

Scientific registration n° : 734
Symposium n° : 2
Presentation : poster

Dynamique de l'infiltrabilité de sols ferrallitiques cultivés sur le plateau basaltique au sud du Brésil

Dynamic infiltrability of cultivated ferrallitic soils in the Southern Brazil

CASTRO Nilza (1), AUZET A.Véronique (2), SILVEIRA André (1), CHEVALLIER Pierre (3)

(1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, CxP 15029, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

(2) CEREG-URA 95 CNRS, ULP, 3 rue de l'Argonne, F-67083 Strasbourg Cedex, France

(3) ORSTOM-Hydrologie, BP 5045, F-34032, Montpellier Cedex 1, France

Au sud du Brésil, les sols se sont formés sur un empilement d'épanchements basaltiques datant de 120 millions d'années. Bien que composés de plus de 70% d'argile (kaolinite), leur porosité est importante du fait d'un arrangement des constituants en microagrégats. Le climat, tempéré humide, est caractérisé par une pluviométrie abondante (1700 mm), répartie sur l'ensemble de l'année et des températures assez élevées, les moyennes mensuelles étant comprises entre 14°C en mars et 24°C en janvier. Ces conditions ont été favorables à un développement agricole extensif depuis le début des années 60, permettant la succession de deux cultures annuelles : soja ou maïs en été, blé ou avoine en hiver. Jusqu'à récemment, la pratique conventionnelle consistait à travailler le sol à la charrue à disques, un travail plus profond à la charrue à soc étant effectué environ tous les cinq ans. Le semis direct réalisé sur les résidus de la culture précédente, sans labour ni sarclage, introduit au début des années 90, a connu une diffusion rapide et concerne maintenant 90% des surfaces cultivées des régions du *Planalto Médio* et de l'*Alto Uruguai* (au total 917 450 ha) situées au nord-ouest de l'Etat du *Rio Grande do Sul*.

Les données expérimentales acquises sur le bassin versant amont (1km²) du Donato instrumenté en 1989 pour étudier l'effet des pratiques culturales sur l'érosion et l'apport de matières solides au réseau hydrographique, permettent aujourd'hui de suivre l'impact de ces transformations sur le cycle de l'eau. Sont utilisées ici les résultats de plusieurs campagnes de simulations de pluie sur des microparcelles de 1m² ayant subi différents traitements à différentes périodes bien distinctes du cycle cultural. Les résultats montrent l'influence des pratiques culturales sur l'évolution de l'infiltrabilité.

Mots clés : plateau basaltique, sol argileux, conductivité hydraulique, semis direct, pratiques culturales.

Keywords : basaltic plateau, clay soil, hydraulic conductivity, no-tillage, farming operations

Scientific registration n° : 734

Symposium n° : 2

Presentation : poster

Dynamique de l'infiltrabilité de sols ferrallitiques cultivés sur le plateau basaltique au sud du Brésil

Dynamic infiltrability of cultivated ferrallitic soils in the Southern Brazil

CASTRO Nilza (1), AUZET A.Véronique (2), SILVEIRA André (1), CHEVALLIER Pierre (3)

(1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, CxP 15029, Cep 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

(2) CEREG-URA 95 CNRS, ULP, 3 rue de l'Argonne, F-67083 Strasbourg Cedex, France

(3) ORSTOM-Hydrologie, BP 5045, F-34032, Montpellier Cedex 1, France

1. Introduction

La structure du sol, en surface et en profondeur, est un facteur de contrôle déterminant de l'infiltrabilité, ainsi que du ruissellement et de l'érosion. Or, pour un sol déterminé, cette structure présente une forte variabilité spatiale et un caractère dynamique liés aux interactions entre opérations culturales et conditions climatiques. Le déterminisme de ces variations est cependant rarement pris en compte pour évaluer les risques de ruissellement et d'érosion hydrique, et pour juger de l'effet de pratiques culturales. Il est généralement admis que des pratiques de non travail du sol, en augmentant la résistance à l'arrachement par la pluie et le ruissellement, diminuent les transferts de matières solides à l'échelle des parcelles, et cela a été montré dans le cas des sols ferrallitiques développés sur les formations basaltiques au Sud du Brésil (Roth et al., 1987; Dos Reis Castro et al., 1997). Les effets des pratiques culturales, en particulier de celles associées au semis direct, sur l'infiltrabilité sont par contre sujets à controverse et très spécifiques des types de sols. Les résultats présentés ici s'appuient sur des simulations de pluies effectuées, sur trois préparations différentes, en début et en fin de cycle cultural.

2. Matériel et méthodes

La région étudiée se situe sur l'épanchement basaltique le plus vaste du monde, plateau où se sont développés des sols ferrallitiques (*latossolos roxos* de la classification brésilienne) qui atteignent jusqu'à quinze mètres d'épaisseur. Malgré une teneur en argile (essentiellement de la kaolinite) particulièrement élevée, de l'ordre de 70 %, leur structure en microagrégats très résistants, de la taille des sables leur assure une bonne capacité de drainage. Le climat est de type tempéré humide. Les précipitations moyennes annuelles sont évaluées à 1700 mm, bien répartis sur l'ensemble de l'année : les hauteurs moyennes mensuelles s'échelonnent entre 120 et 160 mm (Chevallier et

Castro, 1991). Les moyennes mensuelles des températures comprises entre 14°C en juillet et 24°C en janvier et un rayonnement solaire intense permettent jusqu'à deux cultures par an.

Dans le but de comparer les effets des pratiques culturales sur les pertes en terre et en eau, deux bassins emboîtés ont été choisis, celui d'*Anfiteatro* (14 ha) et celui de *Donato* (1,1 km²), situés à *Pejuçara* à une trentaine de kilomètres du centre urbain d'*Ijuí* (*Rio Grande do Sul*), dans une zone représentative de la région. Ces deux bassins aménagés en banquettes sont cultivés par trois exploitants suivant deux techniques. La première, dite *conventionnelle*, consiste avant chaque semis en un labour à la charrue à disques sur 20 cm, suivi de deux hersages. Un labour plus profond à la charrue à soc est pratiqué, tous les cinq ans environ, pour décompacter le sol. La seconde est celle du semis direct réalisé sur les résidus de la culture antérieure, sans labour préalable (Derpsch *et al.* 1991). Elle ne concerne qu'une partie du bassin de Donato au moment de l'étude, mais depuis mai 1994 cette technique est adoptée par les trois exploitants du Donato et plus généralement sur 90% de la surface cultivée de la région.

Des mesures de ruissellement ont été réalisées à l'échelle de microparcelles de 1 m² sous pluies simulées à l'aide du dispositif expérimental mobile de l'ORSTOM (Asseline et Valentin, 1978). Il est muni d'un asperseur monté sur un balancier, d'un cadre métallique récepteur de 1 m², et d'un limnigraphe à vitesse de déroulement rapide. L'intensité est contrôlée par l'angle de balancement et des paliers successifs d'intensité constante peuvent être programmés. Simultanément, des observations détaillées de l'état de la structure du sol en surface et du taux de couverture végétale (en distinguant vivante et morte) ont été réalisées et des profils d'humidité ont été établis avant et après chaque pluie simulée.

Les campagnes de simulation de pluie ont été effectuées quelques jours après les semis et juste avant la récolte. Au total six campagnes ont été menées (figure 1): deux sur une parcelle d'avoine semée après une préparation à la charrue à soc suivi de deux hersages (campagnes 1 et 2), deux sur une parcelle semée en soja et préparée à la charrue à disques suivie de deux hersages (campagnes 3 et 4) et deux sur une parcelle d'avoine préparée en semis direct (campagnes 5 et 6).

Le protocole expérimental a consisté à appliquer sur chaque parcelle quatre pluies identiques espacées de 24 heures, avec cinq paliers d'intensité de 60, 100, 80, 60 et 40 mm/h pendant respectivement 20, 10, 10, 15 et 20 mn. Les simulations identiques sont répétées trois fois sur des parcelles contiguës. Les eaux du ruissellement sont conduites vers une cuve munie d'un limnigraphe, enregistrant les hydrogrammes de ruissellement. L'infiltration est évaluée par la différence entre pluie et ruissellement.

Les principales données disponibles sont :

- les précipitations antérieures aux pluies simulées,
- les hauteurs et intensités des pluies simulées,
- les volumes ruisselés,
- les teneurs en eau initiale et finale des horizons de 0 à 80 cm de profondeur,
- le taux de couvert végétal (vivante et résidus),
- l'état structural du sol en surface avant chaque pluie simulée,
- l'historique des travaux agricoles (type et dates),
- les conductivités hydrauliques à saturation, K_{sat} , évaluées par l'équation de Green et Ampt (1911).

préparation du sol		conventionnelle				semis direct	
type d'outil	charrue à soc	charrue à disque					
profondeur	50 cm	20 cm					
culture	avoine	soja				avoine	
cv (%)	5 70	5 70				70 90	
date	mai-91 août-91	déc-92 mar-93				mai-93 sep-93	
campagne	1 2	3 4				5 6	

Figure 1. Campagnes de simulation de pluie en fonction des cultures, de la date et de la nature des opérations culturales et du taux de couverture végétale.

3. Résultats et discussion

Le tableau 1 présente les coefficients d'infiltration calculés à partir de la différence entre précipitation et ruissellement, le profil d'humidité volumique initial de 0 à 20cm et de 0 à 80 cm de profondeur mesuré avant chaque pluie simulée et la conductivité hydraulique à saturation, Ksat, calculée à partir des résultats des simulations de pluie et estimé par l'équation de Green et Ampt.

Tableau 1. Ksat – application de l'équation de Green et Ampt aux résultats des simulations de pluie

	coeff. inf. %	hum. vol. %		Ksat Mm/h	
		0-20 cm	0-80 cm	m*	σ^{**}
Camp.1 – Pluie 1	99.4	29.9	36.1		
Camp.1 – Pluie 2	87.4	35.8	38.8	56.1	4,7
Camp.1 - Pluie 3	62.0	36.8	39.4	38.8	6,1
Camp.1 - Pluie 4	50.4	37.7	40.7	27.0	5,5
Camp.2 - Pluie 1	74.7	22.1	27.1	45.7	14,1
Camp.2 - Pluie 2	37.6	36.0	37.8	30.9	-
Camp.2 - Pluie 3	29.8	34.6	35.8	24.9	-
Camp.2 - Pluie 4	33.6	35.9	36.7	20.8	-
Camp.3 - Pluie 1	82.4	36.8	40.8	45.6	6
Camp.3 - Pluie 2	29.0	44.8	44.8	18.8	-
Camp. 3 - Pluie 3	31.6	45.1	44.3	16.9	-
Camp. 3 - Pluie 4	30.5	43.7	44.5	13.2	-
Camp.4 - Pluie 1	9.3	43.9	42.9		
Camp.4 - Pluie 2	15.1	46.1	44.6		
Camp.4 - Pluie 3	12.9	42.7	42.2		
Camp.4 - Pluie 4	8.7	45.3	44.5		
Camp.5 - Pluie 1	22.1	42.5	47.4		
Camp.5 - Pluie 2	15.6	45.0	49.0		
Camp.5 - Pluie 3	13.2	45.5	46.0		
Camp.5 - Pluie 4	5.3	47.0	52.8		
Camp.6 - Pluie 1	76.8	38.7	44.0	37.6	5,1
Camp.6 - Pluie 2	35.5	46.4	50.7	14.0	-
Camp. 6 - Pluie 3	32.6	47.4	50.8	12.6	-
Camp. 6 - Pluie 4	30.0	48.5	52.3	23.1	-

* moyenne ** écart type

Coefficients d'infiltration

Les coefficients d'infiltration les plus élevés se sont produits lors de la première campagne, quand le sol travaillé récemment (une semaine) à la charrue à soc à 50 cm de profondeur présentait la plus grande porosité. Les 80 mm de la première pluie se sont infiltrés et aucun ruissellement n'a été observé.

Les coefficients d'infiltration les plus faibles ont été observés lors des campagnes 4 et 5, où l'état hydrique initial du sol était proche de la saturation et les gradients de succion particulièrement faibles : il est tombé respectivement 57 mm et 110 mm de pluie pendant les 2 et 3 jours précédant les campagnes 4 et 5. La campagne 4 a été effectuée sur une parcelle de soja juste avant la récolte et les feuilles sèches formaient une couche quasi imperméable sur le sol, limitant considérablement l'infiltration. Lors de la campagne 5, le sol était couvert à 70% par des résidus de la culture antérieure. La pluie importante a dégradé tous les espaces non recouverts par ces résidus.

Dynamique de la structure du sol en surface et en profondeur.

Les valeurs d'infiltration ne diffèrent pas significativement lors des campagnes 2, 3 et 6. En trois mois, entre semis et récolte, le sol passe d'un état très poreux (campagne 1) à un état nettement moins filtrant (campagne 2). Le réarrangement de la structure du sol observé en surface et le long du profil est important et conduit à une diminution importante de la conductivité hydraulique. Cette évolution de la porosité du sol est en grande partie à associer à la modification des états de surface du sol, mais doit être également rapprochée des modifications le long du profil cultural, à l'instar de celles observées sur des sols de Côte d'Ivoire par Vauclin et Chopart (1992). Le schéma qualitatif d'évolution du comportement hydrophysique des couches de surface en liaison avec le travail du sol qu'ils proposent pourrait être également retenu, à savoir (a) un labour récent créant une collection importante de pores de petite dimension, bien connectés, qui contribueraient ainsi à assurer une conductivité hydraulique plus élevée que celle du sol non labouré (*semis direct*) ou anciennement labouré ; (b) un réseau de macropores (comportement du labour ancien) tendant à rapprocher progressivement le fonctionnement hydrodynamique du sol labouré de celui d'un sol non travaillé (comportement de *semis direct*).

Croûte de battance superficielle

La formation de croûtes structurales selon les faciès décrits par Boiffin (1984) dès l'application de la première pluie, observée lors des simulations, est associée à une forte diminution de l'infiltration. Une telle croûte structurale se développe surtout quand le sol est nu ou peu couvert par la végétation. Ces observations peuvent être rapprochées de celles de Boiffin et Papy (1988) qui, dans un tout autre contexte (sols plus sensibles à la battance, climat et systèmes culturaux différents) soulignent l'effet des systèmes de culture sur l'infiltrabilité. Le fait que les cycles culturaux, en interaction avec les conditions climatiques, induisent des cycles d'états de surface, eux-mêmes responsables, d'une part, de variations brusques de l'infiltrabilité (d'à peine quelques mm/h à quelques dizaines de mm/h) en raison des variations de macroporosité et de rugosité, et, d'autre part, des changements plus progressifs associés à la diminution de la rugosité et à la formation des croûtes de battance.

Ces deux facteurs, modification de la structure du sol et état hydrique initial, expliquent à notre avis les différences importantes d'infiltration entre la première et la deuxième pluie lors de chacune des campagnes.

Etat hydrique initial du sol

Lors d'une même campagne (par exemple la campagne 3) l'infiltration diminue fortement après la première pluie simulée. Cette diminution peut être associée à l'état hydrique initial du sol, généralement plus sec avant la première pluie. Cependant, l'analyse des états hydriques initiaux montre que l'humidité n'augmente qu'au cours de la première pluie, et demeure relativement stable après l'application de la deuxième pluie. Tout se passe comme si, une fois le sol humidifié, il recouvrait son état initial 24 heures après l'application de 80 mm de pluie.

Conductivité hydraulique

Le paramètre Ksat, conductivité hydraulique à saturation calculée à partir de l'équation de Green et Ampt (1911), varie de 13 à 56 mm/h suivant la préparation du sol, le nombre de jours après le semis et l'ordre d'application des pluies. Des essais effectués avec la méthode plus controversée du double anneau fournissaient d'ailleurs des écarts relatifs du même ordre de grandeur.

Albergel (1987) a utilisé une adaptation de l'équation de Green et Ampt (1911), l'équation de Morel-Seytoux (1973), qui considère l'effet de l'air piégé dans le sol pour traiter les résultats de simulations de pluie sur des microparcelles de 1 m² pour différents types de sols non labourés au Burkina Faso. Les valeurs de conductivité obtenues varient entre 0,1 et 70 mm/h pour les pluies appliquées quand le sol était déjà bien humide. Les valeurs les plus fortes correspondent à des microparcelles à végétation naturelle et les plus faibles caractérisent les parcelles des glaciés dénudés du Sahel africain qui se comportent véritablement comme des surfaces imperméables. La gamme de variation est nettement supérieure à celle obtenue pour les cas que nous avons étudiés où les sols sont bien plus homogènes malgré les différents types de préparation et capables globalement d'assurer un bon drainage.

En comparant les résultats obtenus avec la classification des conductivités hydrauliques à saturation fondée sur la texture, proposée par Carsel et Parrish (1988) et établie à partir de 5 600 échantillons de sols, force est de constater que nos valeurs sont plus proches de celles des sols sableux (15 à 35 mm/h dans la plupart des cas, mais avec des valeurs s'échelonnant entre 9 et 100 mm/h) que de celles des sols argileux (2 mm/h en moyenne). Cela peut s'expliquer par la structure particulière des sols où les particules élémentaires sont de fait des microagrégats très stables où l'argile est constituée de manière dominante par de la kaolinite.

Les sols étudiés présentent une grande homogénéité, et la variabilité des comportements hydrodynamiques paraît principalement due à l'influence du type de travail du sol et aux interactions entre le calendrier des opérations culturales et les conditions climatiques.

L'infiltrabilité du sol peut ainsi présenter une grande variabilité au cours d'un cycle de culture. Juste après la préparation du sol elle est importante et accrue dans le cas d'un travail en profondeur avec la charrue à soc. Après quelques mois l'infiltrabilité du sol diminue mais elle reste encore un peu supérieure à celle d'un sol récemment travaillé en surface à l'aide d'une charrue à disques. Ces deux préparations se différencient nettement de ce point de vue, mais la profondeur concernée interdit tout jugement définitif. Dans le cas du *semis direct* les valeurs d'infiltrabilité sont relativement plus faibles que celles mesurées dans le cas d'un travail en profondeur à la charrue à soc, mais leur variation le long du cycle cultural est également moins marquée.

4. Conclusion

Les résultats acquis mettent en évidence les variations importantes au cours du cycle cultural de l'infiltrabilité de sols relativement homogènes, très filtrants et avec une structure en microagrégats particulièrement stables. L'estimation faite à partir de l'application du modèle de Green et Ampt aux résultats de simulations de pluie conduit à des ordres de grandeur d'infiltrabilité variant de 13 à 56 mm/h en fonction du type de travail du sol, des dates du semis et de la séquence d'application des pluies. Ces résultats devraient avoir des conséquences importantes pour l'application de modèles spatialisés où les variations prises en compte sont généralement davantage dépendante des unités pédologiques et des taux de couverture végétale et prennent peu en compte la dynamique des états structuraux et des infiltrabilités induites, associées aux interactions entre systèmes de cultures et conditions climatiques.

Les résultats obtenus amènent à distinguer nettement les pratiques conventionnelles à la charrue à disques et à la charrue à soc, quoique les profondeurs concernées ne soient pas équivalentes. Les premiers résultats concernant le semis direct, et acquis sur des parcelles récemment cultivées selon ce protocole, suggèrent une plus faible infiltrabilité en début de cycle cultural, mais une plus grande stabilité de ce paramètre au cours de l'ensemble du cycle. Ils sont à mettre en rapport avec les résultats acquis pour des sols assez similaires dans l'Etat brésilien du *Paraná* (Derpsch et al. 1991), et avec les témoignages d'agriculteurs signalant la remontée du niveau des sources dans les bassins concernés. En ce qui concerne l'érosion, les résultats à l'échelle de microparcelles sont clairement en faveur du semis direct, les concentrations en sédiments obtenus étant très faibles (d'un ordre de grandeur maximal de 0,5 g/l contre des valeurs supérieures à 100 g/l pour les pratiques conventionnelles). On manque encore de recul à l'échelle du petit bassin : il semble que l'évolution des ravines en aval des parcelles, liée notamment aux mécanismes d'écoulement subsuperficiel (*interflow*) et dans les macropores (*piping*), reste importante, sans qu'un bilan relatif puisse être réellement établi actuellement, les variations des conditions climatiques devant nécessairement être prises en compte. A cette échelle, c'est l'ensemble du fonctionnement hydrologique et érosif du bassin qui devra être mieux compris.

Bibliographie.

- Albergel J. (1987). Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m² au km², étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse de Doctorat Université Paris 6, 336 p.
- Asseline J., Valentin, C. (1978). Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, **15**, no.4, pp. 321-350.
- Boiffin J. (1984). La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Docteur Ingénieur, INAPG, Paris, 320 p. + annexes.
- Boiffin J., Papy F. (1988). Prévision et maîtrise de l'érosion : Influence des systèmes de culture. *Perspectives Agricoles*, **122**, pp. 93-98.
- Carsel D.K., Parrish R.S. (1988). Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resour. Res.*, **24**, pp. 755-769.
- Chevallier P., Castro N. M. R. (1991). As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil). In , Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **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 p.
- Dos Reis Castro N.M., Auzet A.V., Bordas M. P., Chevallier P., Leprun J.-C., Mietton M. (1997). Ecoulement et transfert de sédiments dans les bassins versants de grande culture sur basalte du Rio Grande do Sul (Brésil). In : International Association of Hydrological Sciences, 5th Scientific Assembly, S6-Human Impact on erosion and sedimentation, eds. D.E. Walling et J.-L. Probst, Rabat (Marroc), pp. 65-73.
- Green W.H. et Ampt C.A. (1911). Studies on soil physics. Flow of air and water through soils, *J. Agr. Sci.*, **4**, pp.1-24.
- Morel-Seytoux H.J (1973). Pour une théorie modifiée de l'infiltration, 2ème partie : Comment? *Cah. ORSTOM, sér. hydrol.*, **10**, n°2, pp. 185-194.
- Roth C. H., Vieira M. J., Derpsch R., Meyer B. et Frede H. G. (1987). Infiltrability of an oxisol in Paraná, Brazil as influenced by different crop rotations, *J. Agronomy & Crop Science*, Paul Parey Scientific Publishers, Berlin and Hamburg, **159**, pp 186-191.
- Vauclin M., Chopart J.-L. (1992). L'infiltrométrie multidisques pour la détermination in situ des caractéristiques hydrodynamiques de la surface d'un sol gravillonnaire de Côte-d'Ivoire. *L'agronomie Tropicale*, **46** (4), pp. 259-270.

Mots clés : plateau basaltique, sol argileux, conductivité hydraulique, semis direct, pratiques culturales.

Keywords : basaltic plateau, clay soil, hydraulic conductivity, no-tillage, farming operations