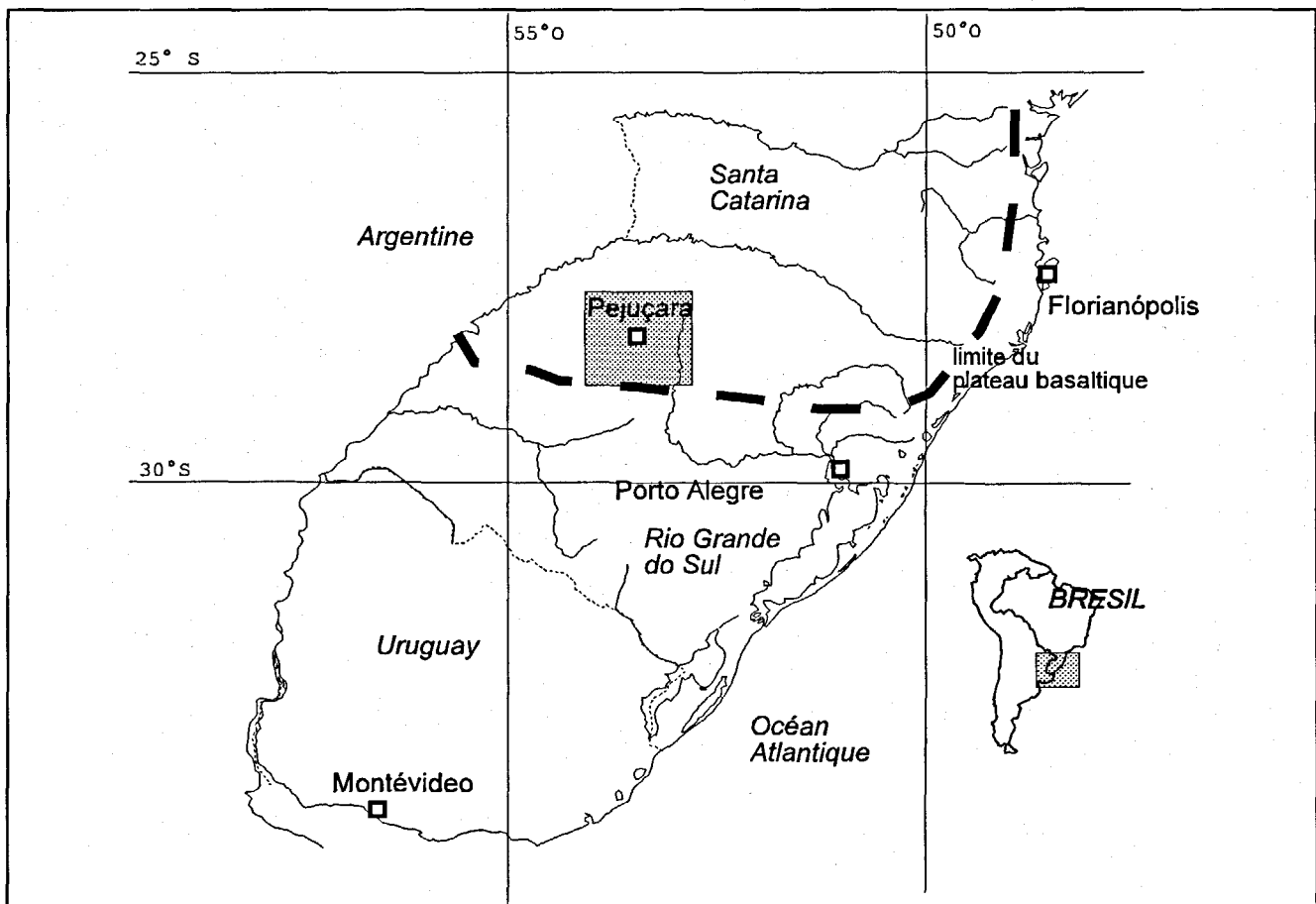


Figure 1: Localisation de la région d'étude

La conscience des phénomènes d'érosion dans le monde agricole apparaît nettement dans le système impressionnant de banquettes. Mais ce système, qui semble a priori limiter les incisions à l'intérieur des propriétés, ne résout à l'évidence nullement le problème des ravinements sur les limites qui sont

rarement traitées. En fait, différentes stratégies sont développées par les agriculteurs depuis la fin des années cinquante, fortement encouragées par les coopératives agricoles. L'objectif limité de cet article est de présenter pour le terroir de la commune de Pejuçara (fig. 1), pris comme exemple dans l'état du Rio Grande do Sul, les stratégies successives et les débats en cours, après une rapide présentation de la région et des causes de l'érosion liées aux étapes de son histoire agraire.

2. Principales caractéristiques de la région de Pejuçara

Pejuçara est une petite ville située à proximité des agglomérations les plus importantes de la région : Ijuí, Cruz Alta et Panambi. Le territoire de la commune s'étend sur près de 40 000 ha. Sa population d'un peu plus de quatre mille habitants, principalement d'origine italienne, est fortement rurale (44%). La taille des 853 exploitations recensées sur le cadastre varie assez fortement.

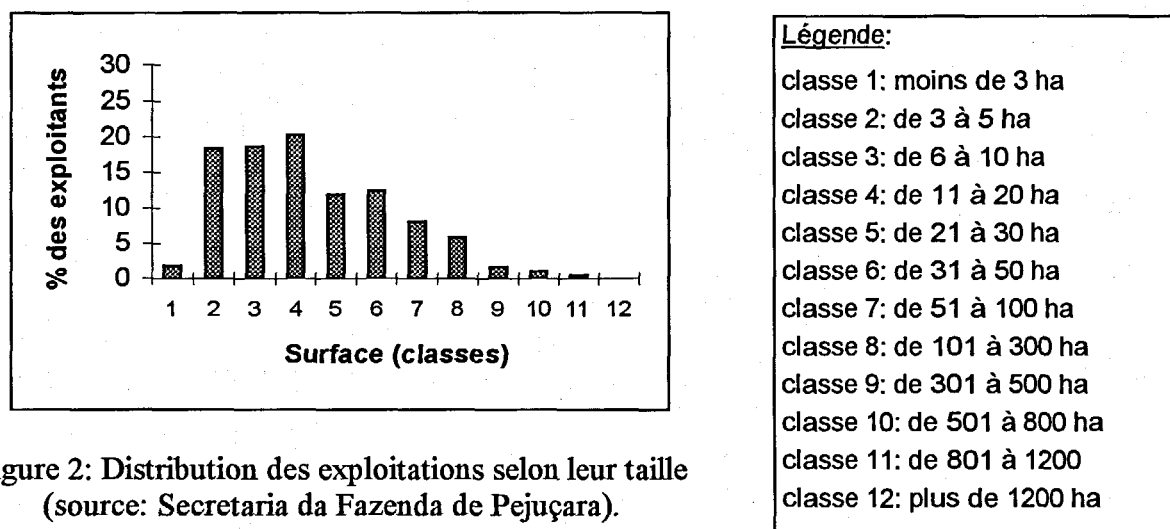


Figure 2: Distribution des exploitations selon leur taille (source: Secretaria da Fazenda de Pejuçara).

Située sur l'épanchement basaltique sud-américain, la région est marquée par des pentes dont les gradients sont généralement compris entre 3 et 10%, avec des maxima de 15%. L'amplitude latérale des ondulations est de l'ordre de quelques centaines de mètres, les dénivelés variant entre 50 et 100 m. Les altitudes s'échelonnent entre 300 et 500 m.

Les sols sont des latosols de couleur rouge sombre, bien structurés, épais généralement de plusieurs mètres et très riches en argile (70%). Ils sont bien drainés (Castro et Chevallier, 1993) du fait de microagrégats qui confèrent au sol des caractéristiques hydriques proches de celles d'un sable filtrant (Derpsch *et al.*, 1991).

Le climat de la région est de type tempéré humide, à saisons nettement marquées, avec une température moyenne de 24°C en janvier et de 13°C en juillet. La moyenne annuelle des précipitations est de 1700 mm; les moyennes mensuelles sont comprises entre 120 et 150 mm, les moyennes des minima se produisant en mars et en novembre, le maximum en octobre. Ces hauteurs et distributions moyennes masquent en fait une très grande variabilité interannuelle (Castro et Chevallier, 1993). Les intensités (tableau 1) peuvent être élevées, bien qu'inférieures à celles des climats tropicaux ou méditerranéens (Chevallier et Castro, 1991).

Au regard des critères classiques « climat-sols-pente-occupation du sol », la région a été classée parmi l'un des deux types de région du territoire national brésilien à fort risque d'érosion (Borges et Bordas, 1988). La part des caractéristiques naturelles doit cependant être relativisée.

Tableau 1 - Intensité - Durée - Fréquence des pluies de la région (in Chevallier et Castro, 1991)

réurrence (années)	5 mn	10 mn	15 mn	30 mn	1 heure	90 mn	2 heures	3 heures
1	114,8	89,4	76,9	68	56,3	23,2	17,8	14,4
2	129,7	101,2	87,2	77,5	64,7	27,1	20,4	16,4
3	135,7	105,9	91,4	81,3	68,2	28,8	21,5	17,3
5	147,7	115,5	99,9	89,1	75,3	32,2	23,8	18,9
10	160,3	125,6	108,9	97,4	82,9	36	26,2	20,7
20	172,3	135,2	117,5	105,4	90,2	39,8	28,6	22,4
50	187,3	147,3	128,4	115,5	99,6	44,8	31,6	24,6

3. Les causes anthropiques de l'érosion et les stratégies successives

3.1 Guaranis et portugais

Les premiers habitants de la région ont été les indiens *guaranis* à partir du Vème siècle (Reichardt Filho et Dhein, 1990). Traditionnellement, ils pratiquaient la chasse, la pêche et l'agriculture (maïs, pomme de terre, haricots). Les portugais sont entrés en contact avec eux dès le XVIème siècle sans grand succès puisque leur intention était de les capturer afin de les réduire en esclavage et de les emmener travailler dans les plantations de canne à sucre de la région de São Paulo.

Au début du XVIIème siècle, les espagnols sont arrivés dans le nord de l'état actuel du Rio Grande do Sul, où des missionnaires jésuites s'étaient déjà installés. Le système d'occupation de la terre était alors l'*encomienda* : le roi d'Espagne donnait de grandes surfaces de terre en récompense de services rendus et le nouveau propriétaire utilisait les indiens autochtones pour les travaux, en échange de la subsistance et de l'instruction religieuse.

A la fin du XVIIème siècle, les jésuites ont créé des *reduções* (Lacouture, 1991; Lugon, 1968) qui consistaient à isoler les indiens des colons blancs en respectant leur culture et leurs traditions. Dans ces *reduções* les jésuites ont introduit de nouvelles techniques, en particulier la machette en fer qui servait à défricher, et de nouvelles activités agricoles : culture du coton, du blé, des arbres fruitiers, de l'arbre à maté, et élevage bovin. Ils vivaient et travaillaient la terre en communauté. Ce système portait le nom de *tupamboé* (terre de *Tupa*, ou de la communauté) (Puhl, 1990). Les indiens défrichaient en respectant les plus grands arbres et brûlaient les résidus. Sur cet espace ils semaient à l'aide du *saraqua* (un bâton à l'extrémité pointue qui était utilisé pour ouvrir de petits trous à la surface du sol, dans lesquels étaient mis les graines). Cette pratique de brûlis partiel et localisé assurait une bonne protection au sol. Les *guaranis* changeaient fréquemment de lieu ce qui permettait une reconstitution naturelle des espaces affectés par les brûlis.

En 1750 le gouvernement de Madrid décidait la fermeture des *reduções* ou *missions* au profit du système colonial. Les indiens, refusant la décision, ont tenté de résister pendant plusieurs années (cet épisode a fait l'objet du célèbre et récent film de R. Joffé : *Mission*). Les survivants ont migré vers les villages portugais les plus proches ou vers l'Argentine ; quelques uns sont restés dans la région, dispersés dans la campagne et la forêt (Lacouture, 1991; Puhl, 1990).

Entre 1850 et 1890, la région était principalement habitée par des *caboclos* (portugais nés au Brésil et métis) qui exploitaient le maté et pratiquaient des cultures vivrières (maïs, manioc et haricots). Les techniques agricoles étaient les mêmes que celles utilisées par les indiens *guaranis* (Reichardt Filho et Dhein, 1990).

3.2 Colonisation italienne et allemande

3.2.1. L'installation

En 1824 les premiers émigrants allemands arrivaient au Rio Grande do Sul et s'installaient près des grandes rivières Sino, Caí et Taquarí dans le nord-est de l'état. A partir de 1850, ils commençaient à migrer vers l'ouest de l'état, jusqu'à Santa Maria. Selon Zamberlam et Zamberlam (1991), entre 1875 et 1877, de nouveaux émigrants d'origine italienne ont formés trois colonies dans la partie nord-est du Rio Grande do Sul (Garibaldi, Bento Gonçalves, et Caxias do Sul). Santa Maria, la quatrième colonie, plus à l'ouest, a été occupée entre 1877 et 1882 ; c'était la plus grande. En 1888 la cinquième colonie, celle d'Ijuí a été créée au nord de Santa Maria. Entre 1890 et 1940 sont venus s'installer, au nord de l'état, des migrants d'origine italienne qui étaient déjà installés dans les premières colonies ; ils participaient à la construction du chemin de fer. Les colons ont ainsi occupé tout le nord de l'état du Rio Grande do Sul (Reichardt Filho et Dhein, 1990 ; Zamberlam et Zamberlam, 1991).

La région d'Ijuí a été divisée par l'administration en parcelles rectangulaires de 25 ha (250 m de largeur pour 1000 m de longueur, appelées *colonnes* - figure 3). Ces divisions étaient tracées dans les directions nord-sud et est-ouest (appelées *lignes*) sans respecter la topographie. Seules les rivières les plus importantes étaient prises en considération (Reichardt Filho et Dhein, 1990). Cette division en petites propriétés au découpage quadrillé subsiste encore très largement aujourd'hui, ce qui ne facilite pas des aménagements cohérents à l'échelle d'un bassin versant.

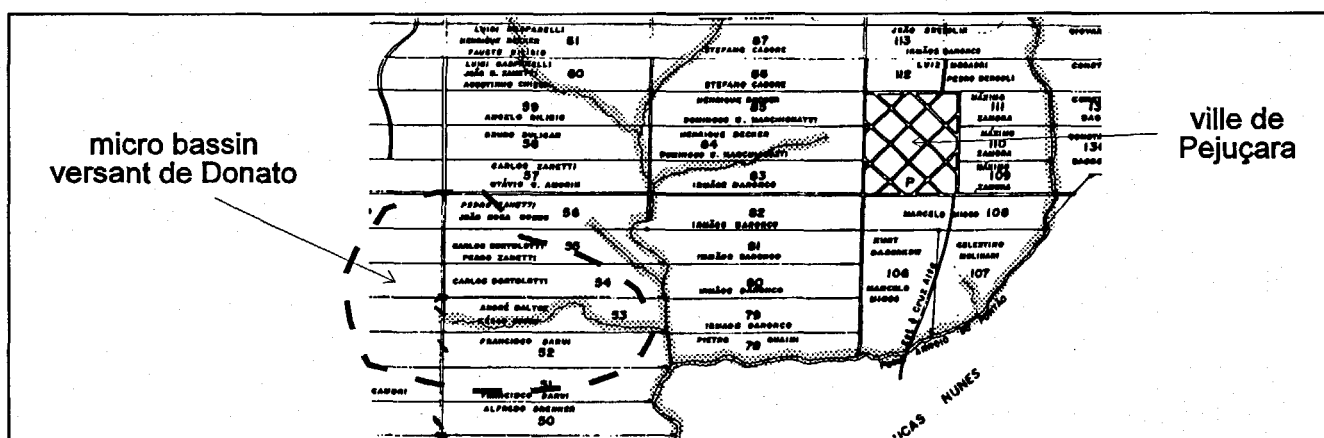


Figure 3 - Divisions foncières *coloniales* et réseau hydrographique à Pejuçara (d'après Zamberlam et Zamberlam, 1991)

Dans la région de Pejuçara et de Cruz Alta, la distribution des terres s'est opérée différemment : le gouvernement brésilien avait chargé une société belge de la construction du chemin de fer qui, incapable de remplir seule son contrat, a dû engager une entreprise brésilienne ; les intermédiaires de cette transaction ont reçu en paiement les terres de la région qui ont été revendues à un petit nombre de familles. Ces terres sont aujourd'hui les grandes propriétés de la région.

Les colons construisaient leurs installations près des sources d'eau potable. Les parcelles agricoles étaient au plus près des maisons, à proximité de l'eau, et donc dans la partie aval des versants. Le système d'occupation de la terre devenait *familial*. Même si les méthodes de cultures étaient héritées des indiens *guaranis* et des *caboclos*, les défrichements se sont intensifiés avec la coupe des grands arbres. La pratique de la jachère a été abandonnée.

3.2.2 L'agriculture commerciale

Autrefois, l'agriculture était vivrière. Les colons travaillaient à la construction du chemin de fer pour acheter ce qu'ils ne produisaient pas. A partir de 1911, avec la mise en service de la voie ferrée qui reliait la région aux grands centres de consommations et aux ports d'exportation (Santa Maria, Porto

Alegre, Pelotas et Rio Grande), la situation a changé très vite. Les parcelles agricoles ont été agrandies et la traction animale s'est généralisée pour la préparation du sol.

L'agriculture a été intensifiée dans un but commercial. La pratique du brûlis s'est accrue et a été opérée sur les mêmes parcelles à plusieurs reprises, détruisant la matière organique et la vie microbienne de la couche superficielle du sol. Par suite l'érosion s'est intensifiée avec une notable réduction de la fertilité du sol. Entre 1920 et 1950 la productivité de maïs est passée de 2 300 à 600 kg/ha et celle des haricots de 1 200 à 200 kg/ha (Callai, 1987).

3.2.3 L'agriculture mécanisée

Avec les nouvelles perspectives commerciales, c'est d'abord une culture mécanisée, principalement de canne à sucre destinée à la production d'alcool (*cachaça*), qui s'est développée. Dans la région de Pejuçara elle commence en 1930. La mécanisation (tracteurs et machines lourdes) devient systématique dans les années 50 avec l'introduction du blé et plus tard, dans les années 60, du soja. La canne à sucre disparaît totalement au bénéfice du blé et de l'avoine pour les cultures d'hiver, et du maïs et du soja pour les cultures d'été : en 1960, il existait une dizaine de distilleries artisanales sur la commune de Pejuçara, alors qu'il n'en subsiste qu'une en 1994 (Zambra, comm. orale, 1993)

3.2.4 Le «boom» du soja

1973 constitue le début d'un nouveau cycle bien caractérisé dans l'agriculture de la région. Le prix du soja, à la bourse de Chicago qui détermine son cours international, atteint 520 dollars la tonne en juin 1973 pour 132 dollars en 1972. L'euphorie des agriculteurs se manifeste par un défrichage frénétique pour agrandir leurs parcelles et étendre la culture du soja. La conséquence sur l'érosion des sols est immédiate avec notamment l'apparition de grandes ravines (*voçorocas*). Reichardt Filho et Dhein (1990) en identifient les principaux facteurs :

- l'intensification du défrichage ;
- le passage des machines agricoles dans les parcelles (2 cycles culturaux par an comprenant : préparation du sol, semis, traitements, récolte, etc.) ;
- la dégradation de la structure et le compactage du sol qui sont les conséquences de cette mécanisation ;
- la perte de la matière organique, conséquence du brûlis et du fréquent retournement du sol, exposant celui-ci au soleil et aux précipitations ;
- le non respect d'une humectation correcte du sol pour le travailler, à cause du court espace de temps entre la récolte et le semis de la nouvelle culture ;
- la préparation du sol et le semis dans le sens de la pente ;
- l'expansion de la monoculture et la non-prise en compte des caractéristiques naturelles des sols.

4. Les stratégies contre l'érosion

4.1 Les premières préoccupations de lutte contre l'érosion

En 1958, la technique des banquettes a été préconisée dans la région par le gouvernement, inspirée par la recherche nord-américaine. Mais trois agriculteurs seulement ont accepté les nouvelles techniques anti-érosion. Un des premiers à se préoccuper de façon objective et pratique de l'érosion a été, selon Reichardt Filho et Dhein (1990), le directeur de l'industrie des machines agricoles IMASA, au début des années soixante. Il a commencé une campagne contre le labour de la couche superficielle du sol. Selon lui, à cette époque, cette pratique culturale était la principale cause d'érosion. Il recommandait l'utilisation d'une *sous-soleuse* qui travaillait le sol sans le retourner. Mais cette nouvelle technique n'a pas été acceptée par les agriculteurs qui étaient habitués à travailler le sol avec les méthodes traditionnelles : l'érosion n'était pas encore visible, sauf à l'occasion de l'apparition de ravines.

4.2 Les banquettes

En 1964, l'IMASA propose le *pé de pato* (littéralement *pied de canard*), machine qui permet un sous-solage sans retourner le sol. L'année suivante, l'IMASA lance dans le commerce une machine (*terraceador*) pour construire des banquettes à base étroite (bourrelet d'environ 2 m de large). La largeur des bandes cultivées qui suivent les courbes de niveau dépend de la pente du terrain. A ce moment là, les directeurs et fonctionnaires de cette entreprise commencent une grande campagne de publicité pour les nouvelles machines agricoles. En 1965, 117 *pés de pato* et 75 *terraceadores* sont vendus.

En 1967, l'IMASA propose un nouveau modèle de *terraceador* pour des banquettes à base large (bourrelet de 4 à 6 m de large). La principale différence entre les banquettes à base étroite et les banquettes à base large est que le bourrelet de cette dernière, plus large et moins haut, permet de cultiver toute la surface, y compris le bourrelet lui-même. A partir de cette date, la technique des banquettes, de base étroite ou de base large, est appliquée à toutes les parcelles agricoles et modèle le paysage de la région. Les coopératives généralisent la pratique en stimulant son application. C'est ce qu'aujourd'hui les agriculteurs appellent la technique *conventionnelle*.

4.3 Le programme *Microbassins* du gouvernement

En 1987, le gouvernement brésilien a lancé le « Programme National de Microbassins Hydrographiques », dont le but principal est la conservation du sol, afin d'éviter sa dégradation et d'augmenter la productivité agricole (Reichardt Filho et Dhein, 1990). Dans le programme *microbassins*, qui concerne l'ensemble de l'immense domaine agricole brésilien, la caractéristique principale était de préparer le sol en respectant la topographie et le milieu, plutôt que les limites cadastrales des parcelles. Les objectifs étaient :

- 1) Sensibiliser les agriculteurs au problème de l'érosion et stimuler leur participation directe à l'élaboration et à l'exécution du programme de microbassins ;
- 2) Stimuler la rotation des cultures et les pratiques de la culture et de l'élevage ;
- 3) Stimuler l'utilisation des engrais organiques ;
- 4) Comblent les ravines profondes localisées en général en limite cadastrale des propriétés ;
- 5) Créer des banquettes sur toute la surface agricole du bassin en suivant les courbes de niveau ;
- 6) Nivelent et conservent les routes et voies de communication : l'eau de ruissellement doit être drainée vers les parcelles agricoles ;
- 7) Protéger les cours d'eau avec la reconstitution des galeries forestières sur les berges.

Ce programme ambitieux a été peu appliqué jusqu'à aujourd'hui. Quelques bassins ont été aménagés à l'initiative d'organes gouvernementaux ou de coopératives, mais il n'y a pas eu de participation massive des agriculteurs. Le motif est qu'il n'est pas facile de travailler le sol en commun. Cela nécessite d'abord de bonnes relations entre voisins : il faut, par exemple, être d'accord au moment de la préparation du sol, etc..

Les programmes de microbassins les plus récents encouragent la nouvelle technique du semis direct décrite plus loin.

4.4 Le rôle des grandes coopératives agricoles

Dans ces régions, les coopératives agricoles sont puissantes et bien organisées. Leur action n'est pas limitée à la collecte, au stockage et à la commercialisation des grains. Elles ont un rôle de formation et de diffusion des techniques culturales à l'aide de conférences et de démonstrations pour les agriculteurs et leurs enfants. Un certain nombre de coopératives dynamiques abordent des travaux de recherche en association avec les universités et le Secrétariat de l'Agriculture du Rio Grande do Sul. Depuis 1967, cette recherche a été centralisée à la Fecotriço (Fédération des Coopératives Céréalières du Sud du Brésil) et, en 1988, une fondation est créée pour gérer un centre d'expérimentation et de recherche (Fundacep) à Cruz Alta. 75 coopératives de la région sont associées et participent aux financements de la recherche (Bonetti, 1991). La Fundacep mène la

recherche et assure la diffusion aux techniciens des coopératives. Ceux-ci la diffusent à leur tour aux agriculteurs des régions de chaque coopérative. Les agriculteurs sont ainsi très bien informés de la recherche et des techniques nouvelles.

En mars 94 un groupe d'ONG (Club des amis de la terre de Cruz Alta, FECOTRIGO, plusieurs coopératives locales, les universités privées d'Ijuí et de Cruz Alta) a réussi à réunir plusieurs milliers d'agriculteurs, venus de tout le sud du Brésil, mais aussi d'Uruguay et d'Argentine, sur le thème du « semis direct sur paillage ». La réussite de ce type de manifestation prouve l'extrême motivation des producteurs agricoles pour les améliorations que peut leur apporter la recherche environnementale.

4.5 Le semis direct

4.5.1 Origine

Le semis direct est une technique de conservation qui a pour caractéristique principale le non retournement du sol et sa protection à travers les résidus de la culture antérieure qui sont laissés à la surface du sol.

Pour ce travail deux machines spéciales sont utilisées. Après la récolte, le *rolo-faca* (littéralement *rouleau-couteau*) passe sur le sol pour couper les résidus et les laisse en surface. Puis, le semis est fait avec une machine qui ouvre des lignes de 5 à 6 cm de profondeur et y dépose les graines. Les adventices et les ravageurs sont contrôlés par des voies chimiques et également par des rotations appropriées (par exemple, le lupin est semé avant le maïs, jamais avant le soja parce que cela entraîne des maladies).

La recherche sur le semis direct a commencé au Brésil dans l'état du Paraná à partir de 1977 à la suite d'une collaboration entre l'IAPAR (Institut Agronomique du Paraná) et le *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ, compagnie allemande pour la coopération technique). Des coopératives agricoles du Paraná et l'Embrapa (organisme fédéral brésilien de recherche agronomique) ont participé également à la recherche.

La région du Paraná a les mêmes types de sols ; sa topographie et son climat sont proches des conditions du Rio Grande do Sul. Calquées sur la recherche menée au Paraná, les techniques du semis direct sont arrivées au Rio Grande do Sul et de nouveaux travaux de recherche ont été développés par les coopératives régionales, les universités et les organismes gouvernementaux. La recherche a été d'abord menée sur des parcelles expérimentales, puis à l'échelle du bassin versant. La comparaison des résultats obtenus sur l'érosion par plusieurs chercheurs selon le type de pratique, semis direct ou préparation conventionnelle, montrent une très grande réduction de l'érosion du sol dans les parcelles sous semis direct (tableau 2). Les chercheurs l'expliquent essentiellement par le fait que les résidus végétaux assurent une protection contre l'impact des gouttes de pluies et un obstacle à l'écoulement superficiel, limitant ainsi le détachement des particules de sols.

Cette nouvelle technique a cependant fait l'objet de nombreuses critiques de la part des agriculteurs. Elles concernaient surtout les aspects suivants :

- 1) L'absence ou la difficulté d'équipement des petits propriétaires ;
- 2) Le compactage important de la couche superficielle du sol, lié à la texture très argileuse.

A ces questions, Ciro Petrere, agronome de la Fundacep (comm. orale, 1993), donne les réponses suivantes :

- 1) Les machines à traction animale peuvent être facilement adaptées, à bas coût, pour le semis direct ;
- 2) Le problème de compactage du sol est résolu par le système de *semis direct sur paillage* qui exige une rotation appropriée des cultures de façon à équilibrer chimiquement et physiquement le sol.

Tableau 2 - Pertes en sol par érosion pour différentes méthodes de préparation du sol. Données de plusieurs travaux de la région sud du Brésil (in Derpsch *et al.*, 1991).

source	perte en sol (t/ha) conventionnel (C)	perte en sol (t/ha) semis direct (SD)	C/SD
Benatti <i>et al.</i> , 1977	40,14	13,40	3,00
Benatti <i>et al.</i> , 1977	3,11	2,50	1,24
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	1,99	0,09	22,10
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	0,72	0,65	1,11
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	3,35	0,24	13,96
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	0,39	0,00	-
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	1,58	1,22	1,30
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	1,00	0,38	2,63
Mondardo <i>et al.</i> , 1979	19,00	5,50	3,45
Saraiva <i>et al.</i> , 1981	2,33	0,19	12,20
Saraiva <i>et al.</i> , 1981	8,72	0,21	41,50
Sorrenson et Montoya, 1984	9,10	5,60	1,63
Sorrenson et Montoya, 1984	57,70	2,10	27,40
Moyenne	11,47	2,47	4,64

4.5.2 Le semis direct sur paillage

Cette technique consiste à effectuer un semis direct sur les résidus déjà coupés par la machine, mais avec une rotation des cultures qui prend en compte l'équilibre chimique et physique du sol. Comme normalement, les agriculteurs partent de la préparation conventionnelle pour commencer le semis direct sur des sols déjà très dégradés, la séquence de préparation suivante doit être suivie :

- 1) Vérification de la présence d'un horizon compacté. Si oui, il faut faire une décompactage mécanique avec le *pé de pato* ;
- 2) Correction de l'acidité du sol avec un amendement calcaire ;
- 3) Pratique des rotations suivantes :
 - première année : avoine, puis soja,
 - deuxième année : blé, puis soja,
 - troisième année : légumineuse (vesce, lupin), puis maïs.

Cette rotation permet d'utiliser le maïs et les légumineuses pour décompacter le sol, grâce à leur système racinaire qui rompt la couche compactée. Les racines de chaque plante cherchent l'eau dans le sol, à différentes profondeurs (pour l'avoine : 60 à 80 cm, le soja : 60 à 90 cm, le blé : 40 à 60 cm, les légumineuses : 20 à 40 cm, le maïs : 160 à 180 cm). Cela permet d'utiliser la réserve utile en eau, ainsi que les qualités chimiques des sols, à différentes profondeurs aux différentes périodes de la rotation.

Le semis direct sur paillage devrait présenter les avantages suivants par rapport au système de culture conventionnel :

- 1) protection de la surface du sol contre l'effet de l'impact des gouttes des pluies ;
- 2) meilleur stockage de l'eau dans la couche superficielle grâce aux résidus végétaux. Les sols de cette région sont très profonds (de 1 à 12 m) et ont un drainage très important ;
- 3) réduction du nombre de passages des machines sur le terrain, d'où une économie en carburant et en heures de travail ;
- 4) augmentation de la teneur en matière organique dans la couche superficielle du sol, d'où une amélioration de la structure physique du sol.

4.5.1 Quelques résultats:

Plusieurs résultats peuvent être mentionnés concernant la région d'Ijuí pour illustrer les principales différences, en termes d'érosion, entre préparation conventionnelle et semis-direct.

A l'échelle de microparcelles de 1 m²

Des microparcelles de 1m², équipées d'un collecteur et d'un réservoir permettant de mesurer les quantités d'eau ruisselée et de sédiments, ont été installées sur des parcelles respectivement préparée conventionnellement et en semis direct. Les observations sur semis direct ont été faites sur une parcelle préparée ainsi depuis seulement deux ans, après vingt années consécutives de travail conventionnel. L'agriculteur n'avait pas opéré de décompactage mécanique du sol et le cycle légumineuses/maïs n'avait pas encore été fait. Ces mesures ont été réalisées dans le cadre du Projet Potiribu (collaboration entre l'Institut de Recherches Hydrauliques de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul et l'ORSTOM).

Ce travail a été mené de 1991 à 1993 d'une part sous pluies naturelles, d'autre part sous pluies simulées. Les résultats (coefficients de ruissellement et pertes en sol) sont donnés dans le tableau 3 pour les événements pluvieux les plus importants et dans le tableau 4 pour les pluies simulées.

Chaque simulation comportait quatre épisodes pluvieux séparés de 24 heures. La pluie appliquée était de 80 mm en 75 mn. Les intensités ont été de 60 mm/h pendant les 20 premières minutes, puis successivement pendant 10 mn, 100 mm/h et 80 mm/h, 60 mm/h pendant 15 mn et 40 mm/h les 20 dernières minutes.

Dans les deux cas, sous pluies naturelles et sous pluies simulées, les pertes en sol sont nettement inférieures pour le semis direct. Concernant les coefficients de ruissellement, s'il n'y a pas de tendance nette sous pluie simulée, ils sont systématiquement inférieurs sous pluie naturelle pour la parcelle en semis direct.

Tableau 3: Coefficients de ruissellement et charges solides pour des parcelles sous pluie naturelle.

date	nbre jours après le semis	culture	pluie (mm)	érosivité (Wischmeier) (t m mm/ha h)	conventionnel		semis direct	
					coeff. ruiss. (%)	charge solide (g)	coeff. ruiss. (%)	charge solide (g)
19/01/93	47	soja	68,6	1,3	27	51,0	4,0	—
28/01/93	56	soja	88,5	31,9	14	31,0	0,5	—
21/02/93	80	soja	50,9	14,6	9	8,0	0,0	0,0
07/03/93	94	soja	113,3	29,7	17	10,0	0,4	0,2
09/03/93	96	soja	48,9	15,1	48	4,0	0,0	0,0
25/03/93	112	soja	43,6	33,0	46	7,0	7,0	0,3
07/07/93	25	blé	106,2	23,9	30	97,0	25,0	3,8
12/07/93	30	blé	51,1	10,7	65	195,0	39,0	4,4
27/09/93	107	blé	21,5	0,0	8	0,7	0,0	0,0
04/10/93	114	blé	35,0	-	13	3,0	0,0	0,0
17/10/93	127	blé	62,7	20,3	31	23,0	0,0	0,0

Tableau 4: Coefficients de ruissellement et charges solides pour des parcelles sous pluie simulée.

date	nb jours après le semis	culture	pluie (mm)	conventionnel		semis direct	
				coeff. ruiss. (%)	charge solide (g)	coeff. ruiss. (%)	charge solide (g)
29/05-01/06/91	9	avoine	80	26	48		
27-30/08/91	99	avoine	80	55	79		
10-13/12/92	8	soja	80	66	181		
26-29/03/93	113	soja	80	93	82		
14-17/05/93	37 après la récolte du soja	avoine	80			97	44,0
01-04/09/93	122	avoine	80			51	2,8

A l'échelle de parcelles de 77 m² sous pluies naturelles

Le tableau 5 présente les coefficients de ruissellement et les pertes en sol de parcelles normalisées de *Wischmeier* sous pluies naturelles installées au Centro de Formation de la Coopérative Agricole d'Ijuí, sur trois années de culture préparées avec le conventionnel et le semis direct. Il s'agit de moyennes sur l'année agricole.

Tableau 5 - Coefficients de ruissellement (R) et pertes en sol (PS) sous pluie naturelle, avec différents systèmes de préparation du sol (parcelles de 77 m², 7,5% de pente, sol ferrallitique) (in Cassol, 1986).

année agricole			blé/soja	blé/soja	avoine/maïs	avoine/maïs
			conventionnel	semis direct	conventionnel	semis direct
1978/79	PS	t/ha	7,1	0,54	9,1	0,2
	R	%	1,8	0,3	2,6	0,1
1979/80	PS	t/ha	12	0,5	9,5	0,5
	R	%	5,2	0,5	5,5	0,4
1980/81	PS	t/ha	4,4	0,4	6,9	1,5
	R	%	2,3	0,6	3,7	1,8
Total 1978/81	PS	t/ha	23,5	1,5	25,4	2,2
	R	%	3,1	0,4	3,9	0,8

Les différences de pertes en sol sont très importantes entre les deux méthodes pour les deux cycles culturaux. Les charges solides des parcelles préparées conventionnellement sont 16 fois supérieures à celles des parcelles de semis direct pour le cycle blé/soja et 11 fois pour le cycle avoine/maïs.

Les différences entre les coefficients de ruissellement sont moins importantes, mais les parcelles conventionnelles ont un ruissellement tout de même 7 fois supérieur à celles de semis direct lors du cycle blé/soja et 5 fois supérieur lors du cycle avoine/maïs.

A l'échelle des bassins versants

Il n'y a pas encore de données quantitatives disponibles, mais des observations visuelles faites sur les versants étudiés par la Fundacep montrent à l'évidence qu'il n'y a pas de traces d'érosion en ravines dans les zones travaillées en semis direct, alors que, sur les mêmes versants, on note leur présence dès que la pente dépasse 10 à 15% dans les zones travaillées conventionnellement..

Ces résultats limités semblent bien confirmer que le semis direct est une technique qui limite effectivement les pertes en sol. En effet, à toutes les échelles, elles sont nettement moindres que pour les préparations conventionnelles. Pour ce qui est du bilan ruissellement - infiltration, les différences sont moins nettes, et c'est un des éléments du débat, bien que le recul et les résultats scientifiques manquent encore. Il semble que l'infiltration sous semis direct ne soit *in fine* pas moindre, voire plus élevée que pour les préparations conventionnelles, et cette absence de différence, voire cette

amélioration s'expliquerait par une amélioration de la structure physique du profil après quelques années (Petrere, communication orale) et par une meilleure stabilité des agrégats (Roth *et al.*, 1988). Des méthodes complémentaires, utilisant l'activité de la faune du sol pour créer des macropores, sont d'ailleurs étudiées.

4.6 Perspectives: utilisation de l'activité biologique

La Fundacep étudie actuellement un scarabée appelé *coro*. Cet insecte vit dans le sud du Brésil, en Argentine et au Paraguay. Son habitat de prédilection se trouve dans les champs peu travaillés et les parcelles préparées avec le semis direct lui conviennent bien. Le *coro* adulte vit à la surface du sol et s'alimente de la végétation. Il creuse des galeries profondes quasi rectilignes, dont il durcit les parois ; il y pond et ses larves s'y développent. Les larves transportent la végétation de la surface du sol dans les galeries, avant de retourner à l'âge adulte vers la surface du sol. La présence de ce scarabée entretient une macroporosité importante jusqu'à des profondeurs appréciables (bien au delà d'un mètre). Il déplace en outre de la matière organique vers les horizons inférieurs du sol. Pour réguler sa démographie, il suffit d'un cycle de maïs qu'il n'apprécie guère, alors qu'il affectionne le soja, le blé et l'avoine.

La population moyenne dans les sols étudiés est de 20 *coros*/m² et de 18 à 22 galeries/m². La simulation d'une averse présentant une intensité de 250 mm/h a été réalisée en laboratoire sur un cube de sol de 50 cm de côté avec successivement 0, 13 et 26 galeries /m² construites avec de la toile métallique, afin de représenter leur aspect naturel carapacé. Le tableau 6 présente les résultats d'infiltration. On voit clairement l'augmentation de l'infiltration avec l'augmentation des galeries/m².

Tableau 6 Infiltration d'une pluie simulée de 250 mm/h pour plusieurs densités de galeries. (Source : Petrere, comm. orale, 1993).

nombre de galeries/m ²	% de volume infiltré après une heure de pluie
0	26
13	46
26	100

5. Conclusion

En dépit, ou à cause, d'une situation naturelle favorable à l'érosion et d'une occupation historique agressive vis à vis de l'environnement (défrichement non contrôlé, brûlis, mécanisation intense, monoculture), les agriculteurs de cette région ont profité de l'importance des surfaces disponibles permettant l'extension des cultures pour maintenir la productivité, au lieu de conserver le sol. Ils se sont par force peu à peu sensibilisés aux problèmes d'érosion et ont su profiter des expérimentations et des travaux scientifiques réalisées par les coopératives agricoles, les ONG et les instituts de recherche.

L'introduction du semis direct sur paillage connaît actuellement un attrait croissant. Les effets protecteurs vis-à-vis du sol de cette technique sont unanimement reconnus. Les conséquences sur la productivité devraient s'avérer positives et sont expliquées par l'amélioration de la structure physique et chimique du sol. Lors de la dernière campagne de soja (décembre 93 à avril 94) les agriculteurs de la région de Cruz Alta qui ont adopté le semis-direct ont eu une production bien supérieure à celle des agriculteurs qui ont préparé le sol de manière conventionnelle (Bordas, comm. orale, 1994). Ce fait, ajouté à tout le travail de recherche et de diffusion des coopératives de la région, a fait que pratiquement tous les agriculteurs de la région ont changé au printemps 1994 leurs pratiques et opté pour le semis direct. Naturellement, le facteur économique a joué un rôle très important dans leur décision.

Tous les chercheurs de la région sud sont d'accord sur les avantages du semis direct par rapport à la préparation conventionnelle dans ce type de milieu. La question en débat est de savoir si l'adoption de cette pratique permet ou non de s'affranchir de l'aménagement en banquettes. Les défenseurs des

microbassins préconisent le semis direct sur des banquettes à base large (pente moyenne) ou étroite (pente forte), s'opposant ainsi à une tendance en constante croissance vers une utilisation du semis direct avec suppression des banquettes. Ce débat est actuellement au coeur des préoccupations des agronomes de la région. Les arguments pour et contre concernent la gestion de l'eau qui doit ruisseler le moins possible. La diminution de la charge solide au sein des parcelles n'est pas suffisante pour empêcher les ravinelements et la question est de savoir s'il faut ou non des mesures d'aménagement complémentaires, les microbassins étant envisagés dans ce cadre. Les caractérisations hydrodynamiques sont encore insuffisantes pour trancher. L'agriculteur semble voir surtout, au delà de la résolution des divergences de voisinage, un intérêt économique : l'entretien des banquettes coûte cher et si une nouvelle technique lui permet d'y échapper tout en résolvant les problèmes d'érosion, il l'adoptera rapidement. Certains tenants du semis direct effectuent aussi un travail pour favoriser l'adoption de rotations culturales en remplacement de la quasi-monoculture du soja, avec des objectifs qui concernent l'amélioration physique des sols mais également une moindre dépendance économique.

6. Sources d'information :

En plus la bibliographie consultée, plusieurs des informations glanées pour cette article sont le résultat de conversations avec :

- Antoninho Zambra, agriculteur à Pejuçara ;
- Ciro Petrere, ingénieur agronome à la Fundacep, Cruz Alta ;
- Marc Pierre Bordas, professeur à l'IPH de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul ;
- Rivaldo Albino Dhein, ingénieur agronome à la Fundacep, Cruz Alta ;
- le Conseil Municipal de Pejuçara ;
- et plusieurs autres agriculteurs.

Cette étude bénéficie du soutien financier du CNPq (Brésil), de l'ORSTOM (France) et de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul (Brésil).

7. Bibliographie

- Bonetti L. P. 1991. *Vinte anos gerando tecnologia para o produtor cooperativo*. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigô. FUNDACEP (1971 - 1991). Cruz Alta. 33 pp.
- Borges, A. L. et Bordas, M. P. 1990. *Choix de bassins représentatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur le plateau basaltique sud américain*. Sediment Budget (Proceedings of the Porto Alegre Symposium, décembre 1988). IAHS Publ. n 174, 1988.
- Callai J. 1987. *A agricultura na Historia de Ijuí*. UNIJUI ed. Ijuí. 28 pp.
- Cassol E. L. 1986. *Erosão do Solo. Influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo*. Governo do Estado. Secretaria da Agricultura. Departamento de Pesquisas. Instituto De Pesquisas de Recursos Renováveis « Ataliba Paz ». Publicação IPRNR número 15. Porto Alegre. 39 pp.
- Castro N. M. R., Chevallier P. 1993. *Funcionamento hidrossedimentológico de uma terra roxa estruturada ao longo do ciclo cultural sob chuvas simuladas (Projeto Potiribu-RS)*. In: Simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, 10., 1993, Gramado. Anais 2, pp. 457-465. Gramado: ABRH/APRH.
- Chevallier P., Castro N. M. R. 1991. *As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil)*. In : simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, 10., 1991, Rio de Janeiro. Anais 3, pp. 183-192. Rio de Janeiro : ABRH/APRH.

- Derpsch R., Roth C. H., Sidiras N., Köpke U. 1991. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn. 272 pp.
- Lacouture J. 1992. **Jésuites.** T. 1. Les conquérants. ch. XIII. Une théocratie chez les Guaranis. Le seuil, Paris.
- Lugon C. 1968. **A República comunista cristã dos guaranis - 1610/1768.** Série Ecumenismo e Humanismo. Volume 12. Ed. Civilização Brasileira. Rio de Janeiro. 347 p. Traduit par Alvaro Cabral (titre original La republique communiste chrétienne des guaranis - 1610/1768).
- Puhl J. I. 1990. **Cultura Indígena e a Evangelização.** cadernos « Culturas oprimidas e Evangelização no RS ». VI Encontro Intereclesial de CEBs/RS. Rio Pardo. 15 pp.
- Reichardt Filho L., Dhein R. A. 1990. **Um Histórico da « Agropecuaria Conservacionista do Solo » em Ijuí.** Ijuí. 74 pp.
- Roth C H., Meyer B., Frede H. G., Derpsch R. 1988. **Effect of Mulch Rates and Tillage Systems on Infiltrability and Other Soil Physical Properties of an Oxisol in Paraná, Brazil.** Soil & Tillage Research, 11 (1988) 81-91. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Zamberlam J., Zamberlam R. O. 1991. **Pejuçara - suas origens na Colonia Visconde de Rio Branco - 1899 a 1930.** Pejuçara. 123 pp.