

# PEDOLOGIE

Bulletin de la Société Belge de Pédologie, édité avec  
l'aide financière de la Fondation Universitaire et  
des Ministères Belges de l'Education et de la Culture  
Française et Flamande

Tijdschrift van de Belgische Bodemkundige Vereniging,  
uitgegeven met de financiële steun van de Universitaire  
Stichting en van de Belgische Ministeries van Opvoeding  
en Vlaamse, resp. Franse Cultuur

1988

XXXVIII-1

COMITE DE REDACTION - EDITORIAL BOARD - REDACTIECOMITE

J.B. Ameryckx (Gent, B)	R. Hartmann (Gent, B)
J. Bouma (Wageningen, NL)	A. Herbillon (Vandoeuvre, F)
P. Bullock (Rothamstead, UK)	G. Hofman (Gent, B)
F. Delecour (Gembloux, B)	J.P. Legros (Montpellier, F)
J. De Ploey (Leuven, B)	D. Mackney (Rothamstead, UK)
J. D'Hoore (Leuven, B)	L. Mathieu (Gembloux, B)
P.M. Driessen (Wageningen, NL)	R. Moermans (Gent, B)
R. Dudal (Leuven, B)	R.P. Morgan (Silsoe, UK)
J. Feyen (Leuven, B)	G.W. Olson (Cornell, USA)
R. Frankart (Louvain-la-Neuve, B)	U. Schwertmann (München, D)
M. Jamagne (Ardon-Olivet, F)	J.L. Sehgal (Nagpur, IND)
R.J. Jones (Wolverhampton, UK)	N. Silleos (Thessaloniki, GR)
R. Gabriels (Merelbeke, B)	G. Stoops (Gent, B)
M. Gardiner (Kinsealy, IRL)	C. Sys (Gent, B)
M.C. Girard (Grignon, F)	O. Van Cleemput (Gent, B)
G. Hanotiaux (Gembloux, B)	A. Van der Beken (Brussel, B)
K. Harmsen (Haren, NL)	M. Verloo (Gent, B)

W.H. Verheye (Gent, B), chief-editor

PEDOLOGIE

is edited by the Belgian Society of Soil Science, Krijgslaan, 281, B-9000 Gent, Belgium.

Subscription : 1000 BF net per year (banking costs at subscribers expense) + mailing costs.

Additional information to : The Chief-editor of Pedologie, Krijgslaan, 281, B-9000 Gent, Belgium.

D/1988/0346/1

SAMENSTELLING VAN DE RAAD VAN BEHEER VOOR 1988  
COMPOSITION DU CONSEIL D'ADMINISTRATION POUR 1988

Président Voorzitter	R. Gombeer
Vice-présidents Ondervoorzitters	L. Mathieu G. Stoops
Secrétaire général Secretaris-generaal	W. Verheye
Secrétaire trésorier Secretaris-schatbewaarder	R. Vermeire
Membres Leden	L. Bock, J. Chapelle, R. Dudal, J. Dufey, J. Feyen, J.P. Heck, G. Hofman, O. Van Cleemput, A. Van der Beken, K. Vlassak.

PRESIDENT D'HONNEUR  
ERE-VOORZITTER  
J. Baeyens

SECRETAIRES GENERAUX  
HONORAIRES  
ERE-SECRETARISSEN-GENERAAL  
R. Tavernier  
J. Ameryckx  
C. Sys

ANCIENS PRESIDENTS

V. Van Straelen † (1950-1953)  
F. Jurion † (1954-1955)  
L. De Leenheer † (1956-1957)  
G. Manil † (1958-1959)  
A. Van den Hende (1960-1961)  
G. Scheys (1962-1963)  
L. Sine † (\*1964-1965)  
A. Cottenie (1966-1967)  
G. Hanotiaux (1968-1969)

OUD-VOORZITTERS

M. De Boodt (1970-1971)  
A. Herbillon (1972-1973)  
P. Avril (1974-1975)  
J. D'Hoore (1976-1977)  
M. Van Ruymbeke (1978-1979)  
R. Frankart (1980-1981)  
F. Delecour (1982-1983)  
J. Lozet (1984-1985)  
L. Baert (1986-1987)



## AN IMPROVED METHOD FOR CATION EXCHANGE CAPACITY DETERMINATION OF PEAT SOILS

K. LAMBERT  
J. VANDERDEELEN  
L. BAERT

---

### Abstract

A reproducible and rather simple method for cation exchange capacity (C.E.C.) determination of peat soils was elaborated, using an acid tropical peat soil (Typic Troposaprist). The method originates from Hendershot and Duquette (1986) for the determination of the C.E.C. of organic horizons. The procedure is recommended for routine analysis of acid peat soils, when the pH of the substrate is to be considered.

### Key-words

Peat soils, cation exchange capacity, pH-dependent charge.

### 1. INTRODUCTION

Tropical peat soils are estimated to cover 32 million hectares of land and are mainly found at low altitudes in the rain forest belts of Asia, Africa and America (Driessen, 1978). These soils have characteristic mechanical, physical and chemical properties differing largely from those of mineral soils. As a consequence, the methods elaborated for the analysis of these mineral soils are generally of less value for the characterisation of peat soils. The chemical soil conditions are governed by strong chelating properties of the organic matter, in combination with a low pH. In this regard, an adequate description and control of the cation exchange is of main interest.

---

K. Lambert, J. Vanderdeelen and L. Baert - Faculty of Agriculture, Ghent State University, Coupure 653, B-9000 Ghent, Belgium.

The objective of this paper is to describe a simple routine method for C.E.C. determination of peat soils.

## 2. LITERATURE

Estimation of the cation exchange capacity (C.E.C.) of soils is commonly obtained by the ammoniumacetate ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) method, buffered at pH 7. Although this method has major advantages, it is doubtful whether it has significance for tropical soils, due to the highly weathered sesquioxide content and the very low pH. Because of the close relationship between the pH and the C.E.C., estimation of the latter at a pH different from the one in the field can generate misleading results; in this respect it is known that the C.E.C.-values obtained at pH 7 may be an order of magnitude higher than those measured at field pH (Hendershot and Duquette, 1986). Therefore, with regard to tropical soils, peat and other acid soils, different studies were made to elaborate an unbuffered method for the C.E.C. determination.

Gillman (1979) modified the "compulsive exchange" method of Bascomb (1964) for the determination of the cation- and anion- exchange capacity of highly weathered soils. In Bascomb's method, the soil is first saturated with Ba and the latter one is "compulsively" exchanged for magnesium sulfate. The C.E.C. is simply estimated from the difference in Mg concentration before and after Mg addition to the barium-saturated soil.

In the approach of Gillman (1979), exchangeable bases and Al are extracted with 0.1 M  $\text{BaCl}_2$ ; the use of this salt is justified by its exotic character and its strong substituting strength, without being preferentially adsorbed. After the soil is firstly saturated with an unbuffered  $\text{BaCl}_2$ -solution at a concentration comparable to the soil solution strength,  $\text{MgSO}_4$  is added while barium is substituted and precipitated as  $\text{BaSO}_4$ .

According to Rhoades (1982) this method is simple, inexpensive and very suitable for acid tropical soils. Although Gillman (1979, 1987) claims its usefulness for charge characterisation of all soils, some authors (Matsue and Wada, 1985, 1987; Hendershot and Duquette, 1986) made objections.

Matsue and Wada (1985, 1987) found that the exchange method of Gillman (1979) produced erroneous results in Andosols, in the sense that the specific adsorption of  $\text{SO}_4^{2-}$  on the sesquioxides results in higher C.E.C. values. They suggested five washings with  $\text{SrCl}_2$  to saturate the exchange complex, followed by one treatment with 0.5 M HCl to extract the adsorbed Sr. According to Hendershot and Duquette (1986) some problems are encountered with temperate re-

gion soils; due to dispersion at a low ionic strength, sample loss can occur. The method seemed also unsuccessful for organic soil horizons.

The above criticisms led to modifications of the method of Gillman (Gillman and Sumpter, 1986). The procedure of Hendershot and Duquette (1986) forms the basis of our method for peat soils. The major advantage is that subtle differences in the C.E.C., due to changes in pH and ionic strength, can be detected. The influence of the exchange pH-values was elaborated with a  $\text{BaCl}_2$ - $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -mixture.

As far as we know, C.E.C. determinations of peat soils at the universities of Bogor and Yogyakarta (Indonesia) are made by Na-acetate- (Sudjadi et al., 1973) or by  $\text{NH}_4$ -acetate-saturation (Sulaeman, 1974; Suhardjo and Widjaja-Adhi, 1977), buffered at pH 7. In the Final Report of the ATA programme (Soil Research Institute, Bogor) Suhardjo and Widjaja-Adhi (1977) suggest already to cancel this method: "it was agreed that the determination of the strongly pH-dependent C.E.C. should preferably be done at actual and not at a fixed pH of 7.0 as common in routine analysis".

### 3. MATERIALS AND METHODS

#### 3.1. Field sampling and chemical analysis

Material from the upper layer (10-30 cm) of a Typic Troposaprist was sampled in Pinang Luar, near a research station in Sungai Rasau, a transmigration-project unit in West-Kalimantan, Indonesia. In this region, the extensive peat soils are influenced by a tidal swamp irrigation-drainage system. Acid (pH=3) groundwater is usually found at a depth of 40 cm while the upper peat soil layer is water-saturated. The thickness of the peat was more than 200 cm. The slightly humid peat was kept in a closed plastic container. A chemical characterisation by standard methods led to a classification as poor oligotrophic peat (table 1). The peat was brought to higher pH values by addition of  $\text{CaCO}_3$  (table 2).

#### 3.2. Procedure

Two grams of peat (moisture content of 70 %) were weighed into centrifuge tubes and 20 ml 0.1 M  $\text{BaCl}_2$  was added. The suspensions were shaken for 3 hours and poured onto a preweighed glassfilter, equipped with a Millipore 0.45  $\mu\text{m}$  filterpaper, and connected to a water vacuum pump. The pH of the filtrate was measured

**Table 1.**

Chemical characterisation of the peat soil of West-Kalimantan.

	in % of dry weight
moisture content	235
ash content	< 3
C	44
N	1.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09
K <sub>2</sub> O	0.15
CaO	0.11
MgO	0.09
pH (H <sub>2</sub> O)	dilution (g moist peat/ml H <sub>2</sub> O)
3.00	1 : 1
3.20	1 : 2
degree of decomposition (hydrolysis with H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) r =	60.3 %

**Table 2.**PH of the peat soil as function of the amount of CaCO<sub>3</sub> added.

no.	meq. CaCO <sub>3</sub> / 100 g moist soil *	pH at equilibrium **
1	0	3.20
2	10	4.95
3	30	5.80
4	40	6.60
5	60	7.60
* moisture content on wet peat basis is 70%; ** dilution 1:2.		

and used as a reference (the so-called "exchange-pH"). Next, and in order to decrease the Ba content of the interstitial solution, two times 20 ml of 0.025 M and four times 20 ml of 0.01 M BaCl<sub>2</sub> were poured onto the peat. The last 20 ml filtrate was kept for determination of the Ba-concentration and pH measurement. The glassfilter containing the moist peat was weighed and consequently leached with four times 20 ml 0.5 M MgCl<sub>2</sub>. The filtrate (80 ml)



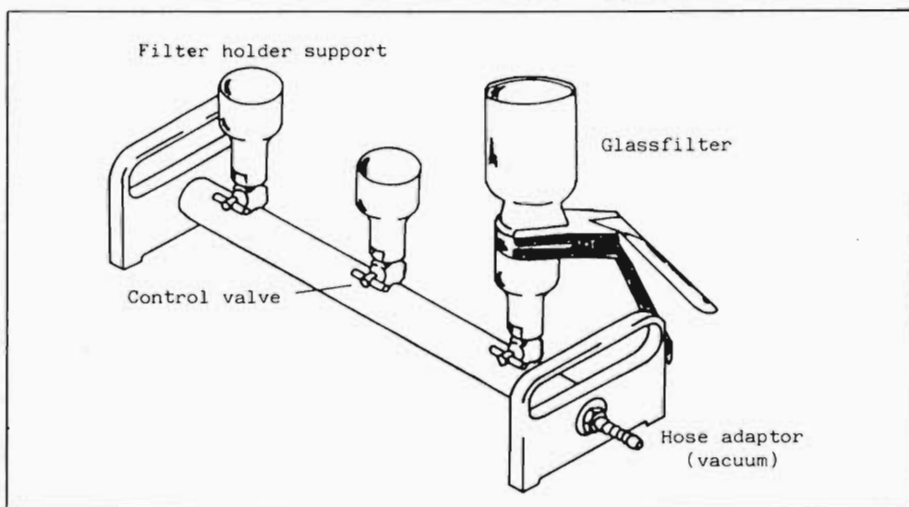
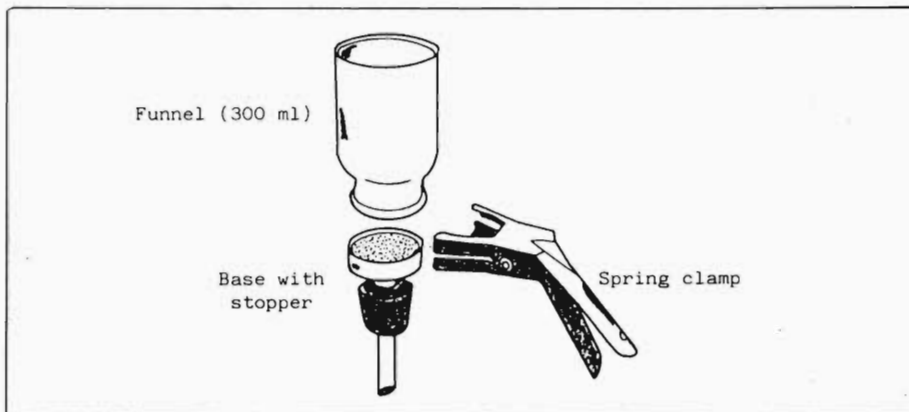


Fig. 1.  
Manifold for the simultaneous filtration of 3 samples.

was collected, made up to 100 ml with  $H_2O$ , and analysed for Ba with a flame-photometer. After correction for the Ba content of the interstitial solution, cation exchange capacity was calculated. The following remarks are to be made :

- 1) the influence of the pH during the exchange can be illustrated with a mixture of  $Ba(OH)_2$  and  $BaCl_2$ , as shown in table 3;
- 2) the manifold used for the simultaneous filtration of 3 samples is shown in figure 1;
- 3) the  $MgCl_2$ -solution was prepared by dissolving 40 g  $MgCO_3$  and 100 ml  $H_2O$  in 400 ml 2 N HCl which was made up to 1000 ml with  $H_2O$ ; due to the interference of Mg on the determination of Ba, each Ba-standard contained the  $MgCl_2$ -solution, in a ratio of 4/5  $MgCl_2$  and 1/5  $H_2O$ ;

4) In order to avoid dispersion of organic matter, sample loss and time consuming filtration, the pH of the  $MgCl_2$ -solution should be lower than 3; the pH of the  $BaCl_2$ -solutions seems not to be critical in this respect.

**Table 3.**

Exchange-pH as a function of the amount of  $Ba(OH)_2$  added.

ml $Ba(OH)_2$ 0.1 M	0	1	2	3	4	5
ml $BaCl_2$ 0.1 M	20	19	18	17	16	15
exchange-pH	2.8	2.9	3.8	5.0	6.7	7.6

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

As mentioned above, the pH of the first filtrate is considered as a reference ("exchange-pH"). Peat soils under study had an exchange pH within the range 2.8-3.2. The cation exchange capacity (C.E.C.) ranged between 35-40 meq/100 g dry soil. With the final procedure, triplicate C.E.C. determinations were done; the results are given in table 4.

**Table 4.**

Details on C.E.C. determination of a West-Kalimantan peat soil.

no.	1	2	3
filter weight (g)	433.70	434.82	505.90
filter weight + moist soil (g)	437.20	437.85	509.53
exchange pH	3.05	3.00	2.80
Ba conc. in last filtrate (meq/l)	20.5	20.4	20.8
Ba conc. in leachate (meq/100 ml)	0.29	0.28	0.27
correction factor	0.06	0.05	0.06
exchangeable Ba (meq/100 ml)	0.23	0.23	0.21
C.E.C. (meq/100g moist peat)	11.55	11.70	10.50
C.E.C. (meq/100g dry peat)	38.5	39.0	35.0

The correction factor for the interstitial solution is given in table 4. Two g of sample means 0.6 g of dry peat (moisture content = 70 %). The Ba-concentration in the last filtrate is considered to be equal to that of the interstitial solution. The correction factor is derived by the following calculation (e.g. for no. 1) :

$$437.20 \text{ g} - (433.70 + 0.60)\text{g} = 2.90 \text{ g} \approx 0.0029 \text{ l solution};$$

$$\text{hence, } 0.0029 \text{ l} \cdot 20.5 \text{ meq/l} = 0.058 \text{ meq} \approx 0.06 \text{ meq}.$$

The corrected values for exchangeable Ba are then calculated: e.g. for no. 1 :  $0.29 - 0.06 = 0.23$  meq exchangeable Ba per 100 ml filtrate. The 100 ml filtrate corresponds to 2 g of peat. Taking into account a moisture content of 70 %, the C.E.C. values per 100 g of dry soil are obtained.

Compared to the results from the authors using the  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -method, buffered at pH 7, our results are 3 to 5 times lower. Suhardjo and Widjaja-Adhi (1977) found a C.E.C. of 125 to 140 meq/100 g dry soil for a South Kalimantan peat soil. These high values were only obtained with our method after rising the pH to 7 or more. As shown in table 4, the reproducibility is acceptable : for an average exchange-pH of 2.95, a C.E.C. of  $37.5 \pm 2.2$  was found.

The influence of pH on the C.E.C. was studied in two different ways. The C.E.C. was monitored on the peat soil previously brought at higher pH values by  $\text{CaCO}_3$  additions (table 2). Either the pH of the exchange solution itself was increased by adding a  $\text{BaCl}_2\text{-Ba(OH)}_2$ -mixture during saturation (table 3). Results are given in figure 2 and in table 5.

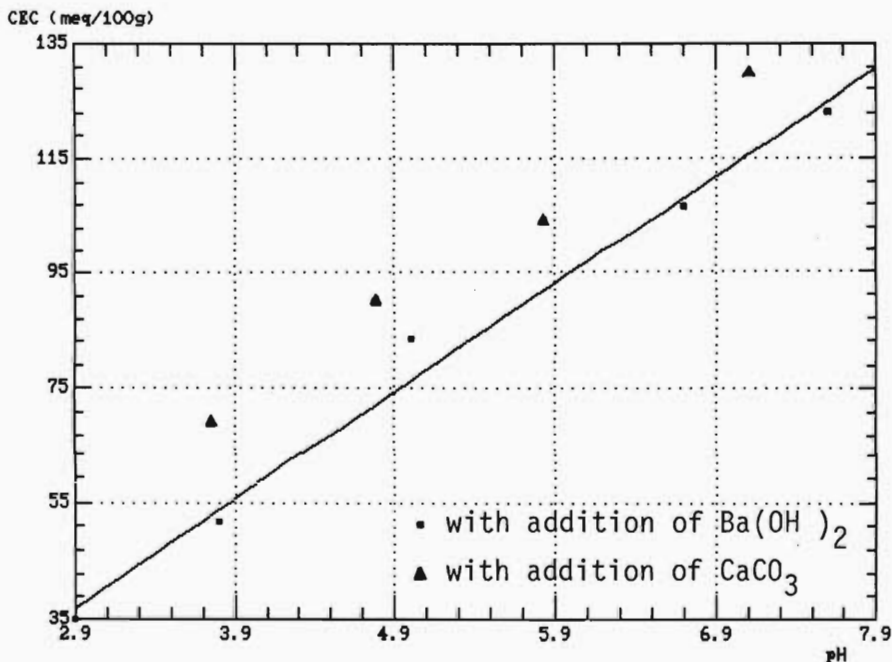


Fig. 2.  
C.E.C. of the peat soil as function of the pH.

Table 5.

Details on C.E.C. determination of peat soil in function of the pH\*.

no.	1	2	3	4	5
filter weight (g)	434.85	505.81	433.70	435.82	506.04
filter weight + moist soil (g)	438.88	508.72	436.96	438.35	509.31
exchange pH	2.9	3.8	5.0	6.7	7.6
Ba conc. in last filtrate (meq/l)	20.6	20.4	21.8	21.4	19.6
Ba conc. in leachate (meq/100 ml)	0.28	0.36	0.56	0.68	0.79
correction factor	0.07	0.05	0.06	0.04	0.05
exchangeable Ba (meq/100 ml)	0.21	0.31	0.50	0.64	0.74
C.E.C. (meq/100 g moist soil)	10.5	15.5	25.0	32.0	37.0
C.E.C. (meq/100 g dry soil)	35.0	51.7	83.3	106.7	123.3

\* The pH of the  $MgCl_2$ -solution, the 0.1 M  $BaCl_2$ -solution and the 0.01 M  $BaCl_2$ -solution were 2.2, 5.6 and 4.6 respectively.

As shown in figure 2, a linear relationship occurs between C.E.C. and pH ( $R=0.99$ ). The C.E.C. values of the limed peat are similar too, but 15 % higher than those obtained in the  $Ba(OH)_2$ -procedure. This suggests that the proposed method is also useful for soils whose pH or Ca-content were significantly changed by agricultural activities.

Both regression lines show a similar trend with a slope of 18.6 meq. per pH unit. At pH 7, the C.E.C. amounts to 120 meq/100 g dry peat, which is comparable to the C.E.C. values obtained by Suhardjo and Widjaja-Adhi (1977).

In conclusion we believe that this method is suitable for routine C.E.C. determination of peat soils. The outlined procedure provides a good estimation of the C.E.C. at field conditions and is recommended for acid peat soils where the C.E.C. at field conditions is a better indicator of the chemical soil status than the one obtained at pH 7.

## REFERENCES

Bascomb, C.L. (1964)  
Rapid method for the determination of cation exchange capacity of

calcareous and non-calcareous soils.

J. Sci. Food Agric., 15 : 821-823.

Driessen, P.M. (1978)

Peat soils.

In : Soils and Rice. Publ. IRRI, Los Banos, Philippines, 763-779.

Gillman, G.P. (1979)

A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soil.

Aust. J. Soil Res., 17 : 129-139.

Gillman, G.P. (1987)

Modification of the compulsive exchange method for cation exchange capacity determination.

Soil Sci. Soc. Am. J., 51 : 840-841.

Gillman, G.P. & Sumpter, E.A. (1986)

Modification to the compulsive exchange method for measuring exchange characteristics of soils.

Austr. J. Soil Res., 24 : 61-66.

Hendershot, W.M. & Duquette, M. (1986)

A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations.

Soil Sci. Soc. Am. J., 50 : 605-608.

Lambert, K. (1987)

Cation exchange in Indonesian peat soils.

Thesis, Faculty of Agriculture, Gent State Univ., 68 p. (in Dutch).

Matsue, N. & Wada, K. (1985)

A new equilibrium method for cation exchange capacity measurements.

Soil Sci. Soc. Am. J., 48 : 574-578.

Matsue, N. & Wada, K. (1987)

Comments on "Modification of the compulsive exchange method for cation exchange capacity determination".

Soil Sci. Soc. Am. J., 51 : 841.

Rhoades, J.D. (1982)

Cation exchange capacity. In : Page, A.L. (ed.) Methods of soil analysis, part 2. 2nd edition.

Madison, Wisconsin, Agronomy 9 : 149-165.

Sudjadi, M., Widjik, I.M. & Soleh, M. (1973)

Chemical characteristics of major soil groups in Jelapart, South Kalimantan. In : Proceedings of the 2nd Asean soil conference, volume II.

Bogor, Indonesia, Soil Research Institute, 74-92.

Suhardjo, H. & Widjaja-Adhi, I. (1977)

Chemical characteristics of the upper 30 cms of peat soils from Riau. In : Soil Research. Final Report ATA programma.

Bogor, Indonesia, Soil Research Institute, bulletin 3, 165-176.

Sulaeman, E. (1974)

Research on analytical methods. In : Agricultural cooperation Indonesia-The Netherlands, Research reports, section II : technical contributions.

Bogor, Indonesia, Soil Research Institute, 271-274.

---

### **Een verbeterde methode voor de bepaling van de kationenuitwisselingscapaciteit van veengronden**

#### Samenvatting

Een reproduceerbare en eenvoudige methode werd uitgewerkt voor de bepaling van de kationenuitwisselingscapaciteit (C.E.C.) van organische bodems; hiervoor werd gebruik gemaakt van een zure tropische veengrond (Typic Troposaprist). De methode is gebaseerd op deze van Hendershot en Duquette (1986) voor de C.E.C.-bepalingen van organische horizonten. De procedure lijkt aangewezen voor routine analyse van zure veengronden; de pH van het substraat wordt hierbij niet uit het oog verloren.

---

### **Une méthode perfectionnée pour la détermination de la capacité d'échange cationique des sols tourbeux**

#### Résumé

Une méthode reproductible et simple a été élaborée dans le but de déterminer la capacité d'échange cationique (C.E.C.) des sols organiques, en utilisant un sol tourbeux acide tropical (Typic Troposaprist). La méthode est dérivée de celle de Hendershot et Duquette (1986) pour la détermination de la C.E.C. des horizons organiques. La procédure est recommandée pour l'analyse de routine des sols tourbeux acides, où le pH du substrat est pris en considération.

---

## EFFECT OF CULTIVATION ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF TWO PODZOLIC SOILS FROM QUEBEC, CANADA

C.R. DE KIMPE  
M.R. LAVERDIERE

### Abstract

Soil substrates were prepared by mixing, in different ratios, the LFH, Ae, Bhf, Bf horizons of two Podzolic soils from Quebec, Canada. The mixtures, which were sown to barley, were analyzed before and after cultivation to assess the changes in their chemical and physical properties.

Cultivation resulted in an increase of dry bulk density, a decrease in organic matter content, an increase of cation exchange capacity, a breakdown of organometallic complexes of Fe and Al and, generally, an increase in the available water content.

### Key-words

Land clearing, spodosols, organic matter.

### 1. INTRODUCTION

In Canada, whereas total land surface covers more than 9 000 000 km<sup>2</sup>, soils in classes 1-3, which do not have serious limitations to crop production, represent only 5.3 % of this area (Nowland and McKeague, 1977). Under the pressure of expanding urban and indus-

---

C.R. De Kimpe - Research scientist, Land Resource Research Centre, Agriculture Canada, Central Experimental Farm, Ottawa, Ontario, Canada KIA OC6.

M.R. Laverdière - Professeur, Département des Sols, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Pavillon Comtois, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada, GIK 7P4.

trial zones, agriculture now turns to less suitable soils. This general situation also applies to the Saint-Laurent Lowlands in the province of Quebec, despite an agricultural zoning law intended to protect arable soils from development. Clearing of forested soils that present some potential for crop production has become a common practice. Class 4 soils in the lowlands, often developed on sandy parent material, belong to the Podzolic and Brunisolic orders in the Canadian System of Soil Classification (Canada Soil Survey Committee, 1978). After logging of the commercial-size trees, the land is cleared with heavy machinery pushing the stumps and branches into piles 4-5 m wide and up to 3 m high. The organic matter-rich layer is most often removed during this operation. An alternate practice, when natural vegetation is scarce, consists in deep plowing at >45 cm. The latter soil preparation results in diluting the more or less humified organic matter through the solum and in cultivation of a less productive soil, in spite of high fertilizer applications. Whatever the technique, soil properties are deeply modified upon cultivation, at the expense of soil productivity and this may also lead to soil degradation (Science Council of Canada, 1986).

Millette et al. (1980) compared soil properties of cultivated and forest soils belonging to the same soil series. They reported a change in soil texture that gave the cultivated soils some characteristics of Luvisols, as well as a dilution of organic matter throughout the solum, whereas it was concentrated in the litter and the upper horizons of the forest soils. Changes in biotic properties and turnover rate of carbon and nitrogen were reported when forest soils were limed (Bâath et al., 1980; Lohm et al., 1984). Prairie soils would be expected to undergo small changes only when cultivated, yet reduction of C and N concentration and organo-mineral particle-size fraction modifications were observed after 60-70 years of cultivation (Tiessen et al., 1982, 1984). Erosion of Ap horizons from Ontario soils with a rolling topography exposed less productive subsoil material (J. Arnold, personal communication, 1986). On the other hand, productivity of B and C horizons of Chernozems cultivated to barley and soybeans was brought to the level of the A horizon, for a limited period of time at least, when full fertilization was used (Borovskiy et al., 1983).

This study was undertaken to investigate the physical and chemical properties of soil mixtures prepared from the various horizons of podzolic soils and their ability to sustain crop production. The present report will deal mainly with the soil properties, whereas yield data and crop characteristics will be discussed elsewhere (Laverdière et al., in preparation).



## 2. MATERIALS AND METHODS

Two Podzolic soils were sampled according to horizonation (LFH, Ae, Bhf, Bf), one in the Appalachian and one in the Laurentian Highlands. The former soil, a Humic Cryorthod from the Leeds series (Baril and Rochefort, 1957), was sampled 50 km south of Quebec city. It developed on a sandy loam till and supported a vegetation of deciduous trees, maple and beech, mixed with some conifers. The latter soil, also a Humic Cryorthod from the Laurentide series (Acton et al., 1978) was sampled 80 km north of Quebec city. It developed on a loamy sand till and the vegetation at the site consisted of conifers, fir and spruce, with some birches.

Soil samples were air-dried and passed through a 6-mm sieve. For each soil, 16 different substrates were prepared by mixing the appropriate combinations of the four horizons (tables 1 and 2). Three and four replicates were prepared for each mixture of the Laurentide and Leeds soils, respectively. Total volume of all components in a substrate amounted to 2800 cm<sup>3</sup> and weight differences among replicates generally did not exceed 2 %. The soil mixtures, representing plowed soils after more or less severe conditions of clearing, were put in plastic pots, 15 cm in diameter and 15 cm high.

Lime was added as necessary to raise pH to 5.5. Barley (cv. Diva) was sown at the rate of 10 seeds/pot and thinned to 5 plants/pot after emergence. Four crops were planted and harvested. Growth experiments were performed in a phytotron where day/night temperatures, light and air relative humidity were automatically controlled. Fertilizers were applied at the rate of 135-45-180 kg/ha for N, P, K, respectively, using Hoagland solution (Arnon and Hoagland, 1939). This solution was suitable for cereal production on these soils (Association des fabricants d'engrais du Québec, 1987), taking into account a potential irreversible fixation of K by some minerals. Following each crop, the soil was air-dried, crushed when necessary and passed through a 6 mm-sieve.

Relevant methods used for assessing soil properties will be mentioned here. Organic carbon was determined by wet oxidation (Allison, 1965), pH was measured in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> (Peech, 1965), and cation exchange capacity was determined with NH<sub>4</sub>OAc at pH 7. Extractable sesquioxides were measured in dithionite-citrate-bicarbonate, DCB (Mehra and Jackson, 1960), ammonium oxalate (McKeague and Day, 1966) and sodium pyrophosphate (McKeague, 1967) extracts. Initial and final bulk density values were calculated, after mixing and again after the four crops, as the ratio of air-dried soil weight to the volume of humid soil, the latter being the volume of the container less the space volume above the humid soil. Avail-

Table 1.

Selected properties of the Laurentide and Leeds soil horizons.

Horizon	Depth (cm)	Texture			Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )	Water retention at		Available water in vol. %	Organic carbon (%)	pH in CaCl <sub>2</sub>	CEC (meq/100g)	Sesquioxides (%)					
		Sa (%)	Si (%)	Cl (%)		33 kPa (%)	1.5 MPa (%)					Fe			Al		
												DCB*	Oxal	Py	DCB*	Oxal	Py
<u>Laurentide Soil</u>																	
LFH	8-0	65	24	11	0.32	84.7	74.9	3.1	27.4	3.9	68	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
Ae	0-5	77	21	2	1.03	18.2	7.4	11.1	2.7	3.7	8	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Bhf	5-17	71	23	6	0.74	40.0	20.4	14.5	11.1	4.2	52	2.9	2.8	2.2	1.6	2.0	1.8
Bf	17-27	68	23	9	0.97	29.9	12.1	17.3	4.3	4.7	21	1.7	1.6	1.0	1.6	2.3	1.2
<u>Leeds Soil</u>																	
LFH	5-0	34	45	21	0.29	114.2	67.4	13.6	30.2	4.0	54	0.6	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
Ae	0-13	50	39	11	1.07	23.8	5.8	19.3	2.4	3.9	11	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Bhf	13-28	48	39	13	0.71	37.5	17.4	14.3	6.9	4.2	30	3.2	2.8	2.2	0.6	0.7	0.5
Bf	28-48	50	37	13	0.77	34.1	9.7	18.8	4.9	4.5	24	2.3	2.2	1.9	1.0	1.2	1.1
<p>* DCB : Dithionite-Citrate-Bicarbonate;  Oxal : Oxalate;  Py : Pyrophosphate.</p>																	

Table 2.

Composition of substrates and effect of substrate preparation on bulk density value (in Mg/m<sup>3</sup>).

Substrate number	Volume* unit(s) of				Laurentide soils			Leeds soil		
	LFH	Ae	Bhf	Bf	Th	Init.	Cro.	Th	Init.	Cro.
1	8	0	0	0	0.320	0.320	0.346	0.290	0.290	0.315
2	6	2	0	0	0.498	0.510	0.579	0.485	0.520	0.589
3	4	2	2	0	0.603	0.620	0.714	0.590	0.640	0.720
4	2	2	4	0	0.708	0.730	0.856	0.695	0.800	0.859
5	2	2	2	2	0.765	0.790	0.934	0.710	0.790	0.877
6	2	0	4	2	0.693	0.760	0.870	0.620	0.740	0.833
7	2	0	2	4	0.750	0.810	0.958	0.635	0.760	0.867
8	1	4	2	1	0.861	0.860	1.028	0.845	0.890	0.941
9	1	1	3	3	0.810	0.840	1.019	0.726	0.810	0.941
10	0	8	0	0	1.030	1.030	1.167	1.070	1.070	1.076
11	0	4	4	0	0.885	0.890	1.055	0.890	0.950	1.000
12	0	2	2	4	0.928	0.930	1.137	0.830	0.890	1.017
13	0	0	8	0	0.740	0.740	0.920	0.710	0.820	0.910
14	0	0	6	2	0.798	0.800	0.963	0.725	0.840	0.958
15	0	0	2	6	0.913	0.940	1.116	0.755	0.850	1.039
16	0	0	0	8	0.970	0.980	1.212	0.770	0.860	1.042

\* volume unit = 350 cm<sup>3</sup>; Th : theoretical value; Init. : after mixing; Cro. : after 4 crops.

able water content before and after four crops was obtained by subtracting the water percentage retained at 1.5 MPa as determined with a pressure membrane on disturbed samples from that at 33 kPa determined with the suction method (Hanks et al., 1954), and compared to non-cultivated soil mixture values obtained by calculation.

Pooled standards errors were calculated using the standard deviations of the different data.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Crop yield summary

Average grain yields for the four crops corresponded to 7.2 and

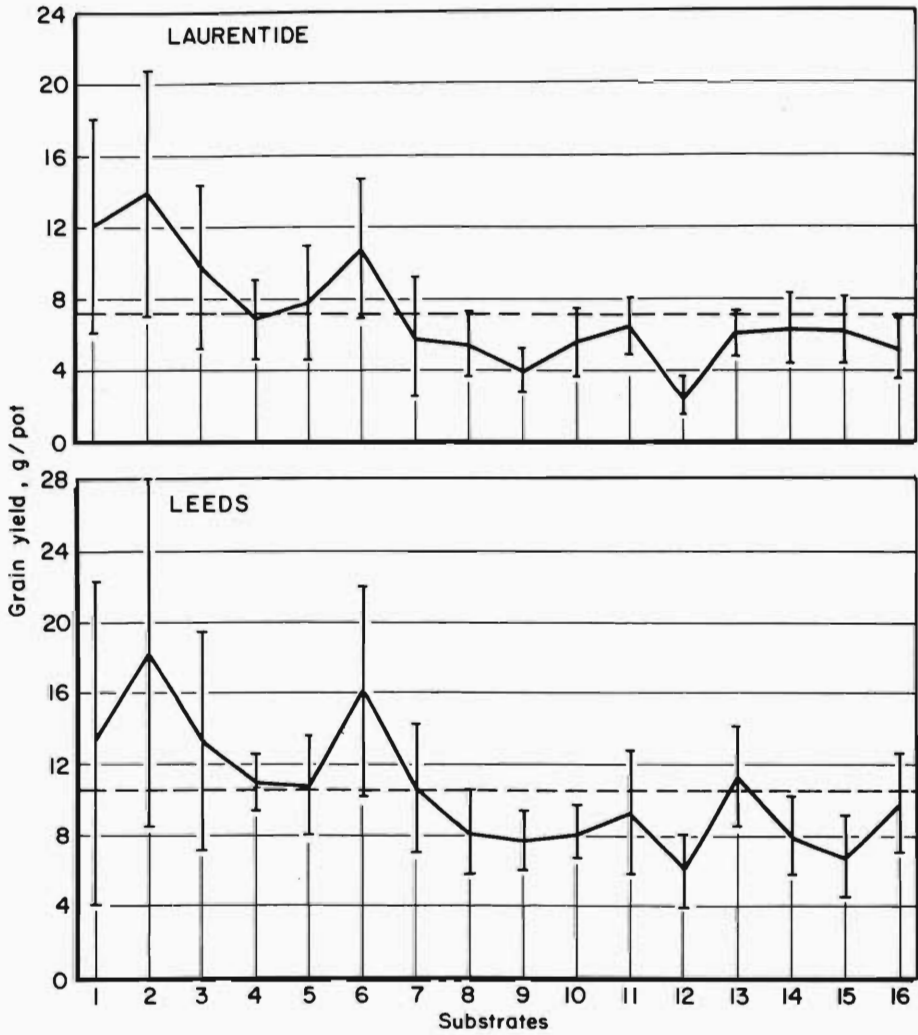


Fig. 1.

Average grain yield for crops 1 - 4 on the various substrates. The dotted line represents the overall average yield, whereas the vertical bars indicate the standard deviations.

10.5 g/pot for the Laurentide and Leeds soils, respectively (figure 1). Yield increased from the first to the second crop and decreased thereafter, which explains the large standard deviation values. Higher yields were generally obtained on the soil mixtures that contained LFH material and to a lesser extent on those with the Bhf horizon as a component.

### 3.2. Soil horizon properties

The mineral horizons from the Laurentide soil profile had a sandy loam texture except the Ae horizon that was a loamy sand (table 1), and all mineral horizons from the Leeds soil had a loam texture. Bulk density was  $< 1.0 \text{ Mg/m}^3$  in all horizons but the Ae that also had the lowest organic carbon content. Available water content, in volume %, ranged from 3.1 to 17.3 % and from 13.6 to 19.3 % for the Laurentide and Leeds soil horizons, respectively. The large available water content difference between both LFH layers probably resulted from the nature and the degree of decomposition of the litter in a conifer versus a deciduous tree forest. The organic matter was more decomposed in the Leeds soil, which resulted in a larger amount of clay-humus complexes. Cation exchange capacity was significantly ( $r = 0.886^{**}$ ) related to the organic matter content, in agreement with the results previously reported for other Podzolic soils of Quebec (Laverdière et al., 1981).

The abundance of primary minerals, quartz, feldspar and plagioclase, in the sand and silt fractions, and their presence in the clay-size fraction, considerably reduced the contribution of the mineral components to the cation exchange capacity (Martel et al., 1978). In the Laurentide soil, vermiculite was the dominant phyllosilicate, associated with small amounts of smectite in the Ae and of kaolinite in the B horizons (Ledoux and Trencia, 1973). In the Leeds soil profile, illite was the most abundant phyllosilicate, with small amounts of chlorite in the subsurface horizons and of vermiculite and smectite in the Ae and Bhf horizons (De Kimpe et al., 1972).

The B horizons of both profiles met the criteria of the Spodic ( $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{DCB}} > 0.5$  and  $(\text{Fe} + \text{Al})_{\text{py}}/\text{clay} > 0.2$ , Soil Survey Staff, 1975) and of the Podzolic ( $(\text{Fe} + \text{Al})_{\text{py}} > 0.6 \%$  and  $(\text{Fe} + \text{Al})_{\text{py}}/\text{clay} > 0.05$ , Canada Soil Survey Committee, 1978) horizons.

### 3.3. Effect of crop production on the soil mixture properties

#### 3.3.1. Bulk density

Theoretical bulk density values were calculated using the bulk density and volume of all components in each soil mixture, whereas actual bulk density values were measured in the containers, before and after the crops were taken (table 2 and figure 2). The pooled standard error for the Laurentide soil mixtures before and after cropping was 0.108 and 0.119  $\text{Mg m}^{-3}$  respectively, whereas the corresponding values for the Leeds soil mixtures were 0.126 and 0.146  $\text{Mg m}^{-3}$ . Mixing of the components resulted in an average

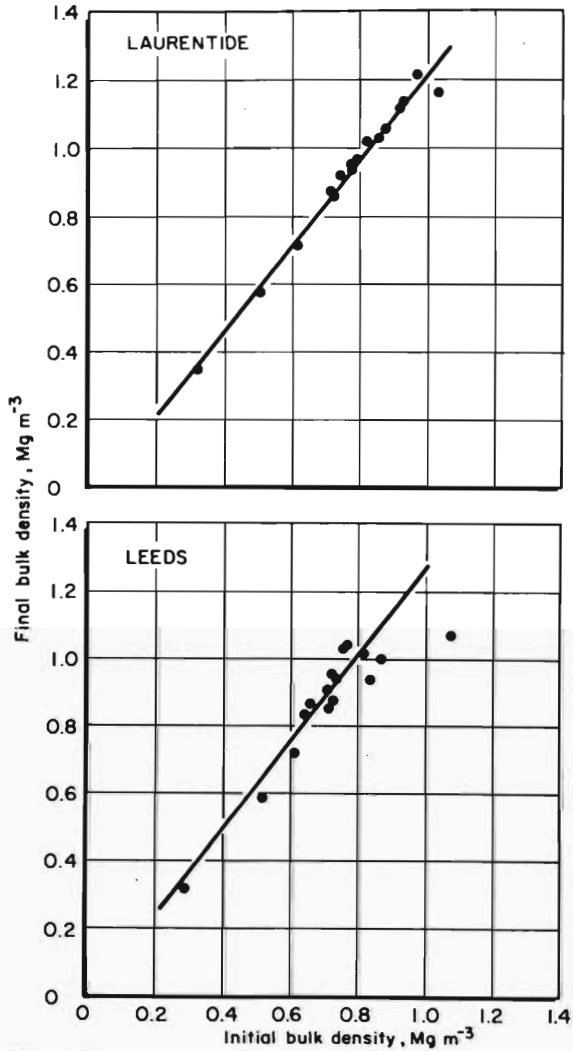


Fig. 2.  
Relation between bulk density values before and after crop production.

bulk density increase of 10 % for the Leeds soil mixtures, whereas the increase was 2 % only for the Laurentide ones. The texture of the soils (table 1), which corresponded to a bimodal (sand and silt) system for the Laurentide and to a heterogranulometric system for the Leeds soil, probably explained this difference (Gupta and Larson, 1979). After four crops, bulk density significantly increased in all mixtures but No. 10, the Ae horizon. This substrate contained the lowest organic matter content and was therefore less prone

to major changes upon cultivation. Bulk density of substrates 10 fell on the 1:1 line for the Leeds soil (figure 2) and somewhat above it for the Laurentide soil, which indicated a slight bulk density increase in the latter.

In the course of the crop production experiments, deterioration of the water transmitting properties of the Leeds soil mixtures without LFH layer as a component was indicated by water ponding at the soil surface for extended periods of time.

### 3.3.2. Organic carbon

Organic carbon decreased in all mixtures with cultivation (figure 3). The pooled standard error corresponded to 2.68 and 2.13 % for the Laurentide and to 1.80 and 3.12 for the Leeds soil, before and after the crops, respectively. Similar decreases of organic matter content in a soil upon cultivation were reported by several authors (Lohm et al., 1984; Tiessen and Stewart, 1983). Millette et al. (1980), however, compared the properties of soils cultivated for more than 60 years with those of forested counterparts. According to these authors, the total organic matter content in the solum had significantly increased upon cultivation when the content was corrected for horizon thickness and bulk density. Expressing the organic carbon content on a volume basis indeed indicated an increase, especially for most Laurentide soil mixtures (figure 3).

### 3.3.3. Cation exchange capacity

Crop production resulted in an increase of the cation exchange capacity of the soil mixtures (figure 4). The average increase corresponded to 22 and 31 % for the Laurentide and Leeds soils, respectively, and the pooled standard error was 11.3 and 14.5 meq/100 g. For the Leeds soil, there was a predominant contribution of the LFH material as the average increase was 40 % for mixtures 1-7, but only 17 % for mixtures 8-16 that did not contain LFH material in their composition (table 2). In spite of the short duration of the growth experiments, liming influenced the decomposition of the mull-type humus of the Leeds soil, but to a lesser extent than that of the mor-type humus of the Laurentide soil, with only a limited formation of humus-clay complexes in the latter substrates.

### 3.3.4. Extractable sesquioxides

Sesquioxides were determined in three different extracts, before and after cultivation. These extracts will be referred to, hereafter, as initial and final extracts. Final dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) extracts contained more Fe but the same amount of Al than the initial ones (figure 5). Oxalate-Fe extraction was very close to

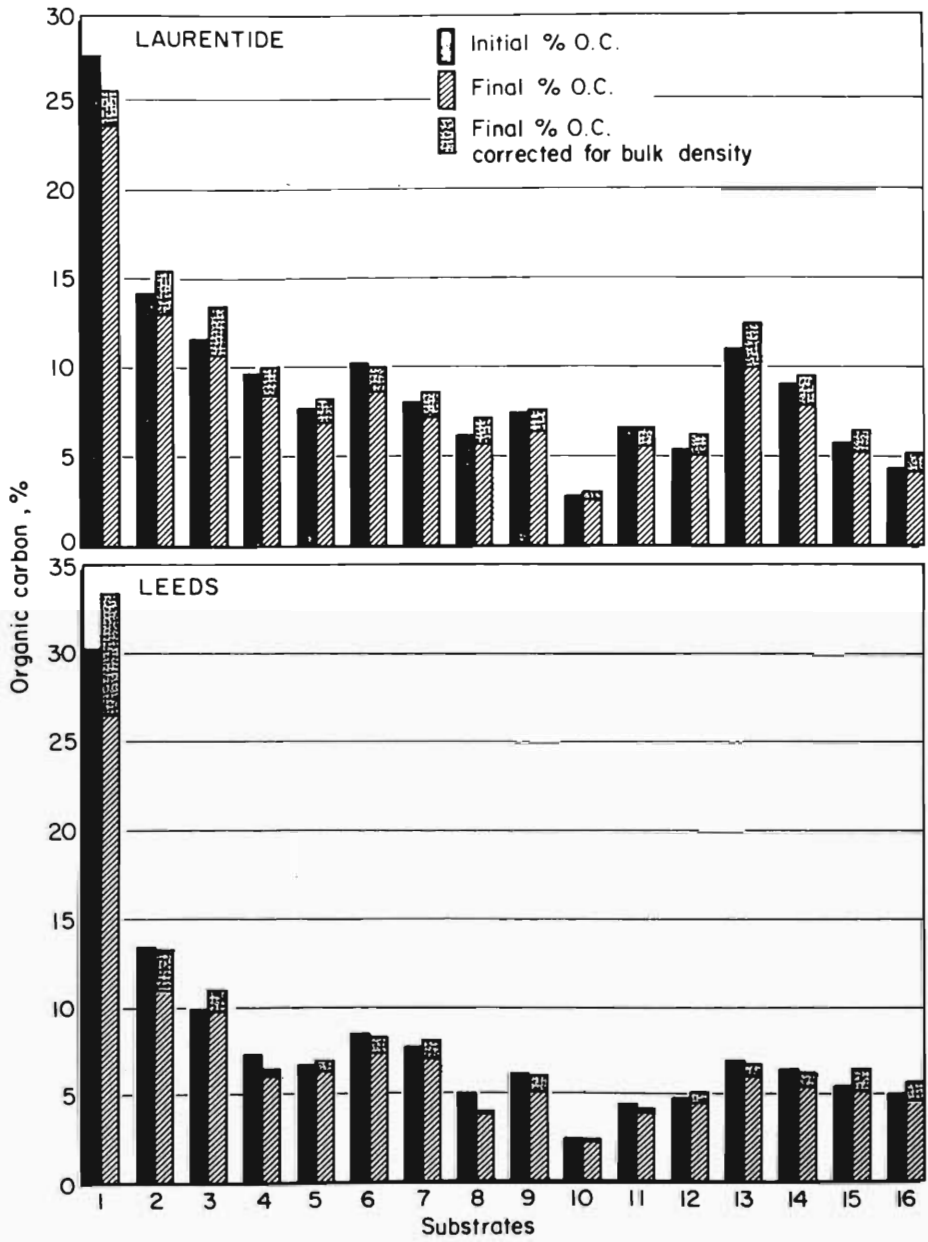


Fig. 3. Organic carbon content of the substrates before and after crop production.



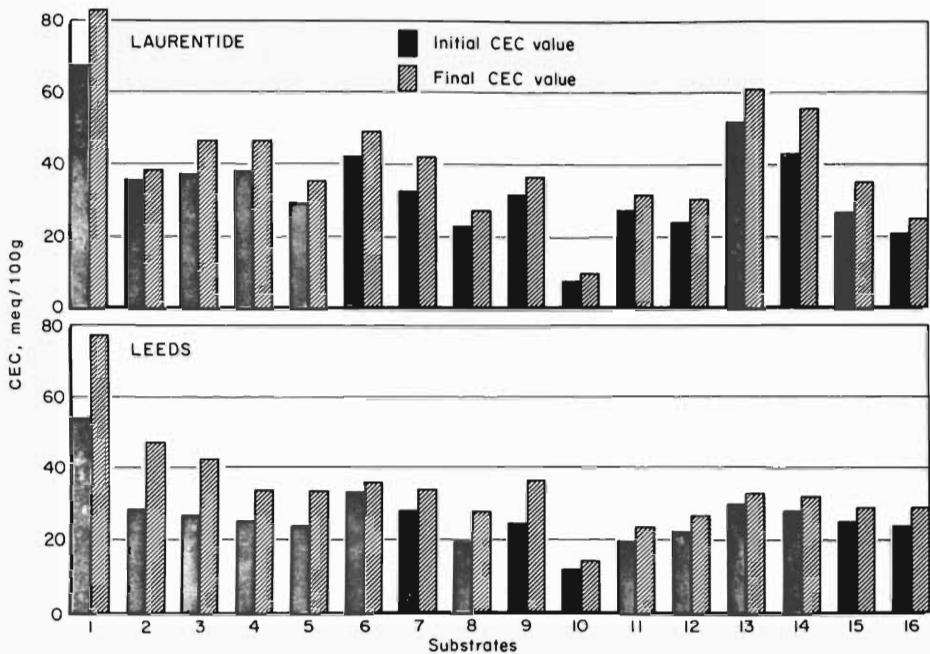


Fig. 4. Cation exchange capacity of the substrates before and after crop production.

the 1:1 line whereas the final pyrophosphate solution contained less Fe than the initial one. In both oxalate and pyrophosphate extracts, the amount of solubilized Al after crop production was lower than that measured prior to cultivation. The slopes for the organic carbon and for the pyrophosphate-extractable Fe content were similar (figure 5), and indicated a breakdown and a loss of organometallic complexes upon cultivation. Fe precipitated under non-complexed forms as indicated by the DCB-extractable Fe values, whereas Al was probably evacuated. These trends were in agreement with the results of Millette et al. (1980) who reported an increase of DCB-extractable Fe in the soils upon cultivation. Gaudette and Millette (1975) studied the composition of concretions formed in the solum of cultivated soils. They concluded that these concretions, characterized by a high content of DCB-extractable Fe, developed preferentially in imperfectly drained soils where large variations of the water table over extended periods of time favored successive oxidation-reduction reactions coupled with hydration and desiccation of the soil. A similar process could likely be observed in cultivation experiments provided a long enough period of time is allowed for the concretions to develop.

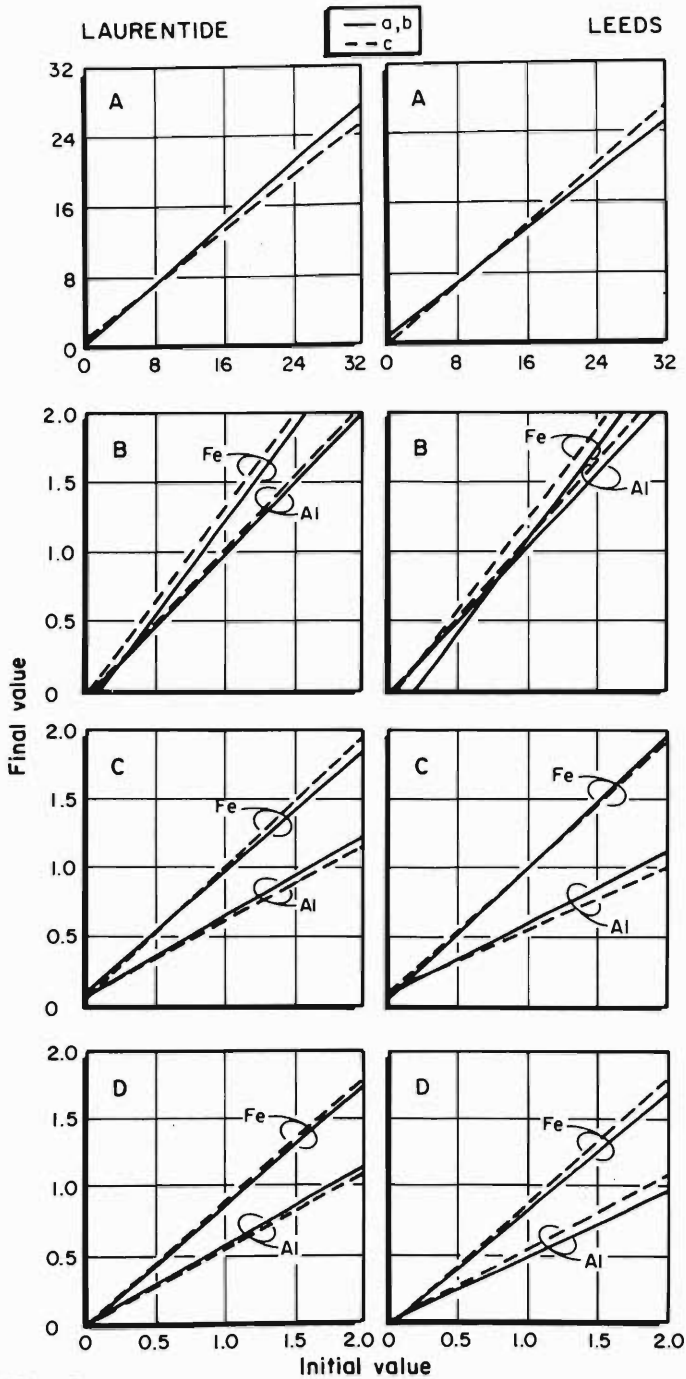


Fig. 5. Relation between organic C-(A), DCB-(B), oxalate-(C) and pyrophosphate -(D) extractable Fe and Al in the substrates before and after crop production : (a,b) : substrates limed and fertilized; (c) : substrates limed only.

Slight differences among replicates a, b and c were related to the fact that replicate c was limed but not fertilized; however, the differences were not large enough to demonstrate a specific influence of the fertilizers on the decomposition of the organometallic complexes in the soil mixtures upon cultivation.

### 3.3.5. Water retention capacity and available water

A comparison between the soil mixtures was made possible by calculating the available water content for an identical depth of 30 cm, using the formula : available water (in cm H<sub>2</sub>O) =

$$\frac{\text{H}_2\text{O content (33kPa - 1.5 MPa)} \times \text{bulk density} \times 30 \text{ cm}}{100}$$

The available water content, calculated for the forest soils was 4.8 and 5.7 cm H<sub>2</sub>O for the Laurentide and Leeds soils, respectively. In this case, however, the values were based on 30 cm of mineral soil + the contribution of the LFH layer, as the latter was mixed with the mineral horizons in the substrates. Mixing of the components for the substrate preparation had generally an adverse effect on the available water content (figure 6) that, on the average, corresponded to 3.7 and 5.4 cm H<sub>2</sub>O for the two series of mixtures. In the case of the Laurentide soil, the decrease was especially large for the soil mixtures that involved the LFH layer as a component. The pooled standard error for these measurements were 0.336 and 0.420 cm H<sub>2</sub>O, for the Laurentide and Leeds soils.

Available water content increased upon cultivation for all Laurentide and most Leeds mixtures, with average values being 5.7 and 6.2 cm H<sub>2</sub>O and the pooled standard error 1.25 and 0.48 cm H<sub>2</sub>O for the former and latter soil, respectively. Larger increases were observed in the mixtures that contained some LFH material and this was especially evident for the Laurentide soil. Sieving the substrates between the crops may have caused a larger breakdown of the mor-type humus of this soil. In addition, liming that was found to have only a small effect on the chemical properties of the Laurentide substrates, may have promoted a better physical reorganization of the substrates. As total organic matter content was not considerably increased over the cropping period, improvement in the water holding properties were likely attributed to a change in particle aggregation, resulting in a modification of the pore system.

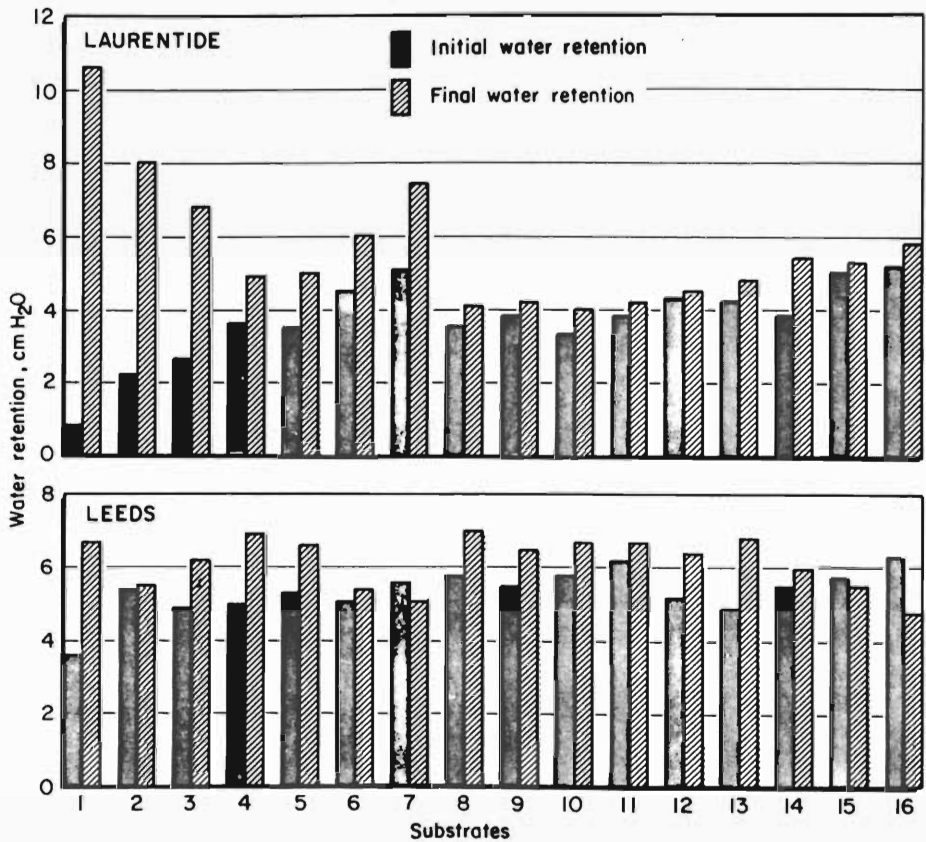


Fig. 6. Available water content in cm H<sub>2</sub>O/30 cm of soil, before and after crop production.

#### 4. CONCLUSIONS

Crop production on soil mixtures prepared from the different horizons of two Podzolic soils improved some properties whereas others remained unaffected. Bulk density increased but the final values were in a range still adequate for most crop productions (Dejou and De Kimpe 1984). Available water content generally increased upon cultivation. For the Laurentide mixtures, the values exceeded that of the forest soil suggesting that the "clearing" intensity had no serious effect. This was certainly more important for the Leeds substrates, 30 % of which had a lower available water content than the corresponding forest soil. Among chemical properties of concern to soil quality, cation exchange capacity generally increased whereas four crop cycles were not sufficient to modify

considerably the organic matter content. Sesquioxide extractability indicated a destruction of organometallic complexes and an accumulation of non-complexed Fe.

Potential fertility of the soil mixtures without the LFH layer amounted to about 70 % of that obtained in the presence of the LFH layer, when high to adequate fertilization was applied : the average productivity on the soil mixtures corresponded to 2.9 and 4.2 t/ha for the Laurentide and Leeds soils, respectively, in comparison to an average yield of 3.5 t/ha in Quebec farms (Association des Fabricants d'engrais du Québec, 1987). However, removal of the surface organic layer reduces the availability of nutrients to plants and makes the soil denser and more sensitive to erosion factors (De Kimpe et al., 1981). Addition of easily decomposable organic amendments (MacRae and Mehuys 1985) would certainly contribute to improve the suitability of such cleared soils for sustained crop production.

## REFERENCES

- Acton, C.J., Beke, G.J., Day, J.G., MacDougall, J.I. & Marcoux, R; (1978)  
Itinéraire d'excursion dans l'est du Canada.  
Publ. 11e Cong. Int. Sc. Sol, Edmonton, Canada, 188 p.
- Allison, L.E. (1965)  
Organic carbon. In C.A. Black et al. (eds.). Methods of soils analysis. Part 2.  
Agronomy 9. Am. Soc. Agr. Madison, Wis., 1346-1366.
- Arnon, D.I. & Hoagland, D.R. (1939)  
Comparison of water culture and soil as media for crop production.  
Science 89 : 512-514.
- Association des Fabricants d'Engrais du Québec (1987)  
Guide de fertilisation.  
A.F.E.Q. Montréal, 133 p.
- Bâath, E., Berg, B., Lohm, U., Lundgren, B., Lundkvist, H., Rosswall, T., Söderström, B. & Wiren, A. (1980)  
Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest.  
Pedobiologia, 28 : 85-100.
- Baril, R. & Rochefort, B. (1957)  
Etude pédologique du comté de Lotbinière, province de Québec.  
Min. Féd. Agric., Min. Agric. Qué. et Ecole Sup. Agric., 115 p.

- Borovskiy, V.M., Dzhamalbekov, Y.U. & Kozybayev, F.Y. (1983)  
Comparison of the productivity of different soil horizons of profiles taken from the Zailiyskiy Alatau to the Kapchagayskoye reservoir. *Pochvovedeniye*, 9 : 59-66.
- Canada Soil Survey Committee (1978)  
The Canadian system of soil classification.  
Can. Dept. Agric. Ottawa, Ont., Publ. 1646. 164 pp.
- Dejou, J. and De Kimpe, C.R. (1984)  
La compacité des sols et ses conséquences agronomiques. Aperçu bibliographique.  
*Bull. Tech. Inf., Paris*, 386 : 3-15.
- De Kimpe, C.R., Baril, R. & Rivard, R. (1972)  
Characterization of a toposequence with fragipan : the Leeds - Ste Marie - Brompton series of soils, Province of Quebec.  
*Can. J. Soil Sci.*, 52 : 135-150.
- De Kimpe, C.R., Laverdière, M.R. & Zizka, J. (1981)  
Effet du modelage des champs sur l'hétérogénéité des sols et les rendements en maïs-grain.  
*Can. J. Soil Sci.*, 61 : 225-236.
- Gaudette, A. & Millette, G.J.F. (1975)  
Propriétés chimiques et physiques des concrétions dans certains sols du Québec.  
*Can. J. Soil Sci.*, 55 : 269-278.
- Gupta, S.C. & Larson, W.E. (1979)  
A model for predicting packing density of soils using particle-size distribution.  
*Soil Sci. Soc. Am., J.*, 43 : 758-764.
- Hanks, R.J., Holmes, W.E. & Tanner, C.B. (1954)  
Field capacity approximation based on the moisture transmitting properties of the soils.  
*Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18 : 252-254.
- Laverdière, M.R., De Kimpe, C.R. & d'Avignon, A. (1981)  
Caractéristiques minéralogiques et chimiques de quelques sols sableux du Québec en regard de leur évolution pédologique.  
*Can. J. Soil Sci.*, 61 : 273-283.
- Ledoux, R. & Trencia, J. (1973)  
Guide d'excursion pour le 4e Congrès nord-américain sur les sols forestiers.  
Univ. Laval, Québec,, 31-32.
- Lohm, U., Larsson, K. & Nõmmik, H. (1984)  
Acidification and liming of coniferous forest soil : long-term effects on turnover rates of carbon and nitrogen during an incubation experiment.

Soil Biol. Biochem., 16 : 343-346.

MacRae, R.J. & Mehuys, G. (1985)

The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils.

Adv. Soil Sci., 3 : 71-94.

Martel, Y.A., De Kimpe, C.R. & Laverdière, M.R. (1978)

Cation-exchange capacity of clay-rich soils in relation to organic matter, mineral composition, and surface area.

Soil Sci. Soc. Amer. J., 42 : 764-767.

McKeague, J.A. (1967)

An evaluation of 0.1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in Podzols and some other soils.

Can. J. Soil Sci., 47 : 95-99.

McKeague, J.A. & Day, J.H. (1966)

Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils.

Can. J. Soil Sci., 46 : 13-22.

Mehra, O.P. & Jackson, M.L. (1960)

Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate.

Clays Clay Min., 7 : 317-327.

Millette, G.J.F., Leger, R.G. & Bailey, R.E. (1980)

A comparative study of physical and chemical properties of two cultivated and forested Orthic Podzols.

Can. J. Soil Sci., 60 : 707-719.

Nowland, J.L. & McKeague, J.A. (1977)

Canada's Limited Agricultural Land Resource. In R. Kreuger & B. Mitchell (eds.), *Managing Canada's Renewable Resources*.

Methuen, Toronto, 109 p.

Peech, M. (1965)

Hydrogen-ion activity. In C.A. Black et al. (eds.), *Methods of soil analysis*. Part 2.

Agronomy 9. Am. Soc. Agr. Madison, Wis., pp. 914-926.

Science Council of Canada (1986)

A growing concern : soil degradation in Canada.

Min. Supply Services, Ottawa, Ontario, Canada.

Soil Survey Staff (1975)

Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpretation of soil surveys.

S.C.S. - USDA Handbook No. 436.

Tiessen, H. & Stewart, J.W.B. (1983)  
Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions.

Soil Sci. Soc. Am. J., 47 : 509-514.

Tiessen, H., Stewart, J.W.B. & Bettany, J.R. (1982)  
Cultivation effect on the amounts and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils.

Agron. J., 74 : 831-835.

Tiessen, H., Karamanos, R.E., Stewart, J.W.B. & Selles, F. (1984)  
Natural nitrogen-15 abundance as an indicator of soil organic matter transformations in native and cultivated soils.

Soil Sci. Soc. Am. J., 48 : 312-315.

---

## Effet de la mise en culture sur les propriétés physiques et chimiques de deux sols podzoliques du Québec, Canada

### Résumé

Des substrats ont été préparés en mélangeant différentes combinaisons des horizons LFH, Ae, Bhf, Bf de deux sols podzoliques du Québec. Quatre cultures d'orge ont été réalisées sur ces mélanges qui ont été analysés, avant et après culture, afin de déterminer les modifications de leurs propriétés physiques et chimiques. La mise en culture a mené à une augmentation de la densité apparente, une diminution du contenu en matière organique, un accroissement de la capacité d'échange cationique, une destruction des complexes organométalliques de Fe et Al et, dans la plupart des cas, un accroissement du contenu en eau utile.

---

## Invloed van de landbouw op de fysische en chemische eigenschappen van twee podzolbodems uit Québec, Canada

### Samenvatting

Bodensubstraten werden bereid door menging in verschillende verhoudingen van LFH, Ae, Bhf, en Bf-horizonten uit twee podzolgronden van Quebec, Canada. Deze mengsels werden bezaaid met gerst en werden geanalyseerd vóór en na de kultuur teneinde de veranderingen in de chemische en fysische eigenschappen te bepalen.



De kultuur gaf aanleiding tot een verhoging van de schijnbare dichtheid, een verlaging van het gehalte aan organisch materiaal, een toename van de sorptiecapaciteit, een afbraak van de organo-metallieke complexen van Fe en Al, en, over het algemeen ook tot een verhoging van het beschikbare watergehalte in de bodem.

---



## LIBERATION DU POTASSIUM PAR LE TREFLE ET LE RAY-GRASS DANS QUATRE SOLS DU SUD DE LA WALLONIE, BELGIQUE

J.E. DUFÉY  
J. LAMBERT

### Résumé

Cette note tente d'évaluer la réversibilité du processus de fixation du potassium dans quatre sols : un sol de Famenne (E), deux sols d'Ardenne (L et M) et un sol de la Région Jurassique (H) en Belgique. Ces sols avaient subi différentes additions de K et une série de cycles humectation-dessiccation.

La libération de K a été mesurée par un "réactif" biologique, le végétal lui-même. Deux espèces, le trèfle violet et le ray-grass italien, ont été cultivées sur ces sols jusqu'à épuisement en K.

Il apparaît que les végétaux libèrent des quantités de K non échangeables proportionnelles aux quantités de K fixées. Un pouvoir fixateur élevé va donc de pair avec une capacité importante de libération. Dans le sol E, très fixateur, le ray-grass libère davantage de K que le trèfle; dans les autres sols une légère tendance inverse se manifeste.

### Mots clés

*Trifolium pratense*, *Lolium multiflorum*, fixation.

**J.E. Dufey** - Chargé de cours, Unité des Sciences du Sol, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Catholique de Louvain, Place Croix du Sud, 2, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

**J. Lambert** - Professeur ordinaire, Laboratoire d'Ecologie des Prairies, Université Catholique de Louvain, Michamps Bourcy, B-6654 Longvilly, Belgique.

## 1. INTRODUCTION

Le cadre général de cette étude a été défini dans un article précédent (Dufey et Lambert, 1987). Des techniques simples ont permis d'établir le devenir du K ajouté à quatre sols du Sud de la Wallonie, et notamment d'établir la fraction de K qui, de façon conventionnelle, est considéré comme "fixé", c'est-à-dire non rapidement échangeable par un cation extracteur tel que l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ , dans des conditions expérimentales données. Dans ce deuxième article, on étudie le processus inverse, c'est-à-dire la "libération" de K par ces mêmes sols.

Les études portant sur ce phénomène se distinguent par le but qu'elles poursuivent. Comme le K est le cation basique le plus étroitement lié à la minéralogie du sol, des expériences de libération de K dans différentes conditions de milieu permettent d'élucider certains mécanismes pédogénétiques relatifs tant à l'altération des minéraux aluminosilicatés primaires qu'à des transformations secondaires au sein de la fraction texturale argileuse. D'innombrables articles et ouvrages traitent de ce sujet; on peut se référer p.ex. au livre de Greenland et Hayes (1981) et à l'article de Martin et Sparks (1985) pour ses très nombreuses références bibliographiques. D'autres études ont un but essentiellement agronomique, en ce sens qu'elles visent à évaluer les quantités de K réputé non échangeable mais qui participent cependant à l'alimentation des végétaux.

Divers travaux ont montré que la libération de K non échangeable est le résultat d'une réaction d'échange contrôlée par un processus de diffusion (Mortland, 1961; Reed et Scott, 1962; Feigenbaum et al., 1981) éventuellement accompagnée d'une hydrolyse du réseau alumino-silicaté dans des conditions de milieu particulières. Une synthèse des équations cinétiques les plus adéquates est donnée par Martin et Sparks (1985). La libération de K non échangeable implique en effet un transfert de K des espaces interfoliaires vers des sites plus accessibles, dont la garniture cationique fixe la composition relative de la solution du sol (Dufey et Marot, 1987). Cette interdiffusion s'accompagne d'une ouverture des feuillettes si le cation migrant en sens inverse du K a une forte énergie d'hydratation.

Au niveau racinaire, le prélèvement actif de K crée un appauvrissement en K échangeable (Kuchenbuch, 1985) qui, vraisemblablement, accentue la vitesse de relâchement du K non échangeable à mesure que l'on s'approche de la racine. A cet effet de gradient entre K non échangeable et K échangeable s'ajoutent d'autres facteurs rhizosphériques susceptibles d'affecter la libération du K. Des photographies récentes de Römheld (1986), en présence d'indicateurs colorés, ont montré à quel point le sol rhizosphérique est différent de la masse du sol, notamment au point de vue pH.

L'aspect cinétique du processus de libération du K pose un problème analytique. En effet, si les études interprétatives à visée strictement pédogénétique peuvent se passer sans grand inconvénient de cet aspect cinétique (les conditions de milieu sont le facteur essentiel vu l'échelle de temps caractéristique de ces processus), il en va tout autrement des études portant sur l'alimentation des végétaux. L'échelle de temps est ici de l'ordre de l'année, voire du mois ou de la semaine. Il importe de savoir dans quelle mesure le flux de K non échangeable entre sol et racine permet de satisfaire les besoins immédiats de la plante, que ce soit directement ou indirectement par une réalimentation du pool de K échangeable devenu insuffisant (cette différence est purement formelle vu l'aspect dynamique des processus).

Il n'existe pas de technique universellement acceptée pour estimer a priori le surplus de K non détecté p.ex. par une extraction rapide avec un sel d'ammonium, mais cependant suffisamment accessible aux végétaux. Parmi celles-ci, les plus répandues sont l'extraction avec des acides à chaud (MacNeal, 1961), l'extraction par des résines échangeuses préalablement saturées en  $H^+$  ou  $Ca^{++}$  (Talibudeen et al., 1978; Martin et Sparks, 1983; Goulding, 1984), l'extraction au tétraphénylborate - Na (Schulte et Corey, 1965; Marot et al., 1984). Toutes ces techniques présentent divers avantages analytiques et ont permis dans nombre de cas des corrélations empiriques satisfaisantes avec les prélèvements réels des végétaux. Fondamentalement, ces méthodes purement chimiques tentent de se rapprocher des mécanismes mis en oeuvre par la plante pour extraire le K. Aucune n'a, bien sûr, la prétention de simuler exactement les mécanismes complexes de l'extraction racinaire, ce qui restera toujours utopique.

Confrontés à cette impasse analytique, de nombreux auteurs se sont tournés vers le végétal lui-même en tant que réactif d'extraction (De Ment et al., 1959; Quemener et Rolland, 1970; Binet et al., 1984). Cette méthode est, bien sûr, plus lourde que les méthodes chimiques. Elle n'a pas non plus la prétention de simuler exactement ce qui se passe en champ, puisque notamment l'effet des facteurs climatiques sur la vitesse de libération du K est imprévisible. Ce test ne simule pas non plus l'impact de diverses pratiques phytotechniques. Le choix de l'espèce végétale utilisée pose aussi un problème (Binet et Thammavong, 1974).

Nous avons utilisé cette méthode d'épuisement potassique par le végétal pour évaluer la réversibilité du processus de fixation dans nos quatre sols de référence. Les tests ont été menés avec deux espèces végétales connues pour leurs capacités très différentes d'absorption potassique, le trèfle et le ray-grass. Afin de cerner quelque peu l'aspect cinétique de la libération, deux quantités diffé-

rentes de sol ont été mises à la disposition d'un même nombre de plantules. Dans ce même but, la quantité totale de K exportée a été scindée en deux fractions : une première fraction correspondant à ce qui est exporté par les premiers 60 pour-cent de la production totale de matière sèche et une deuxième fraction correspondant à l'exportation ultérieure jusqu'à épuisement (absence de repousse). La limite de 60 % a été choisie car cela correspondait en moyenne à la production des trois premières coupes; on peut qualifier conventionnellement cette première fraction de "K aisément accessible".

## 2. MATERIAUX ET METHODES

Les quatre sols étudiés ont été décrits dans l'article précédent (Dufey et Lambert, 1987). Ils ont été prélevés dans l'horizon Ap de parcelles cultivées; leur origine et leurs caractéristiques analytiques élémentaires sont rappelées au tableau 1.

**Tableau 1.**  
Caractéristiques des sols étudiés.

Symbole	E	L	M	H
Localité	Eprave	Libin	Moinet	Habay-la-Veille
Région	Famenne	Ardenne	Ardenne	Rég. Jurasique
Géologie	alluvions de la Lhomme	gedinien	siegenien	rhétien
Classif. belge	Acp	Gbbfi	Gbbfi	sLca
Argile (%)	23.1	18.8	18.2	14.9
Limon (%)	53.4	59.4	65.9	24.8
Sable (%)	23.5	21.8	15.9	60.3
Carbone (%)	1.7	2.8	2.4	0.8
pH <sub>eau</sub> (1/5)	6.4	5.8	5.8	6.5
pH <sub>KCL</sub> (1/5)	5.5	5.0	4.9	5.8
CEC (meq/100 g)	10.0	10.6	10.8	8.0
Ca	8.18	6.20	5.50	6.03
Mg	0.59	0.52	0.35	0.96
K	0.55	0.25	0.18	0.77
Na	0.04	0.03	0.08	0.05

Ces sols ont subi différentes additions de K sous forme KCl et ont ensuite été soumis à 8 cycles humectation-dessiccation (H-D) d'une semaine chacun, en vue de favoriser les processus de fixation.

Avec chaque échantillon de sol ainsi prétraité (4 sols x 5 additions de K = 20 échantillons), on a préparé des pots de culture selon les modalités suivantes. Dans des pots en plastique de dimension 10 x 10 x 15 cm, équipés d'un tube latéral pour l'arrosage, on a placé une couche de 800 g de sable siliceux pur surmontée d'une couche de 1000 g de mélange sol-sable. Deux types de mélanges ont été préparés : 100 g sol + 900 g sable et 250 g sol + 750 g sable.

Chacun de ces substrats a été ensemencé par deux espèces végétales : le ray-grass d'Italie (*Lolium multiflorum*, var. Lemtal) et le trèfle violet (*Trifolium pratense*, var. Violetta). Les cultures se sont déroulées en chambre climatisée à une température diurne de 20°C et une température nocturne de 15°C.

Des arrosages ont été pratiqués tous les deux jours, par pesée, le contenu en eau étant ramené chaque fois à 400 ml par pot. La solution d'arrosage était une solution nutritive comprenant tous les éléments sauf le K. Cette solution est préparée comme suit :

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$   $10^{-3}\text{M}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   $10^{-3}\text{M}$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$   $2.5 \times 10^{-3}\text{M}$ , FeEDTA  $6.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$   $0.61 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   $0.39 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   $0.055 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   $0.055 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   $0.035 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

Après la levée, le nombre de plantules a été ajusté à 14 par pot. Une première coupe a été pratiquée 26 jours après le semis, et ensuite les plantes ont été coupées toutes les deux semaines jusqu'à ce que plus aucune repousse ne se produise, ce qui a nécessité de 4 à 9 coupes selon les substrats.

Les poids secs des végétaux ont été mesurés à chaque coupe. La masse totale récoltée sur chaque pot a été divisée en deux échantillons : un premier échantillon correspondant aux premiers 60 pour-cent de la récolte totale et un deuxième échantillon constitué du reste de la récolte. Les teneurs en K dans les végétaux ont été mesurées par calcination à 450°C, dissolution des cendres avec  $\text{HNO}_3$  et dosage du K par absorption atomique.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les figures 1a et 1b présentent les exportations totales de K par le ray-grass et le trèfle en fonction de l'addition de K, pour les mélanges sol-sable 10 % et 25 %. Il apparaît que les exportations

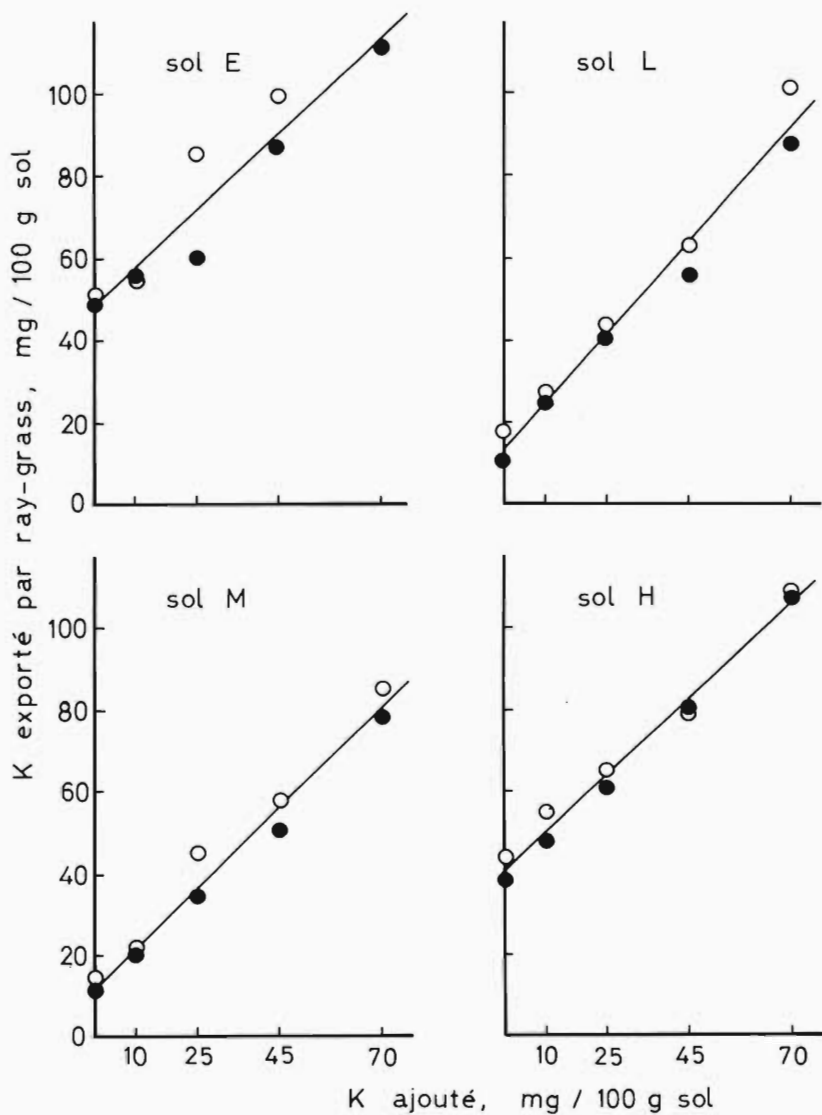


Fig. 1a.

K exporté par le ray-grass jusqu'à épuisement des substrats en fonction des quantités de K ajoutées. Cercles vides : mélanges sol/sable 1/9; cercles pleins : mélanges sol/sable 1/3.



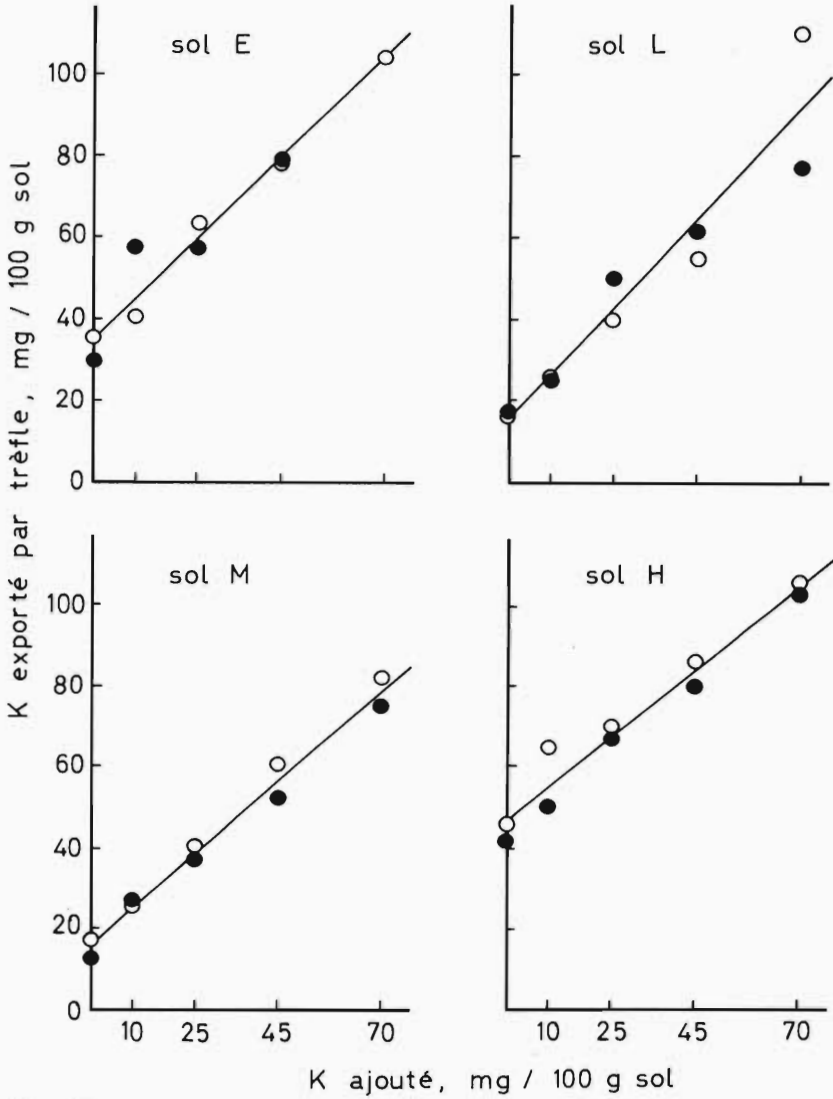


Fig. 1b.

K exporté par le trèfle jusqu'à épuisement des substrats en fonction des quantités de K ajoutées. Cercles vides : mélanges sol/sable 1/9; cercles pleins : mélanges sol/sable 1/3.

de K augmentent linéairement avec l'addition de K et que le rapport sol/sable n'a pas d'influence significative sur cette relation. Cette observation, déjà rapportée précédemment par Binet (1979) permet de réduire le temps nécessaire à ce type d'expérimentation puisque, pour une dose de K donnée et un sol donné, l'épuisement est d'autant plus rapide que la quantité de sol est plus faible.

La linéarité de la relation entre K exporté et K ajouté et son indépendance vis-à-vis du rapport sol/sable se sont également vérifiées pour les exportations correspondant aux premiers 60 pour-cent de la production totale de matière sèche.

L'efficacité de l'exploitation des quantités de K ajoutées peut s'évaluer par les pentes  $\Delta K$  exporté/  $\Delta K$  ajouté présentées au tableau 2. Toutes ces valeurs (sauf trèfle sur sol H) sont très proches de l'unité (0,9 à 1,1), ce qui indique une exploitation complète du K ajouté par les deux types de plantes. L'exception mentionnée ci-dessus est commentée plus loin.

**Tableau 2.**

Valeurs de  $\Delta K$  exporté/  $\Delta K$  ajouté.

Sol	Ray-grass	Trèfle
E	0.93 (0.11)	0.99 (0.09)
L	1.11 (0.07)	1.10 (0.14)
M	0.97 (0.06)	0.89 (0.05)
H	0.93 (0.04)	0.83 (0.06)

Les nombres entre parenthèses sont les écarts-types sur les pentes des figures 1a et 1b.

L'exploitation des réserves potassiques des sols non amendés peut être quantifiée par les valeurs des ordonnées à l'origine des relations linéaires K exporté - K ajouté (tableau 3). On note ici une différence essentielle entre les deux espèces végétales, outre bien sûr des différences entre sols auxquelles il fallait s'attendre suite aux analyses de K rapportées précédemment (Dufey et Lambert, 1987). Dans le sol E, le trèfle exporte nettement moins de K que le ray-grass; ceci s'accorde bien avec les données de la littérature (Steffens et Mengel, 1981; Binet et al., 1984) qui rapportent une capacité particulièrement importante du ray-grass à extraire le K difficilement accessible, et le sol E est précisément celui qui manifeste le plus haut pouvoir fixateur. Par contre, lorsque le K occupe des sites plus accessibles (sol L, M et surtout H), le trèfle

**Tableau 3.**

Potassium exporté sur les sols non amendés (mg/100 g sol).

Sol	Exportations totales		Exportations 60 % <sup>1</sup>	
	Ray-grass	Trèfle	Ray-grass	Trèfle
E	48.7 (3.9) <sup>2</sup>	35.5 (2.9)	37.8 (2.2)	23.1 (2.4)
L	13.4 (2.6)	15.1 (5.4)	8.5 (1.8)	10.7 (3.6)
M	12.3 (2.2)	16.3 (1.7)	8.2 (2.4)	13.8 (2.0)
H	40.2 (1.6)	46.9 (2.3)	32.6 (1.4)	38.6 (2.2)

<sup>1</sup>K exporté par les premiers 60 pour-cent de la production totale de matière sèche.  
<sup>2</sup>Les nombres entre parenthèses sont les écarts-types.

manifeste une tendance à exporter davantage de K que le ray-grass, et ceci est moins connu, les observations effectuées sur sols très fixateurs ayant souvent été abusivement extrapolées à n'importe quel type de sol.

La plus faible efficacité d'exploitation du K apporté sur le sol H par le trèfle (tableau 1) est à mettre en relation avec l'exploitation particulièrement efficace du K du sol non amendé. Etant donné que les sites les plus accessibles sont ceux qui manifestent la moindre sélectivité d'adsorption pour le K (Mengel et Kirkby, 1982), et que, d'autre part, le sol H est précisément le moins argileux et celui qui a la plus faible CEC, l'addition de K provoque un accroissement important de la concentration du K dans la solution du sol (forme  $K_s$ ), ce qui diminue forcément l'efficacité de l'absorption par la plante qui obéit à une loi de saturation de type Michaelis-Menten.

Comme il a été dit en introduction, les exportations correspondant aux premiers 60 % de la récolte totale ont été mesurées afin de définir, de façon purement conventionnelle, une fraction de K que l'on peut certainement qualifier d'aisément accessible. Cette fraction de K est, bien sûr, supérieure à 60 % de l'exportation totale, puisque la teneur en K des végétaux était plus élevée dans la première fraction de la récolte.

A la figure 2, on compare les exportations de K par les végétaux aux mesures analytiques du K dans les sols par extraction avec  $CaCl_2$  et  $NH_4Cl$ , avant la culture. Deux niveaux d'exportations sont présentés : un niveau correspondant à l'exportation maximale observée sur le sol considéré, que ce soit par le trèfle (symbole (T-100) ou par le ray-grass (symbole R-100), un niveau d'exportation

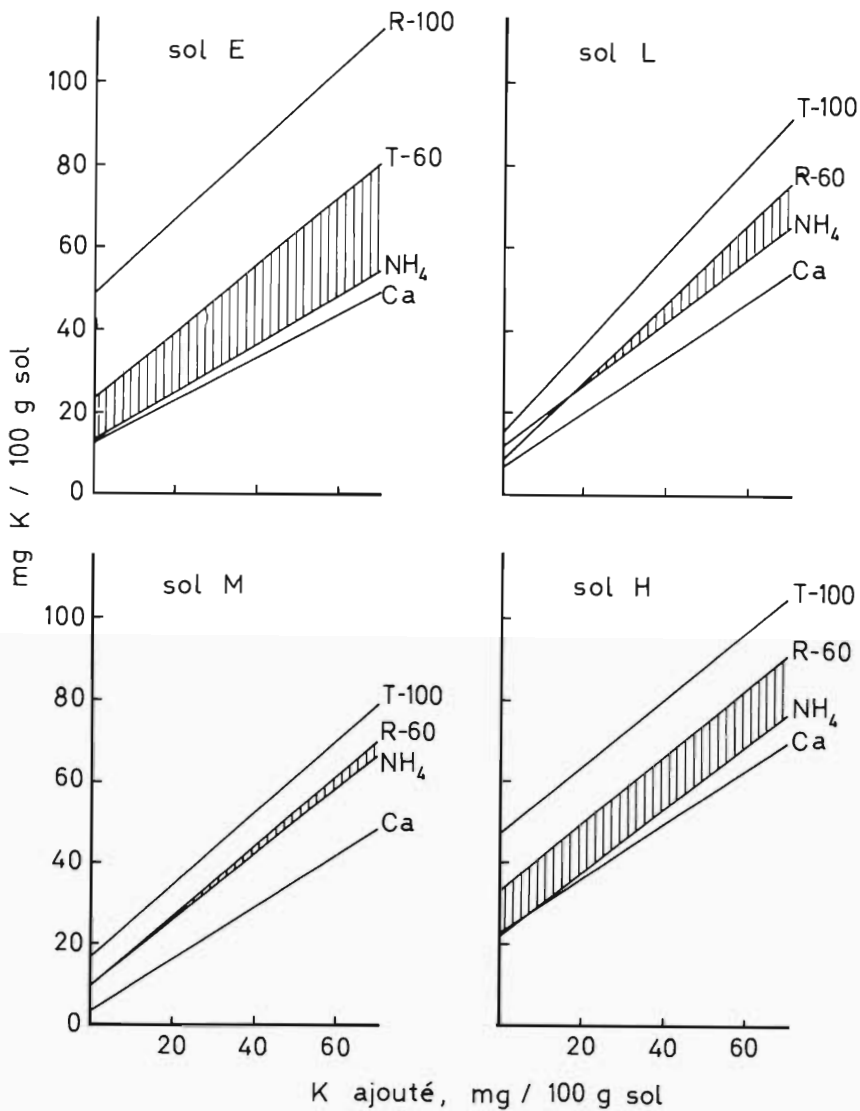


Fig. 2.

Comparaison entre les teneurs en K échangeable mesurées avant culture par  $\text{CaCl}_2$  (Ca) et  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ( $\text{NH}_4$ ), et les quantités de K exportées par les végétaux. R-100 et T-100 correspondent aux exportations maximales observées en fin de culture (R = ray-grass, T = tréfle); R-60 et T-60 sont les exportations minimales observées pour produire 60 % de la récolte totale.

minimale correspondant au K le plus aisément accessible (à 60 % du rendement total), que ce soit également par le trèfle (symbole T-60) ou par le ray-grass (symbole R-60). La zone hachurée correspond donc au K non détecté par l'analyse avec  $\text{NH}_4\text{Cl}$  mais qui est cependant très accessible à la plante. Ce supplément de K libéré est très faible dans les deux sols ardennais L et M. Il est intermédiaire pour le sol H et particulièrement important pour le sol E. On note donc une tendance parallèle à ce qui a été observé pour le pouvoir fixateur.

En effet, si on définit la capacité de libération de K "non échangeable" comme la différence entre le K prélevé par une plante donnée et le K mesuré par extraction avec  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , on obtient les données de la figure 3 caractéristiques des sols ayant reçu une addition de K intermédiaire, c'est-à-dire 25 mg K/100 g. Comme on l'a dit plus haut, la capacité de libération du K est fonction de l'espèce végétale, surtout pour le sol le plus fixateur, mais cette figure montre surtout clairement la relation directe qui existe entre capacité de libération et pouvoir fixateur. Dans le cas présenté, les sols libèrent (jusqu'à épuisement de la plante) environ deux fois plus de K qu'ils n'en fixent, ce qui implique une contribution importante d'une fraction de K fixée avant les apports en laboratoire.

Si on restreint la définition du K libéré à la différence entre le K exporté par les premiers 60 pour-cent de la récolte et le K extrait par  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , on obtient des capacités de libération du même ordre de grandeur que le pouvoir fixateur. Ceci démontre la réversibilité du processus de fixation dans les conditions expérimentales propres à cette étude, toute extrapolation dans d'autres conditions étant, bien sûr, abusive.

Avant de conclure, il est important de rappeler que la fixation de K a été provoquée par une série de cycles humectation-dessiccation. Ceci met bien en évidence l'impact des manipulations préliminaires des échantillons de sol avant l'analyse du K échangeable; il doit en être de même des conditions climatiques qui ont régné avant le prélèvement des échantillons (cycles H-D naturels). Dans l'étude présente, on peut se demander comment se comparent les quantités de K exportées par les plantes aux teneurs en K mesurées par  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sur le sol initial avant les cycles H-D (c'est-à-dire après un premier séchage à l'air des échantillons frais) augmentées des quantités de K apportées. La figure 4 répond à cette question pragmatique; on y compare les teneurs en K ainsi évaluées aux quantités de K exportées. Il apparaît que ces teneurs théoriques se comparent bien aux exportations par les végétaux; elles ne rapprochent davantage des exportations à 60 % de la récolte totale. Mais cette observation ne doit, bien sûr, pas être généralisée, puisque le traitement naturel ou artificiel du sol avant la mesure du K échangeable est susceptible

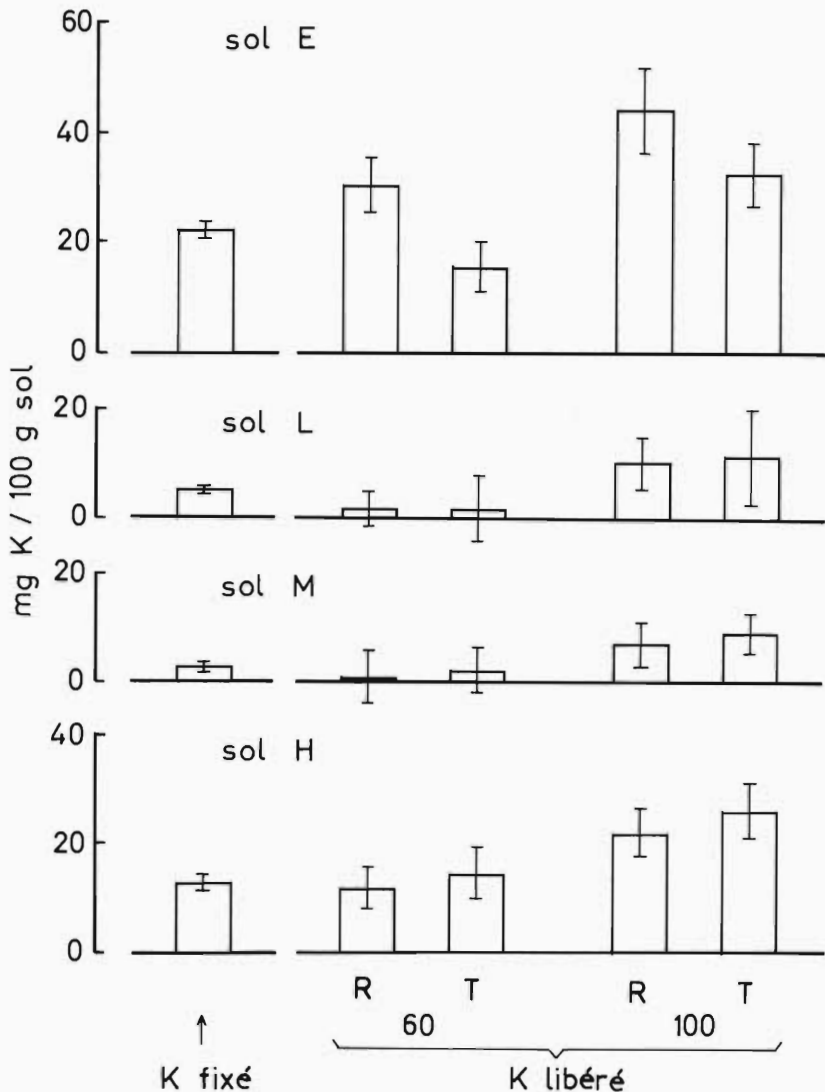


Fig. 3.

Comparaison entre K "fixé" suite à une addition de 25 mg K/100 g sol et K non échangeable "libéré" par le ray-grass (R) et le tréfle (T) cultivés sur ces sols. 60 et 100 désignent la "libération" de K observée pour la production des premiers 60 % de matière sèche et pour la production totale, respectivement. Les traits verticaux représentent les écarts-types de part et d'autre de la moyenne.

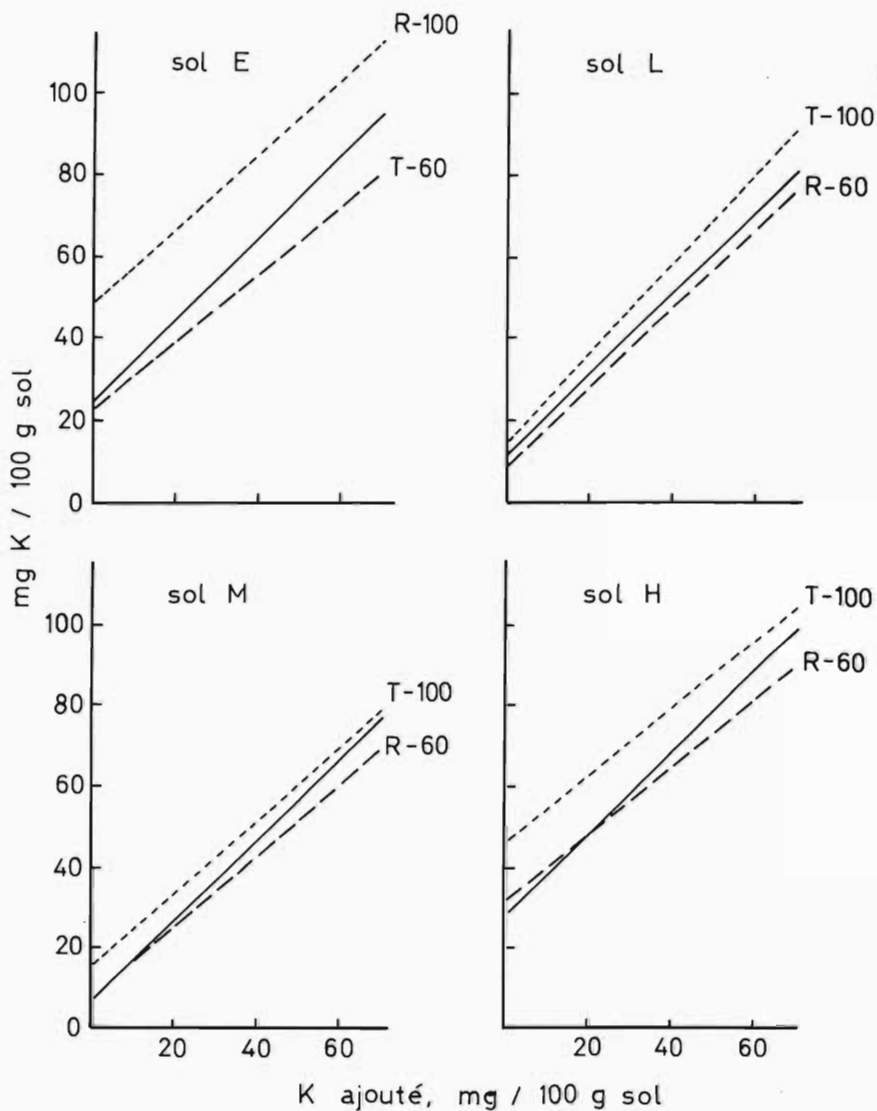


Fig. 4.

Comparaison entre les exportations de K présentées à la figure 2 et les teneurs en K calculées comme suit : K échangeable par  $\text{NH}_4$  dans le sol non amendé avant les cycles humectation-dessiccation + K ajouté.

de modifier fortement cette mesure dans certains sols tels que le sol E.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Monsieur P. Populaire (Commission des Sols de Wallonie) et Messieurs A. Collignon, C. Léonard et E. Roos (Laboratoire d'Ecologie des Prairies, Michamps) pour l'exécution technique de cette étude.

Binet, P. (1979)

Disponibilité du potassium du sol vis-à-vis du ray-grass d'Italie : action de la dilution du sol et des récoltes successives.

Bull. Soc. Bot. Fr., 126, Lettres bot. : 5-14.

Binet, P. & Thammavong, B. (1974)

Application de la méthode de De Ment-Stanford et Bradford à l'étude de l'absorption du potassium par quelques espèces prairiales.

C. R. Acad. Agric. France : 1001-1009.

Binet, P., El Guessabi, L. & Salette, J. (1984)

The potassium status of soils : significance of the "Italian ryegrass test".

Fertil. Res., 5 : 393-402.

De Ment, J.D., Stanford, G. & Bradford, B.N. (1959)

A method for measuring short-term nutrient absorption by plants : II. Potassium.

Soil Sci. Soc. Am. Proceed., 23 : 47-50.

Dufey, J.E. & Marot, J.M. (1987)

Single empirical relationship for potassium exchange equilibria in various soils.

Soil Sci. Soc. Am. J., 51 : 918-920.

Dufey, J.E. & Lambert, J. (1987)

Fixation du potassium dans quatre sols du sud de la Wallonie.

Pédologie, 37(3) : 241-258.

Feigenbaum, S., Edelstein, R.E. & Steinberg, I. (1981)

Release rate of K and structural cations from mica to ion exchangers in dilute solutions.

Soil Sci. Soc. Am. J., 45 : 501-506.

Goulding, K.W.T. (1984)

The availability of potassium in soils to crops as measured by its release to a calcium-saturated cation exchange resin.

J. Agric. Sci., Camb., 103 : 265-275.



- Greenland, D.J. & Hayes, M.H.B; (1981)  
The chemistry of soil processes.  
Ed. Wiley, Chichester, 714 p.
- Kuchenbuch, R. (1985)  
L'importance des processus d'échange d'ions dans le sol proche des racines pour que le potassium soit à disposition des plantes.  
Rev. Potasse, Sec. 4, 84e suite : 1-12.
- Mac Neal, A.J. (1961)  
Potassium-supplying power of some Canadian soils.  
Can. J. Soil Sci., 41 : 196-206.
- Marot, J.M., Villemin, P., Dufey, J.E. & Quemener, J. (1984)  
Dynamique du potassium et propriétés pédologiques des terres agricoles du Luxembourg belge.  
Rev. Agric., 37 : 1443-1467.
- Martin, H.W; & Sparks, D.L. (1983)  
Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils.  
Soil Sci. Soc. Am. J., 47 : 883-887.
- Martin, H.W. & Sparks, D.L. (1985)  
On the behavior of non-exchangeable potassium in soils.  
Commun. Soil Sci. Plant Anal., 16 : 133-162.
- Mengel, K. & Kirkby, E.R. (1982)  
Principles of plant nutrition.  
Publ. Internat. Potash Institute, Bern, 655 p.
- Mortland, M.M. (1961)  
The dynamic character of potassium release and fixation.  
Soil Sci., 91 : 11-13.
- Quemener, J. & Rolland, R. (1970)  
Application de la technique de De Ment-Stanford à l'extraction du potassium des sols.  
Ann. Agron., 21 : 819-844.
- Reed, M.G. & Scott, A.D. (1962)  
Kinetics of potassium release from biotite and muscovite in sodium tetraphenylboron solutions.  
Soil Sci. Soc. Am. Proceed., 26 : 437-440.
- Römheld, V. (1986)  
Modifications du pH dans la rhizosphère de diverses plantes cultivées en fonction des nutriments à leur disposition.  
Rev. Potasse, Sec. 6, 55e suite : 1-8.
- Schulte, E.E. & Corey, R.B. (1965)  
Extraction of potassium from soils with sodium tetraphenylboron.  
Soil Sci. Soc. Am. Proceed., 29 : 33-35.

Steffens, D. & Mengel, K. (1981)

Comparaison de l'absorption du potassium interfoliaire des minéraux argileux par le ray-grass anglais et le trèfle violet.

Dossier K<sub>2</sub>O, S.C.P.A. Mulhouse, 20 : 5-8.

Talibudeen, O., Beasley, J.D., Leone, P. & Rajendran, N. (1978)

Assesment of soil potassium reserves available to plant roots.

J. Soil Sci., 29 : 207-218.

---

### **Potassium release by clover and rye grass in four soils from the South of Wallonie, Belgium**

#### Summary

Clover and rye grass were grown on soils with different levels of exchangeable and "fixed" K (i.e. non exchangeable by NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). The release of non exchangeable K by plants is proportional to the amounts of K that were previously fixed by wetting-drying cycles. This means that soils with high fixation capacity also show high releasing capacity.

In the soil with the highest levels of fixed K, rye grass is more efficient than clover with respect to K release; an opposite trend is observed in the other soils.

---

### **Vrijmaking van kalium door klaver en raaigras in vier bodems uit Zuid Wallonië, België**

#### Samenvatting

Klaver en raaigras werden gezaaid op vier bodems met verschillend gehalte aan "vastgelegd", d.w.z. niet door NH<sub>4</sub><sup>+</sup> uitwisselbaar kalium. De vrijmaking van niet-uitwisselbaar K door planten is evenredig met de hoeveelheden K, die eerder werden gefixeerd door de alternatieve vochtige-droge cyclus. Dit beduidt dat bodems met een hoge fixeringscapaciteit ook grote vrijmakingscapaciteiten vertonen.

In de gronden met de hoogste gehalten aan gefixeerd K is raaigras efficiënter dan klaver voor wat de potassium-vrijmaking betreft. Een tegengestelde tendens wordt waargenomen in de andere bodems.

## CHARACTERISTICS OF PSEUDO-SILTS OF A SOIL CATENA IN A HUMID TROPICAL AREA (SOUTH-CAMEROON)

J. EMBRECHTS  
K. SYS

---

### Abstract

A catena was studied with soils belonging to various stages of ferrallitic weathering. A comparative granulometric study was done focused on the examination of the fine and coarse pseudo-silt fractions of different horizons. 2 separation methods, 4 pretreatments and 2 dispersing additives were used. The silt fractions separated with successive sedimentations were investigated under the microscope.

Using identical pretreatments and the same dispersing agent the results obtained with the pipette method are quantitatively comparable to the results obtained with successive sedimentations. Organic substances are important binding agents forming pseudo-silts in the A horizons. Oxyhydrates of Fe and Al are the principal cementing agents in B and C horizons.

At present there is not sufficient information available to decide whether pseudo-silt to clay ratios may be used to assess the stage of weathering of the soil or not.

### Key-words

Tropics, pseudo-silts, cement, microscopy, weathering.

---

J. Embrechts - Research fellow, Geological Institute, State University Gent, Krijgslaan, 281, 9000 Gent, Belgium.

K. Sys - Professor State University Ghent, Geological Institute, Department of Regional Pedology and Land Evaluation, Krijgslaan 281, B-9000 Ghent, Belgium.

## 1. INTRODUCTION

In the presence of kaolinite clay and of large quantities of Fe and/or Al-oxyhydrates poorly dispersing micro-aggregates (pseudo-sands and pseudo-silts) are formed. In clayey, strongly weathered soils of the humid tropics clay dispersion with the pipette method is not always complete (Soil Survey Staff, 1975). This results in (1) an underestimation of the clay content and (2) an overestimation of the silt content.

In this paper the grain size distribution obtained with the pipette method was compared with the results from successive sedimentations (Croegaert, 1958). Thin sections prepared from the silt fractions separated with successive sedimentations were then studied microscopically.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Environmental setting

The Fêbé-area is situated 5 to 10 km NE of the capital of Yaoundé (Cameroon). The area is bounded by the latitudes of 3°55'N and 3°58'N and by the longitudes of 11°29' and 11°32'E. The altitude varies between 1.060 m a.s.l. at the top of the Fêbé-hill and 740 m at the bottom of the valleys developed at the foot of the hill. The geological substratum is a migmatized gneiss with biotite and garnet (Champetier de Ribes and Aubague, 1956). The climate of the area was classified by Suchel (1972) as "continental subequatorial". The soil moisture regime is udic, the soil temperature regime is isohyperthermic (Soil Survey Staff, 1975). Semi-deciduous forests, degraded forests with fallow, gallery forests and tree savannahs are the main vegetation types. Important human influence on the soils of the area is probably of recent age.

### 2.2. Soils

The soils that were studied belong to a catena (Soil Science Society of America, 1979) that extends between the top and the footslope of the Fêbé-hill in South-Cameroon. Typic and Oxidic Humitropepts are present around the summit of this bornhardt, Oxidic Trophumults, Orthoxic and Plinthic Palehumults characterise the hill-slope, Tropeptic Haplorthoxes were observed on the footslope (fig. 1).

### 2.3. Pipette method

The grain size distribution was determined according to the procedure recommended by the Soil Conservation Service (1972), using

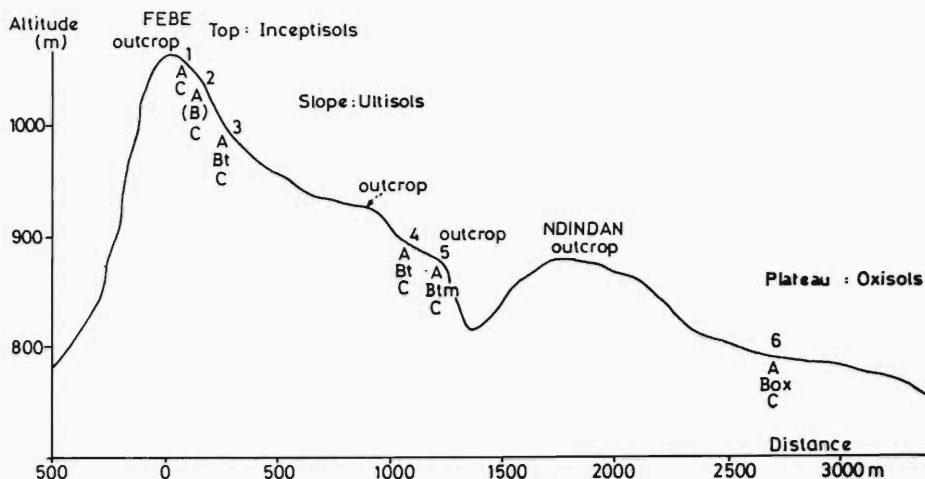


Fig. 1.  
Position of the studied soils in the landscape.

Na-metaphosphate as dispersing agent, without pretreatment and consecutively with  $H_2O_2$  (standard procedure) and with  $H_2O_2 + HCl$  pretreatments. Fine silt is the fraction from 2 to 20  $\mu m$ , coarse silt is bounded by the 20 and 50  $\mu m$  diameters.

#### 2.4. Successive sedimentations method

Successive sedimentations were applied without any pretreatment (few samples), with  $H_2O_2$ ,  $H_2O_2 + HCl$  and  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatments and with either Na-metaphosphate or  $Na_2CO_3$  as dispersing agents.

#### 2.5. Pretreatments

Three different pretreatments were used :

- (1)  $H_2O_2$  : the sample was boiled with  $H_2O_2$ , 30 % by volume until the end of the visible reaction;
- (2) HCl : the sample was boiled with HCl, 0.2N and subsequently washed with distilled water (0.6N HCl was used by D'Hoore and Croegaert, 1954; Croegaert, 1958; Van Wambeke, 1961 on similar soils);
- (3) Na-dithionite ( $Na_2S_2O_4$ ) : the sample was heated to 75°C with a Na-citrate buffer solution and Na-dithionite, subsequently the sample was washed with distilled water.

#### 2.6. Preparation of thin sections

Petrographic sized thin sections were prepared from some of the

fine and coarse silt fractions obtained from successive sedimentations and from the corresponding undisturbed soil samples.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Influence of the method and of the dispersing agent

The results obtained on 24 samples of A, B and C horizons of the catena using the pipette method are comparable to the results obtained with successive sedimentations when the pretreatments and the dispersing agents are the same (table 1).

**Table 1.**

Mean values of the fractions obtained with the pipette method and with successive sedimentations after  $H_2O_2 + HCl$  pretreatment.

Fraction	Clay (%)	Silt (%)			Sand (%)
		Fine	Coarse	Total	
Pipette method	37.9	8.0	5.4	14.0	41.4
Successive sedimentations	38.6	7.6	6.3	14.0	40.6

Using the successive sedimentation method on 12 samples of different horizons of the catena the results obtained with Na-metaphosphate are comparable to the results obtained with  $Na_2CO_3$  2% as dispersing agent (table 2).

**Table 2.**

Mean values of the fractions obtained with successive sedimentations using different dispersing agents.

Dispersing agent	Clay (%)	Silt (%)			Sand (%)
		Fine	Coarse	Total	
Na-metaphosphate	43.1	6.2	4.0	10.2	41.1
$Na_2CO_3$	41.7	5.6	5.4	11.0	41.3

One sample showed a much poorer dispersion with  $Na_2CO_3$  than with Na-metaphosphate. With  $Na_2CO_3$  as dispersing agent 2 to 3

times more sedimentations were required than with Na-metaphosphate.

### 3.2. Influence of the pretreatment

The pretreatment does not influence the weight of the sand fraction. This is illustrated by the results obtained on 24 samples (table 3).

**Table 3.**  
Influence of the pretreatment on the weight of the sand fraction.

Pretreatment	no	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + HCl	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Na-dithionite
Sand (%)	40.3	41.1	40.8	40.1

Iron nodules present in the sand fraction and probably also those present in the silt fraction do not dissolve, or dissolve only to a small extent with the HCl and Na-dithionite treatments used.

The amount of extracted constituents increases successively with the treatments H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + HCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Na-dithionite. This is illustrated for an Orthoxic Palehumult in table 4.

**Table 4.**  
Amounts of material extracted with various pretreatments (Orthoxic Palehumult).

Horizon	Depth (cm)	Pretreatment (weight %)		
		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + HCl	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Na-dithionite
A11	0-5	7.5	16.1	17.9
B1t	17-32	0.9	5.8	10.8
B22t	56-91	1.2	6.2	10.5
B31t	122-160	1.1	5.7	9.9

Micropeds of silt size are formed in the surface horizons with organic matter as an important binding agent. This is proved by the comparison of the clay and silt fractions obtained without pretreatment and with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pretreatment for the top horizons and for the

deeper horizons of the soils belonging to the sequence (table 5).

**Table 5.**

Clay and silt fractions without and after  $H_2O_2$  pretreatment (pipette method).

Horizons	Pretreatment	Clay (%)	Silt (%)		
			Fine	Coarse	Total
A11	Without pretreatment	20.7	19.1	20.0	39.1
	$H_2O_2$ pretreatment	29.4	12.0	12.1	24.1
B2	Without pretreatment	50.8	10.1	13.1	22.7
	$H_2O_2$ pretreatment	48.4	7.9	17.5	24.7

Fe- and probably also Al-oxyhydrates are important binding agents in all of the horizons. Some of the pseudo-silts resist to the treatment with  $H_2O_2 + HCl$ . The highest amount of micropeds was destroyed using a  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatment (tables 6 and 7). This is illustrated by the results obtained on 6 soils belonging to the catena (tables 6 and 7).

**Table 6.**

Mean values of the grain size fractions obtained after  $H_2O_2$  and  $H_2O_2 + HCl$  pretreatments (pipette method).

Pretreatment	Clay (%)	Silt (%)			Sand (%)
		Fine	Coarse	Total	
$H_2O_2$	34.4	7.5	14.4	21.6	41.4
$H_2O_2 + HCl$	37.9	8.2	5.6	14.0	41.4

When the amount of extracted material is not added to the clay fraction an increase of clay content is noticed after the  $H_2O_2 + HCl$  treatment (table 6). The same amounts of clay were found after the  $H_2O_2 + HCl$  and after the  $HCl + Na$ -dithionite pretreatments (table 7).

The soil constituents extracted by each of the pretreatments have the dimensions of the clay fraction. For this reason they should be considered as part of the clay fraction (Croegaert, 1958; Guedez



**Table 7.**

Mean values of the grain size fractions obtained after  $H_2O_2 + HCl$  and  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatments (successive sedimentations).

Pretreatment	Clay (%)	Silt (%)			Sand (%)
		Fine	Coarse	Total	
$H_2O_2 + HCl$	38.5	7.4	6.3	14.0	40.6
$H_2O_2 + Na$ -dithionite	38.2	4.7	4.9	9.6	40.1

and Langohr, 1978). If the extracted material is added to the clay fraction, increasing amounts of clay were found after  $H_2O_2$ ,  $H_2O_2 + HCl$  and  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatments. This is shown in table 8.

**Table 8.**

Mean clay fraction obtained by adding the amounts of extracted material to the determined clay contents.

Method	Pretreatment			
	no	$H_2O_2$	$H_2O_2 + HCl$	$H_2O_2 + Na$ -dithionite
Pipette (Na-metaphosphate)	31.9	36.7	44.8	
Successive sedimentations ( $Na_2CO_3$ )			45.7	50.5

### 3.3. Microscopic observations

#### 3.3.1. General

Mainly the coarse silt fraction (20-50  $\mu m$ ) was studied microscopically. So far as could be checked the microscopic properties of the fine silt fraction correspond to those of the coarse silt.

All of the observed coarse silt fractions contain mineral grains and pseudo-silts. Not all of the pseudo-silts were destroyed with the  $H_2O_2$  or with the  $H_2O_2 + HCl$  treatments. Almost no pseudo-silts resisted to the  $H_2O_2 + Na$ -dithionite treatment.

The microscopical aspect of pseudo-silts after a  $H_2O_2 + HCl$  pretreatment is not different from their aspect after a  $H_2O_2$  pretreat-

ment. Coarse pseudo-silts contain many mineral grains, mainly of quartz of fine silt size.

### 3.3.2. A-horizons

Pseudo-silts separated without pretreatment (fig. 2) are porous; they have a dark brown color caused by the presence of organic matter. Their porosity, dark brown color and rounded shape may point to a biological origin.

The boundaries of pseudo-silt particles separated without pretreatment are not always very sharp. The b-fabric (Bullock et al., 1985) is poorly developed. After  $H_2O_2$  or  $H_2O_2 + HCl$  pretreatment the size of the pseudo-silts is smaller, they are less porous and they have a lighter brown color (fig. 3).

After a  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatment no pseudo-silts were observed any more. As a result the silt fraction is composed of mineral grains and a few (Fe-)nodules.

### 3.3.3. B-horizons

The morphology of the coarse pseudo-silts of the B-horizons is not influenced by the  $H_2O_2$  or the  $H_2O_2 + HCl$  pretreatments. The diameter is somewhat smaller than the diameter of the coarse pseudo-silts of the A-horizons obtained after one of the precited treatments. This may point to a larger (bulk) density of the pseudo-silts of the B-horizons.

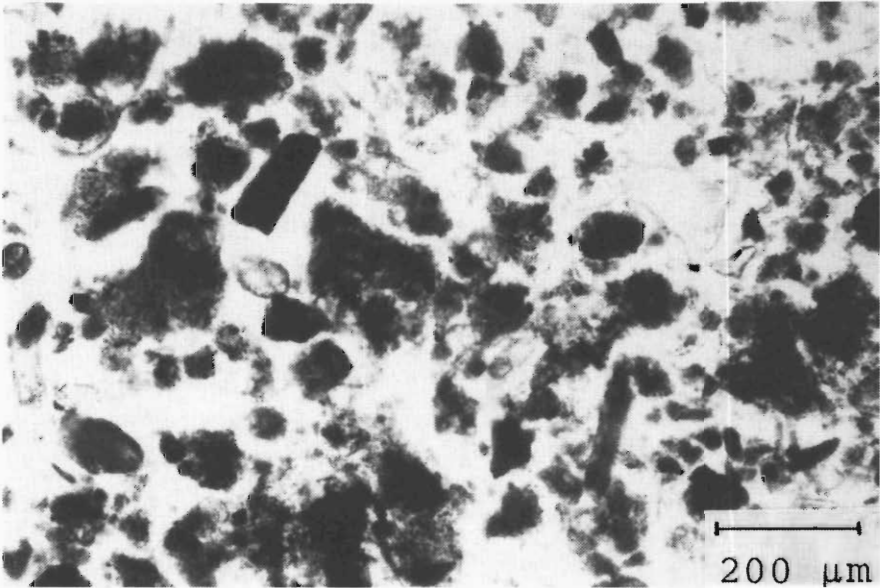
The pseudo-silts of the B-horizons have a red or a brown color, they are more or less rounded and exhibit sharp boundaries. Fe-oxyhydroxides seem to be important binding agents. Some of the pseudo-silts showing a more or less angular shape might be fragmented pseudo-sands (fig. 4).

The pseudo-silts of the B-horizons, particularly those of the Ultisols of the sequence show a weak internal b-fabric (Bullock et al., 1985), their walls are not birefringent. Micropeds observed in undisturbed samples of the catena frequently exhibit birefringent walls causing a circular striated b-fabric (fig. 5). The material of the birefringent wall was called easily dispersible clay (E.D. clay) by Embrechts and Stoops (1987).

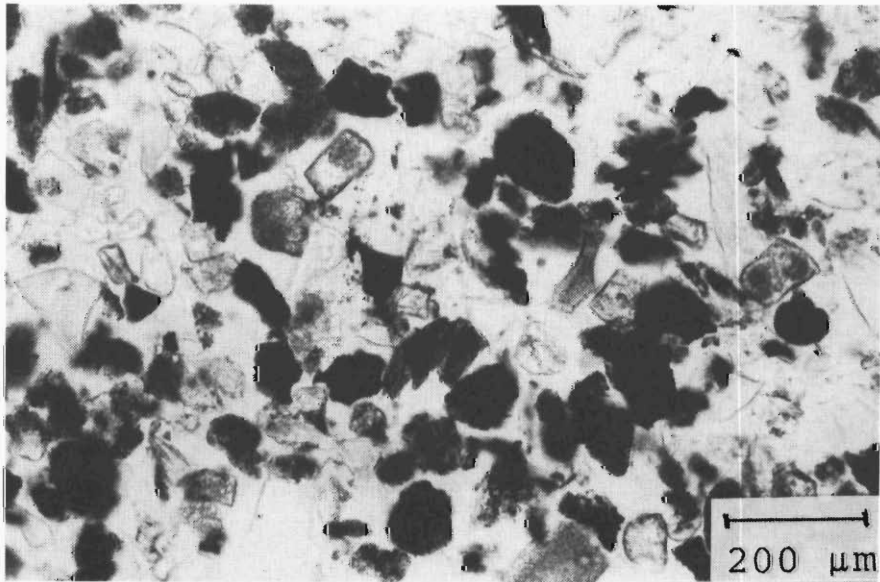
After  $H_2O_2 + Na$ -dithionite treatment the silt fraction was composed of mineral grains and a few (Fe-)nodules.

## 3.4. Quantitative estimation of pseudo-silts

The textural analysis carried out after a  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatment reflects the grain size distribution of the elementary particles. The amount of pseudo-silts was estimated by subtracting the silt fraction obtained after  $H_2O_2 + Na$ -dithionite pretreatment from the silt fraction obtained without pretreatment.



**Fig. 2.**  
Coarse pseudo-silts, mineral grains and phytoliths of the A1-horizon of an Orthoxic Palehumult obtained without pretreatment and without sieving (plain light).



**Fig. 3.**  
Coarse pseudo-silts, mineral grains and phytoliths of the A1-horizon of an Orthoxic Palehumult after pretreatment with  $H_2O_2$  (plain light).

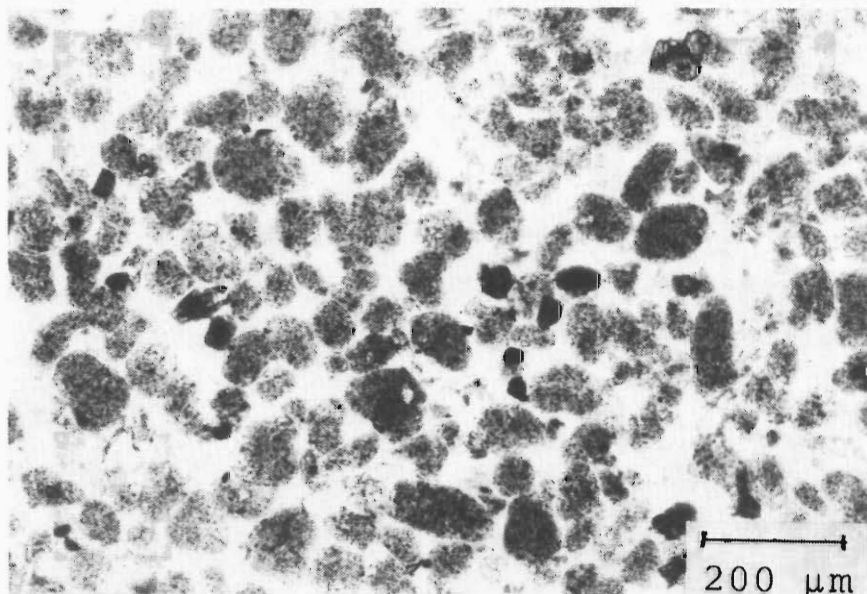


Fig. 4.  
Coarse pseudo-silts, mineral grains and phytoliths of the B2-horizon of a Tropeptic Haplorthox after pretreatment with  $H_2O_2$  (plain light).

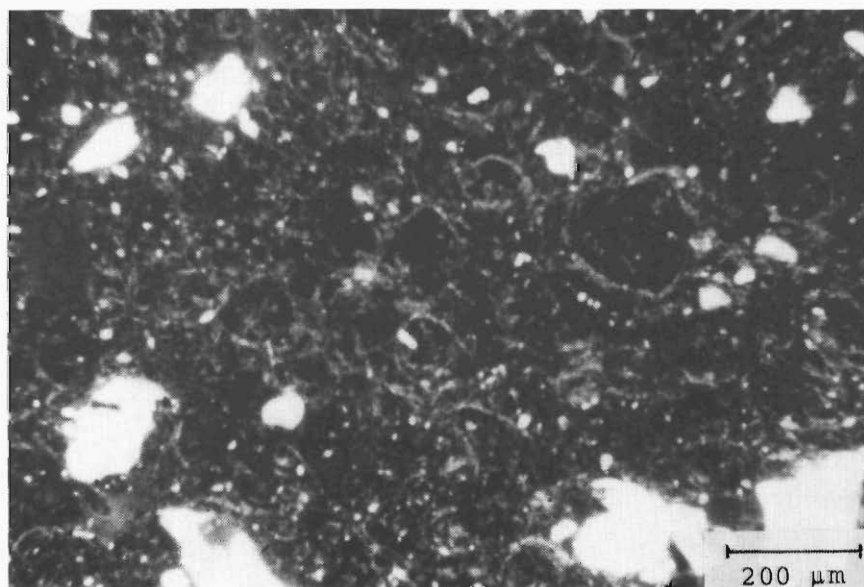


Fig. 5.  
Circular striated b-fabric in the B2-horizon of Tropeptic Haplorthox (circular polarised light, crossed nicols).

Table 9 shows that : (1) the amount of pseudo-silts is highest in the A-horizons, (2) the amount of pseudo-silts seems little affected by the weathering stage, (3) pseudo-silts are also present in C-horizons.

Statistical relationships exist between the amount of fine pseudo-silt and the amount of total pseudo-silt at one hand and the organic matter content at the other hand :

$$\text{fine pseudo-silt} = 6.88 \text{ O.C}^{0.42}$$

$$n = 15; r = 0.84; P < 0.001$$

$$\text{Total pseudo-silt} = 17.27 \text{ O.C}^{0.25}$$

$$n = 15; r = 0.78; P < 0.001$$

These relationships illustrate the important role that organic matter plays in the formation of pseudo-silts.

### 3.5. Weathering indices

Torrent and Nettleton (1979) used the ratio of fine to total silt to calculate an index for assessing the chemical weathering stage of soils. Van Wambeke (1961, 1962) and Sys et al. (1961) used the (fine) silt to clay ratios as an index related to the weathering stage of soils of humid tropical regions.

Table 9 shows that (1) all 3 the ratios decrease from the top of the profile to the B-horizon; (2) the fine pseudo-silt to clay and the total pseudo-silt to clay ratios of corresponding major horizons decrease from the recent to the ultimate stage of weathering.

The pseudo-silt/clay ratios are related to the organic carbon content ( $r = 0.75$  and  $0.69$  respectively,  $P < 0.01$ ). Therefore it is impossible to decide whether the pseudo-silt/clay ratios are related to weathering or that they only reflect the organic matter content.

## 4. CONCLUSIONS

Quantitatively the grain size distribution determined with the pipette method corresponds with the results obtained with successive sedimentations with identical pretreatments and dispersing agents. The presence of pseudo-particles in a fraction obtained with successive sedimentations points almost surely to the presence of similar pseudo-particles in the corresponding fraction determined with the pipette method. Pseudo-silts are destroyed with a  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Na-dithionite}$  pretreatment. Pseudo-silts are present in soils of all stages of ferrallitic weathering.

Organic matter is an important binding agent for pseudo-silts. There is insufficient information available to decide whether the pseudo-silt/clay ratios are related to the stage of chemical weathering or not.

**Table 9.**

Amounts of clay and pseudo-silts for profiles of increasing degrees of weathering and pseudo-silt to clay ratios (% of total sample).

Pedon	Horizon	Depth (cm)	Clay (%) <sup>*</sup>	Pseudo-silt (% of total sample)			Ratios (x 100)		
				Fine 2-20 $\mu$ m	Coarse 20-50 $\mu$ m	Total 2-50 $\mu$ m	Fine/Total pseudo-silt	Fine pseudo-silt/clay	Total pseudo-silt/clay
Tropeptic Haplorthox	A11	0-21	35.9	13.3	11.6	24.9	53	37	69
	A12	21-35	16.2	10.5	8.1	18.6	56	65	115
	AC	35-53	30.2	6.0	7.9	13.9	32	20	46
	C1	51-84	28.0	8.6	14.8	23.4	37	21	83
Oxic Humitropept	A11	0-13	39.3	10.0	14.6	24.7	40	25	63
	(B)	54-70	60.1	4.0	12.9	16.9	24	7	28
	(B)+C	70-125	46.4	6.3	6.2	12.5	50	14	27
Plinthic Palehumult	A11	0-6	48.6	13.3	16.4	29.4	45	27	61
	B1t	13-26	63.3	7.6	8.3	15.9	48	12	25
	B22t	56-92	76.1	4.4	11.9	16.3	27	6	21
	B31t	122-156	67.5	4.1	7.9	12.0	34	6	18
Tropeptic Haplorthox	A11	0-4	62.2	8.9	8.6	17.5	51	14	28
	B210X	39-78	70.5	6.5	7.1	13.6	48	9	19
	B220X	78-130	68.8	4.2	11.5	15.7	27	6	23
	B230X	130-175	60.9	4.0	8.4	12.4	32	7	20

\* Clay % was calculated by adding the weight of the extract obtained with the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Na-dithionite pretreatment to the clay % obtained by successive sedimentations after H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Na-dithionite pretreatment.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The first author is indebted to the Direction of the University Centre of Dschang, Yaoundé, Cameroon and to the General Administration for Development Co-operation (ABOS), Brussels, Belgium for the research facilities they provided.

## REFERENCES

- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G. & Tursina, I. (1985)  
Handbook for soil thin section description.  
Waine Research Publ., Wolverhampton.
- Champetier de Ribes, G. & Aubague, M. (1956)  
Carte géologique de reconnaissance à l'échelle de 1/500.000, feuille de Yaoundé-Est avec Notice Explicative.  
Publ. BRGM., Paris.
- Croegaert, J. (1958)  
Recueil des modes opératoires en usage au laboratoire central d'analyses de l'INEAC (in French).  
INEAC, Brussels, 116 p.
- D'Hoore, J. & Croegaert, J. (1954)  
Signification de la fraction limoneuse dans quelques sols congolais (in French).  
Commission de Coopération Technique en Afrique (CCTA).  
C.R. Deuxième Conférence Interafricaine des Sols, Léopoldville, 2, 1105.
- Embrechts, J. & Stoops, G. (1987)  
Microscopic identification and quantitative determination of microstructure and of potentially mobile clay in a soil catena in a humid tropical environment.  
Proceedings VIIth Intern. Working Meeting Soil Micromorphology, Paris, p. 157-162.
- Guedez, J.E. & Langohr, R. (1978)  
Some characteristics of pseudo-silt in a soil-toposequence of the Llanos Orientales (Venezuela).  
Pedologie, 28, 18-31.
- Soil Conservation Service (1972)  
Soil survey, laboratory methods and procedures for collecting soil samples.  
Soil Survey Investigations Report n° 1, USDA. Washington D.C., 63 p.
- Soil Science Society of America (1979)  
Glossary of soil science terms.  
Madison, 37 p.
- Soil Survey Staff (1975)  
Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.  
Agricultural handbook n° 436, Soil Conservation Service, USDA.  
Washington D.C., 458 p.

Suchel, J.B. (1972)

La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun.

Trav. et Doc. de Géographie Tropicale, Talence.

Sys, C., Van Wambeke, A., Frankart, R., Gilson, P., Jongen, P., Pérot, A., Berce, J.M. et Jamagne, M. (1961)

La cartographie des sols au Congo. Ses principes et ses méthodes. INEAC, Sér. techn. 66, Bruxelles, 146 p.

Torrent, J. & Nettleton, W.D. (1979)

A simple textural index for assessing chemical weathering in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 43 : 373-377.

Van Wambeke, A. (1961)

Bijdrage tot de kennis en de classificatie van de bodems van Kivu. Verkorte weergave van het doctoraal proefschrift (in Dutch). Mededelingen van de Landbouwhogeschool en van de opzoekingsstations van de Staat te Gent 26, 697-812.

Van Wambeke, A. (1962)

Criteria for classifying tropical soils by age. J. Soil Sci., 13 : 124-132.

---

## Eigenschappen van pseudo-leem in een bodem-catena uit de vochtige tropen (Zuid Kameroen)

### Samenvatting

Een catena werd bestudeerd met bodems behorend tot verscheidene stadia van ferrallietische verwerking. Er werd een vergelijkende granulometrische studie ondernomen toegespitst op de grove en de fijne pseudo-leem (pseudo-silt) fracties van verscheidene horizonten. Er werd gebruik gemaakt van 2 afscheidingsmethodes, 4 voorbehandelingen en 2 dispergerende additieven. De leem (silt)-fracties afgescheiden door successieve sedimentaties werden onder de microscoop onderzocht.

Bij gelijke voorbehandeling en gelijk disperseermiddel zijn de textuuranalyses uitgevoerd met de pipetmethode en met successieve sedimentaties kwantitatief vergelijkbaar. Organische bestanddelen zijn een belangrijk bindmiddel van de pseudo-lemen (pseudo-silts) van de A-horizonten. Oxyhydraten van Fe en van Al zijn de belangrijkste bindmiddelen verantwoordelijk voor de vorming van pseudo-lemen in de B en C horizonten.

Op het huidige ogenblik is er niet genoeg informatie beschikbaar



om uit te maken of pseudo-leem/klei verhoudingen kunnen worden gebruikt als indices voor het stadium van vertering van de bodem.

---

### Caractéristiques de pseudo-limons dans une séquence de sols dans les tropiques humides (Sud-Caméroun)

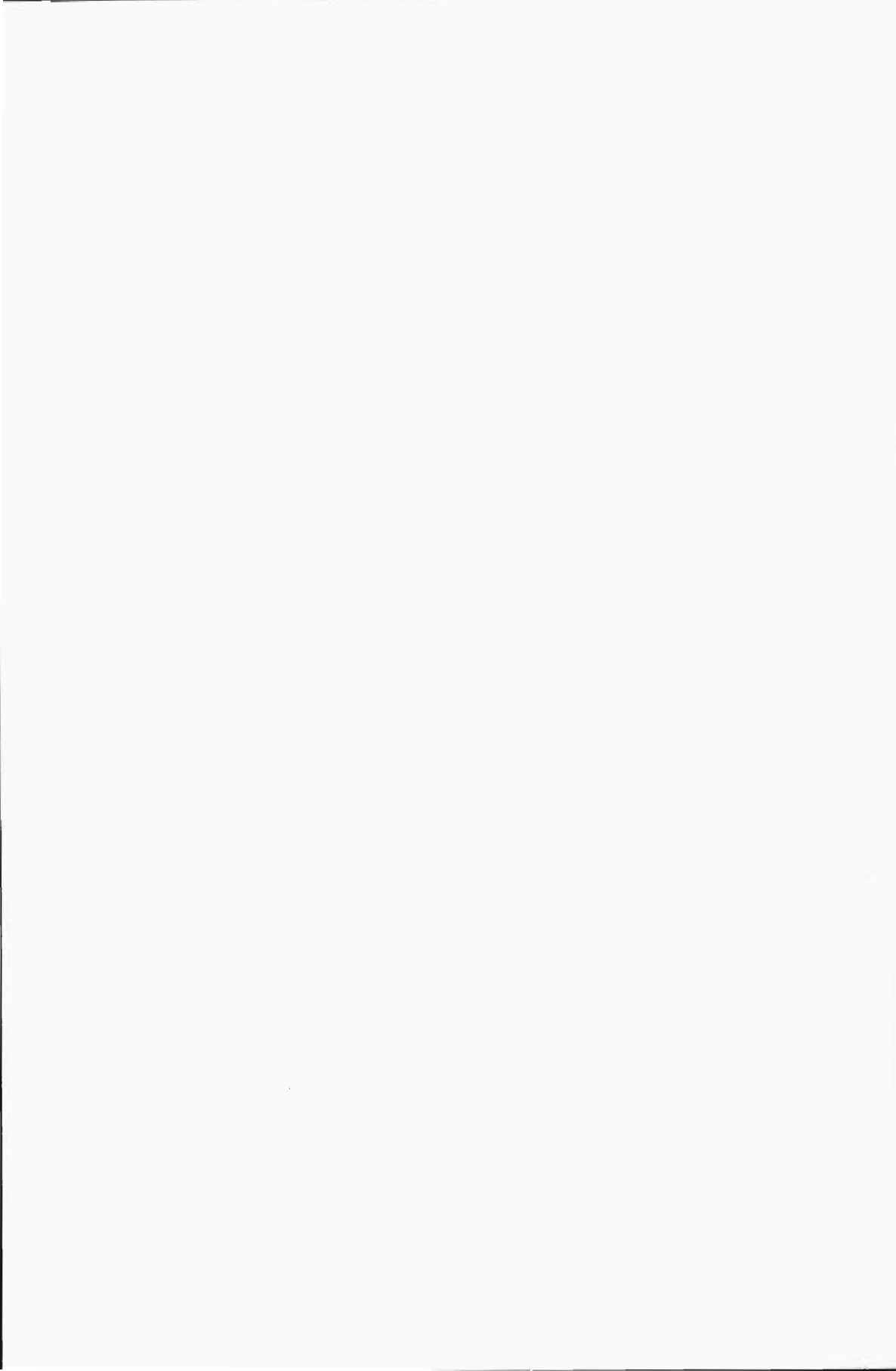
#### Résumé

Une catena a été étudiée avec des sols appartenant à des stades différents de l'altération ferrallitique. Une étude granulométrique comparative concentrée sur l'examen des fractions limoneuses (silteuses) fines et grossières a été faite. 2 méthodes de séparation, 4 prétraitements et 2 dispersants ont été utilisés. Les fractions limoneuses (silteuses) séparées avec la méthode des sédimentations successives ont été observées par microscope.

Utilisant les mêmes prétraitements et le même dispersant, les résultats obtenus avec la méthode de la pipette de Robinson sont quantitativement comparables avec les résultats obtenus avec des sédimentations successives. Des substances organiques sont des liants importants formant des pseudo-limons (pseudo-silts) dans les horizons A. Des oxyhydrates de Fe et d'Al sont les principaux ciments responsables pour la formation de pseudo-limons dans les horizons B et C.

A présent il n'y a pas assez d'information disponible pour décider si des rapports pseudo-limon/argile peuvent être utilisés comme indices du stade d'altération du sol.

---



## TYPIC VERTISOLS OF INDIA AND IRAQ - THEIR CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION

J.L. SEHGAL  
J.C. BHATTACHARJEE

### Abstract

Nine typical Vertisols from India and Iraq were investigated for their differential characteristics, pedogenic evolution, problems and potentials, and criteria suggested for their logical classification at great group level.

The significant genetic process in their evolution is pedoturbation which results in homogeneity and weak horizonation on one hand and a well expressed structural profile changing from prismatic to wedge-shaped structural aggregates (with depth) on the other. The soils are considered to have structural - B horizons, designated as Vertic-B to highlight the vertic characters. In view of the wide differences in available moisture during the crop growing period under rainfed farming, the criteria for the Ustic moisture regime have been proposed to be subdivided into 'aridic', 'typic' and 'udic' for defining subgroups. The Chromic and Pellic criteria defining imperfectly and well drained soils at great group level, have been less emphasized and instead, the use of diagnostic horizons has been proposed to differentiate great groups.

### Key-words

Pedogenesis, taxonomy, Vertisols, Iraq, India.

---

J.L. Sehgal - Director, National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning (ICAR), Amravati Road, Nagpur, 44010 India.

J.C. Bhattacharjee - Consultant, National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning (ICAR), Nagpur, 44010 India.

## 1. INTRODUCTION

Unlike other soils, Vertisols are deep, dark coloured, clayey soils of dominantly smectitic mineralogy and with a characteristic structure profile. The slow and steady process of haploidization induced by argillipedoturbation (Hole, 1961) tends to inhibit the process of horizonation (Simonson, 1954; Buol et al., 1973) and favours the development of Vertisols. The soils are remarkably homogenous in the morphologic sense. They are characterised by unique wedge-shaped structural profiles, deep and wide cracks and at places have gilgai micro-relief with frequent micro-knolls and micro-depressions. But the differences within taxa may be caused by climate, slope, landform, amount and composition of smectite minerals and nature of saturating cations.

Vertisols and associated vertic soils occur under varied climatic conditions, mainly in tropical and subtropical areas. There are about

**Table 1.**

Areal extent of different taxa of Vertisols and associated soils in India and Iraq (Source : Sehgal, 1980; Sehgal et al. 1980 a, b and Murthy et al., 1982).

Order (and Subgroup)	Black soils area		Soil group	Percentage representation within Order
	%	Million ha		
INDIA (Peninsular India)				
Vertisols	38	27.7	Chromusterts Pellusterts	61 39 } (100)
Inceptisols (Vertic)	37	27.0		
Entisols (Vertic)	21	15.3		
Others	4	3.0		
	<u>(100)</u>	<u>(72.9 m.ha)</u>		
IRAQ (Shahrazur and Middle Tigris projects)				
Vertisols	31.7	0.3	Chromoxererts Torrerts	96 4 } (100)

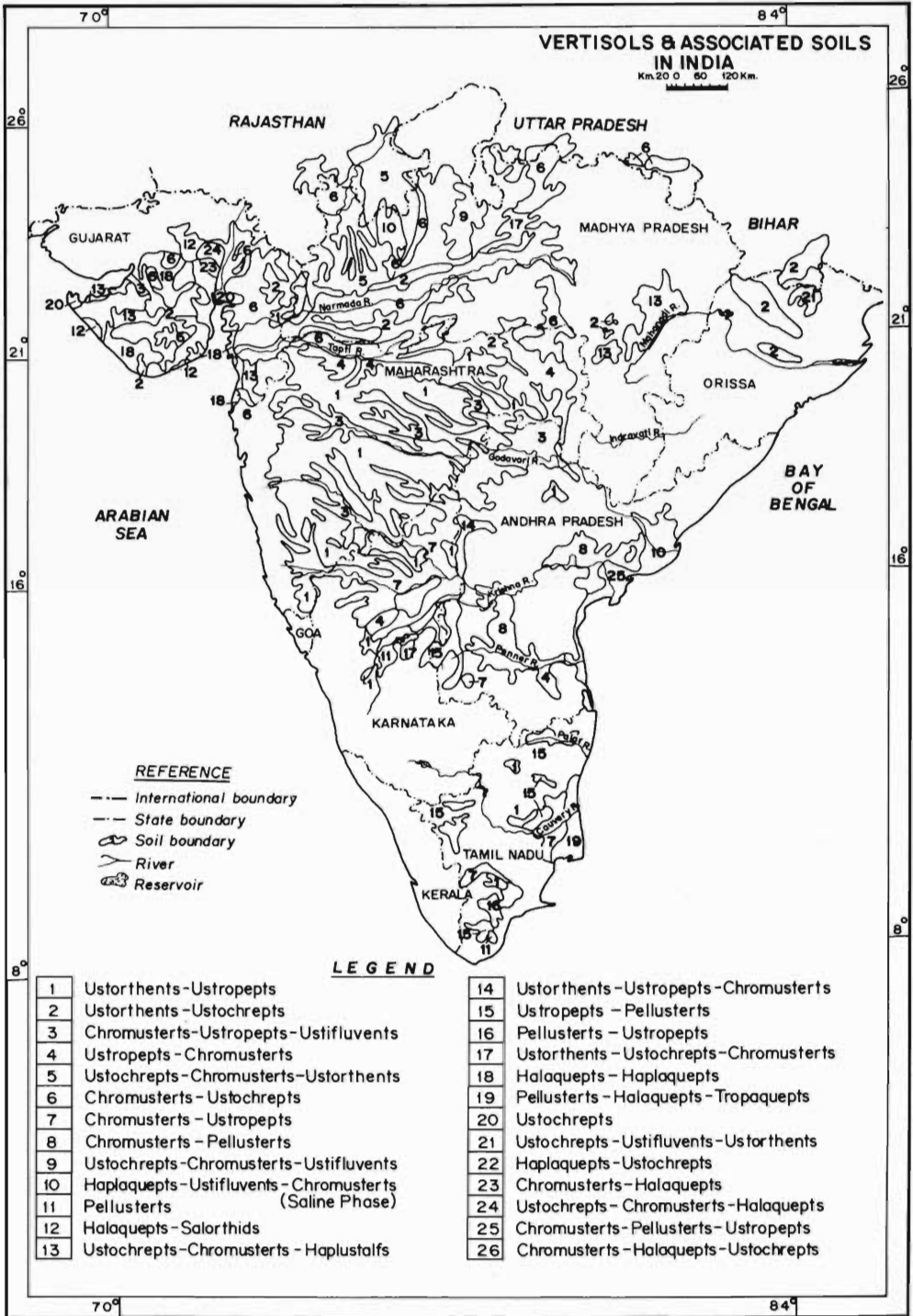


Fig. 1.  
Location of Vertisols and associated soils in India.

310 M ha of these soils in Asia (mostly in India), in America (mostly in USA and Argentina), in Australia and in the African continent. They are extensively distributed in Asia and Africa (Dudal, 1963).

In India, Vertisols are mostly observed in the Peninsular region (fig. 1) and occupy approximately 72.9 M ha constituting 22.2 % of the total geographical area (table 1) (Murthy et al., 1982). In Iraq, they are confined to level or nearly level landscapes and occupy an estimated area of 30 % of the intermontane valley plain in the NE region and 1 % of the basin area in the Mesopotamian Plain of Central Iraq (table 1). The associated mollic subgroups and/or Mollics are observed on higher topographic positions (Sehgal 1980; Sehgal et al., 1980 a, b).

For the effective management and viable use of such widely occurring soils, a precise understanding of their characteristics, problems, potentials and agronomic relationship is essential. The present paper attempts to compare the characteristics of Vertisols from India and Iraq, highlighting the important taxonomic characteristics and problems with a view to accomplish logical classification of these soils for developing appropriate land use plans.

## 2. CLIMATIC ENVIRONMENTS

In India, the climatic environments supporting Vertisols vary from the semi-arid to the subhumid tropics. Such climates are characterized by hot and dry pre-monsoon summer months (March to May), followed by well expressed summer monsoon months (June to September). The subsequent short period of October and November receives uncertain and infrequent showers, followed by a fairly dry mild winter (December to February). The mean annual (air) temperature (MAT) ranges from 24 to 27°C. The mean summer (April, May and June) and mean winter (Dec., Jan. and Feb.) temperatures (MST and MWT) vary from 30 to 33°C and from 15 to 22°C, respectively. The mean annual rainfall ranges from 500 to 1500 mm., of which 80 to 90 per cent is received during monsoon months. It represents 42 to 77 per cent of the mean annual potential evapotranspiration (PE). The Soil Moisture Control Section (SMCS) remains dry either completely or in parts for 4 to 8 months in a year, suggesting an ustic moisture regime (fig. 2).

Whereas the intermontane valley in NE Iraq, supporting Xererts, experiences a subtropical semi-arid mediterranean climate, the Mesopotamian Plain, supporting Torrerts experiences a hot subtropical desert. The mean annual air temperature and rainfall in NE Iraq is 18.5°C and 765 mm. respectively; it is 24.7°C and 136 mm. in major

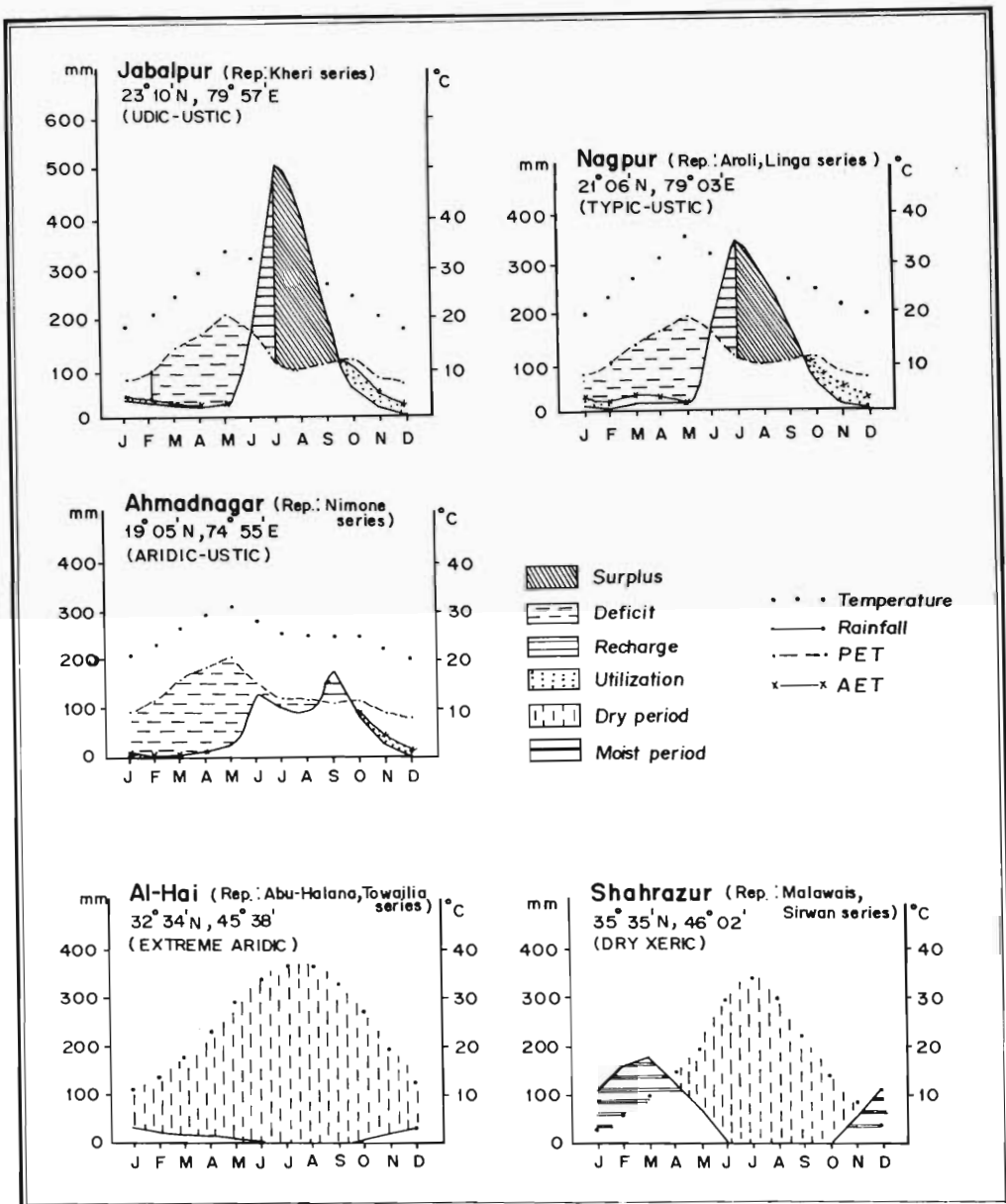


Fig. 2. Climatic data of areas where soils were studied.

parts of the Mesopotamian plain. The rainfall is received during winter (December to March) while the summer and autumn (June to November) are dry in most years, indicating a typical mediterranean climate. The SMCS remains dry for about 4 to 5 months in the NE

sectors and almost throughout the year in the Central Mesopotamian plain, suggesting Xeric and Torric soil moisture regimes, respectively (fig. 2) (Sehgal et al., 1980 a, b).

### 3. CHARACTERIZATION

#### 3.1. Type Usterts of Central Peninsular India

The Usterts occur extensively in Central Peninsular India and are largely represented by Kheri, Linga, Aroli, Sarol and Nimone Series. Their salient morphometric, physical and chemical characteristics are given in table 2 and 3. These soils are deep (100 to 150+ cm) and clayey. The dominant hue is 10 YR with values of 4 (dry) and 3 (moist) and chromas of 2 and/or 3 (table 2). They are classified as Chromusterts (NBSS, 1982 a).

Of these, the soils of Kheri, Linga and Aroli series are observed on level to very gently sloping piedmont plains and food plains of the Wardha and Narmada river systems in the subhumid tropics with an assured rainfall ranging from 1000 to 1500 mm per annum and a hyperthermic regime. They have a moderate to considerable runoff in the monsoon season, resulting in moderate erosion hazards. The runoff and soil loss studies on some soils, comparable to Aroli series, with banded fields (used as a normal soil conservation practice) under the cover of cotton and sorghum crops, show an annual soil loss of 12-15 tons/ha/yr from runoff amounting to 15-20 per cent of the total rainfall. During dry periods, the soils develop cracks, (2 to 5 cm wide and 30 to 40 cm deep) and form hard, massive, prism-like blocks (polyhedrons). These blocks break into hard and firm, subangular to angular blocky peds and impose great limitations to normal tillage operations. The surface soils are covered by a 5 to 10 mm thick crust which is brittle and breaks into fine particles by the beating action of rain, which partly seals the surface pores and partly moves into the cracks. The Kheri and Linga soils are more clayey with more than 60 % clay content (table 3) and represent the very fine textural (family) class (table 4). The Aroli soils (table 3), like the Sarol and Nimone soils are less clayey with clay contents of 50-58 % and qualify for the fine textural (family) class (table 4) (NBSS, 1982 a).

The Sarol soils occur in a traditional belt of dry subhumid to semi-arid tropics on a nearly level to very gently sloping piedmont plain and receive an assured rainfall ranging from 800 to 1000 mm.

The Nimone soils are extensive soils of the dry, semi-arid tropics with an isohyperthermic temperature regime. They occur on a nearly level to very gently sloping piedmont plain and receive an unassured rainfall ranging from 500 to 700 mm, covering 42 % of PE.



Table 2.

Morphological characteristics of type Vertisols. (Sources : \* NBSS (1982 a) for India, and \*\* Sehgal et al. (1980 a and b) for Iraq). Abbreviations as used in Revised Soil Survey Manual, 1978, SCS, USDA and Soil Survey Manual All India Soil and Land Use Survey, 1970.

Hor-Depth izon (cm)	Colour	Tex-Struc- ture	Slickensides/ wedge shaped structural aggregates	Other special features	Hor-Depth izon (cm)	Colour	Tex-Struc- ture	Slickensides/ wedge shaped structural aggregates	Other special features
<u>INDIA</u> *					<u>IRAQ</u> **				
<u>Kheri clay</u> (Typic Chromustert); Jabalpur, M.P.; Moderately well to imperfectly drained					<u>Malawais silty clay</u> (Palexerollic Chromoxerert); 8 km from Said-Sadiq to Arbal Road; moderately-well drained				
Sur-face	0-37 10YR3/2 c	2m pr -		Cracks 2-3cm wide; surface crusting;	Sur-face	0-38 7.5YR 3/4 sic	2msbk -		Angular rock fragments; self-mulching;
Sub-soil	37-129 10YR 4/2 c	3c abk	Common, strong	Common basalt fragments;	Sub-soil	38-61 5 YR 3/3 c	2m pr	Common and coarse	Patchy dark clay coatings;
Sub-stratum	129-150 10YR 4/2 c	2c abk	Common Moderately developed	Common basalt fragments;	Sub-stratum	61-166 5 YR 3/3- 7.5YR 3/4	c to 2m pr	Common and coarse	Fine lime mycellium; clay coatings on ped faces;
<u>Linga clay</u> (Udic Chromustert); Nagpur, M.S.; Imperfectly/ poorly drained					<u>Sirwan silty clay</u> (Aquentic Chromoxerert); 1 km from Sirwan Village; Imperfectly drained				
Sur-face	0-16 10YR 3/2 c	3c abk -		Gilgai microrelief; cracks 3-5 cm wide; surface crusting;	Sur-face	0-22 10YR 3/1 sic	m - -	crabk	Self mulching at places;

Table 2. (continued).

Hor-izon	Depth (cm)	Colour	Tex-ture	Struc-ture	Slickensides/wedge shaped structural aggregates	Other special features	Hor-izon	Depth (cm)	Colour	Tex-ture	Struc-ture	Slickensides/wedge shaped structural aggregates	Other special features
<u>INDIA</u> *							<u>IRAQ</u> **						
Sub-soil	16-117	10 YR 3/2	c	3c abk	Common, well developed	Few, basalt fragments;	Sub-soil	22-70	10 YR 3/2	sic	2m sbk	Moderately developed	Lime nodules & mycellium, few Fe-Mn reduction mottles;
Sub-stratum	117-140	2.5Y 4/2 2.5Y 4/2	c	3c abk	Common, and coarse	Few basalt fragments and lime nodules;	Sub-stratum	70-120+	10 YR 3/3	sic	2m pr m	Thick clay coating	Diffuse organic black Fe-Mn mottles, common lime mycellium;
<u>Aroli clay</u> (Typic Chromustert), Nagpur, H.S.; Moderately well drained							<u>Abu-Halma silty clay</u> (Salorthidic Torrert); Nomahia area; Imperfectly drained						
Surface	0-42	10 YR 3/2	c	3m-cabk	Weak pressure faces	Gilgai micro-relief; cracks 3-4 cm wide;	Surface	0-17	10 YR 6/3- 10 YR 4/3	sic	lf-mabk pl	-	Gilgai micro-relief, well developed cracks;
Sub-soil	42-67	10 YR 3/2	c	3c abk	Common coarse	Faint dark brown	Sub-soil	17-57	10 YR 5/3- 10 YR 4/3	sic	lf - m abk, pl	Common slickensides	Few salt effervescence on ped faces; few gypsum vains;
Sub-stratum	67-190	10 YR 3/3 10 YR 7/3	c	3c abk	Common strong to moderate	Common lime pockets	Sub-stratum	57-123	10 YR 4/3 4/4	sic	lf - m c- mabk	Common moderate to weak slickensides	A few gypsum crystals;

Table 2. (continued).

Hor-izon	Depth (cm)	Colour	Texture	Structure	Slickensides/wedge shaped structural aggregates	Other special features	Hor-izon	Depth (cm)	Colour	Texture	Structure	Slickensides/wedge shaped structural aggregates	Other special features
<u>INDIA *</u>							<u>IRAQ **</u>						
<u>Sarol clay</u> (Typic Chromustert); Indore, M.P.; Moderately well drained							<u>Towaijia silty clay loam</u> (Fluventic Torrtent); Suwaira area; Moderately well/Imperfectly drained						
Surface	0-29	2.5 Y 3/2	c	2m sbk-		Prominent gilgai micro-relief; Cracks 3-4 cm wide; loose granular mulch;	Surface	0-25	10 YR 5/3 sic	lf - m, sbk,pl	Few pressure faces	Wide cracks, hard crusty surface, weak gilgai micro-relief;	
Sub-soil	29-147	2.5 Y 3/2	c	3m-cabk	Common, well developed	Few fine lime nodules;	Sub-soil	25-92	10 YR 5/3 sic-5/2	lf-cpr mabk	Few slickensides	Partly decomposed roots;	
Sub-stratum	147-160+	2.5 Y 3/2	c	3m abk	Common, Moderately developed	-do-	Sub-stratum	92-165	7.5 YR 4/4-10 YR 3/3	sic-1 pr 2m abk	Few weak pressure faces	Bands of sandy material; few mottles; few gypsum mycelium and crystals;	
<u>Nimona clay</u> (Typic Chromustert); Ahmednagar, M.S.; Moderately to imperfectly drained													
Surface	0-47	10 YR 3/2	c	2m sbk - abk		Cracks 3-4 cm wide, loose granular mulch;							
Sub-soil	47-107	10 YR 2/2-10 YR 4/4	c	3c abk	Common, strong	Many lime coated basalt fragments; few yellowish brown mottles;							
Sub-stratum	107-155	10 YR 4/4	gc	2m sbk	Common moderately developed	Many lime coated basalt fragments;							

**Table 3.**

Physical and chemical properties of type Vertisols in India and Iraq (Sources : NBSS 1982 a for India, and Sehgal et al., 1980-b; Sehgal et al., 1976 for Iraq). Abbreviations as used in Revised Soil Survey Manual, 1978, SCS, USDA and Soil Survey Manual, All India Soil and Land Use Survey, 1970.

Horizon	Depth (cm)	Particle size (%)		Bulk density (cm/cm) (dry) (g cm <sup>-3</sup> )	COLE (mm/m)	AWC (mm/m)	pH (1:2.5 H <sub>2</sub> O)	EC (1:2) mmhos/ cm	O.C. (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	CEC (me/ 100 g)	ESP
		Clay ( 2 μ)	Silt (2-50 μ)									
<u>INDIA</u>												
<u>Kheri clay</u> (Typic Chromustert); Jabalpur district, Madhya Pradesh; Moderately well to imperfectly drained												
Surface	0-37	62.6	22.6	1.85	0.11	220	7.2	--	0.41	Tr	53.9	--
Subsoil	37-129	63.9	19.8	1.95	0.14	--	7.5	--	0.26	2.6	49.5	--
Substratum	129-150	65.7	20.6	2.07	0.11	--	8.1	--	0.26	4.7	53.7	--
<u>Linga clay</u> (Udic Chromustert); Nagpur district, Maharashtra; Imperfectly/Poorly drained												
Surface	0-16	74.6	20.6	--	0.18	227	8.3	--	0.51	1.9	59.3	8
Subsoil	16-117	74.3	17.1	--	0.18	--	8.2	--	0.46	5.3	63.2	7
Substratum	117-140	70.9	19.0	--	0.16	--	8.1	--	0.27	8.5	65.1	6
<u>Aroli clay</u> (Typic Chromustert); Nagpur district, Maharashtra; Moderately well drained												
Surface	0-42	61.2	29.7	1.75	0.09	176	8.4	--	0.38	4.7	57.9	--
Subsoil	42-67	58.9	32.8	1.90	0.09	--	8.4	--	0.31	9.1	54.5	--
Substratum	67-190	56.3	31.9	2.00	0.07	--	8.5	--	0.12	15.3	56.1	--
<u>Sarol clay</u> (Typic Chromustert); Indore district, Madhya Pradesh; Moderately well drained												
Surface	0-29	57.0	31.0	1.89	0.16	230	8.0	--	0.37	2.3	52.0	8
Subsoil	29-147	56.1	35.0	1.96	0.16	--	8.1	--	0.30	2.7	54.0	8
Substratum	147-160+	52.5	38.1	2.00	0.16	--	8.2	--	0.27	14.9	46.0	10

Table 3. (continued).

Horizon	Depth (cm)	Particle size (%)		Bulk density (cm/cm) (dry) (g cm <sup>-3</sup> )	COLE	AWC (mm/m)	pH (1:2.5) H <sub>2</sub> O	EC (1:2) mmhos/ cm	O.C. (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	CEC (me/ 100 g)	ESP
		Clay ( < 2 μ)	Silt (2-50 μ)									
<u>Nimone clay</u> (Typic Chromustert); Ahmednagar district, Maharashtra; Moderate to imperfectly drained												
Surface	0-47	49.08	27.39	1.81	0.12	200	8.4	--	0.54	6.60	35.45	0.12
Subsoil	47-107	53.83	28.87	1.80	0.15	--	8.5	--	0.40	9.68	35.23	0.26
Substratum	107-155	52.32	20.16	1.56	0.17	--	8.6	--	0.29	17.23	35.10	0.21
<u>IRAQ</u>												
<u>Malwals silty clay</u> (Palexerollic Chromoxerert); 8 km from Said-Sadiq to Arbel Road; moderately well-drained												
Surface	0-38	50.0	39.5	1.55	--	179	7.6	--	1.3	11.4	42.2	2.3
Subsoil	38-61	49.0	45.2	1.8	--	--	8.0	--	--	11.2	43.0	2.3
Substratum	61-166	40.0	47.0	--	--	--	8.0	--	--	18.6	36.1	3.7
<u>Sirwan silty clay</u> (Aquentic Chromoxerert); 1 km from Sirwan village; imperfectly drained												
Surface	0-22	--	--	--	--	180	--	--	--	--	--	---
Subsoil	22-70	51.0	44.0	--	--	--	7.55	--	0.96	25.0	40.8	0.6
Substratum	70-120+	49.0	44.0	--	--	--	7.7	--	0.61	30.2	36.4	0.7
<u>Abu-Halana silty clay</u> (Salorthidic Torrert); Nimanía area (Kut); imperfectly drained												
Surface	0-17	49.0	49.0	1.47	--	232	7.0	34.8*	1.05	26.6	23.0	28.9
Subsoil	17-57	52.0	46.0	1.46	--	--	7.2	--	0.67	25.8	25.0	10.0
Substratum	57-123	48.0	50.0	1.48	--	--	7.6	--	0.59	25.4	26.0	40.2
<u>Towaijia silty clay loam</u> (Fluventic Torrert); Suwaira area; moderately well/imperfectly drained												
Surface	0-25	--	--	--	--	220	7.6	13.5*	0.88	27.6	22.0	4.3
Subsoil	25-92	59.0	38.0	--	--	--	7.6	--	0.50	24.9	22.6	7.2
Substratum	92-165	59.0	39.0	--	--	--	7.9	--	0.40	26.1	25.6	17.9

\* Weighted mean of 1 m soil.

Unlike the soils of the subhumid tropics (Kheri, Linga and Aroli series), the soils of the semi-arid tropics (Sarol and Nimone series), besides cracking, have a dark grey, 20-30 mm thick pulverized granular surface mulch that partly covers wide cracks (Bhattacharjee and Landey, 1984). The Vertisols with surface mulch are comparatively friable and have a finer surface structure with more void spaces between the peds in the dry season than those without mulch (Blokhuys, 1982).

The gilgai micro-relief is a prominent feature of the soils of Linga, Aroli and Sarol series. The amplitude of micro-knolls over the micro-depressions varies from 10 to 20 cm (fig. 3).

The dominant saturating cation on the exchange complex in the surface horizons of these soils is  $\text{Ca}^{2+}$ , except for Kheri soils which are saturated with  $\text{Mg}^{2+}$  (table 3). The presence of high  $\text{Mg}^{2+}$  in Kheri soils results in a dispersion and probably leads to a restricted percolation and, as such, soils are used for paddy and wheat cultivation.

The Cole index varies from 0.07 to 0.18 cm/cm (table 3). It can be higher in subsoils as compared with surface soils. The Linga soils show the highest value, indicating high swelling potential.

### 3.2. Type Xererts of NE Iraq

The intermontane Valley Plains in NE Iraq support Xererts (table 1). Those Xererts are represented by Malawais and Sirwan soils developed on calcareous alluvium (derived mainly from limestone, dolomite and marls) under semi-arid (submoist), thermal mediterranean climates supporting a steppic grass vegetation (Sehgal et al. 1980 a). At the nearly level toe-slopes of the intermontane valley, Malawais soils are replaced by hydromorphic soils of Siwan series (Sehgal, 1980).

The Malawais soils, with hues of 7.5 YR or redder and chromas of 3 to 4, suggest better drainage conditions than the Sirwan soils (table 2). In dry periods (June to November), the soils develop cracks (10-15 cm in width) and a gilgai micro-relief with a linear frequency of micro-knolls and micro-depressions occurring at intervals of 100 cm or so. The deep cracks separate soils into about 30 cm deep, massive, prism-like blocks (polyhedrons) that break into hard to very hard and firm angular blocky peds. The dark brown, clayey, slightly-alkaline subsoils show a typical prismatic structure breaking into blocky peds having slickensides close enough to intersect.

The Sirwan soils, on the other hand, have hues of 10 YR throughout and chromas of 2, except in the surface horizon where it is 1. The high and fluctuating ground water table (< 1.5 m) accompanied by rusty root channels, Fe-Mn nodules and distinct mottles show evidence of hydromorphic characteristics in these soils.

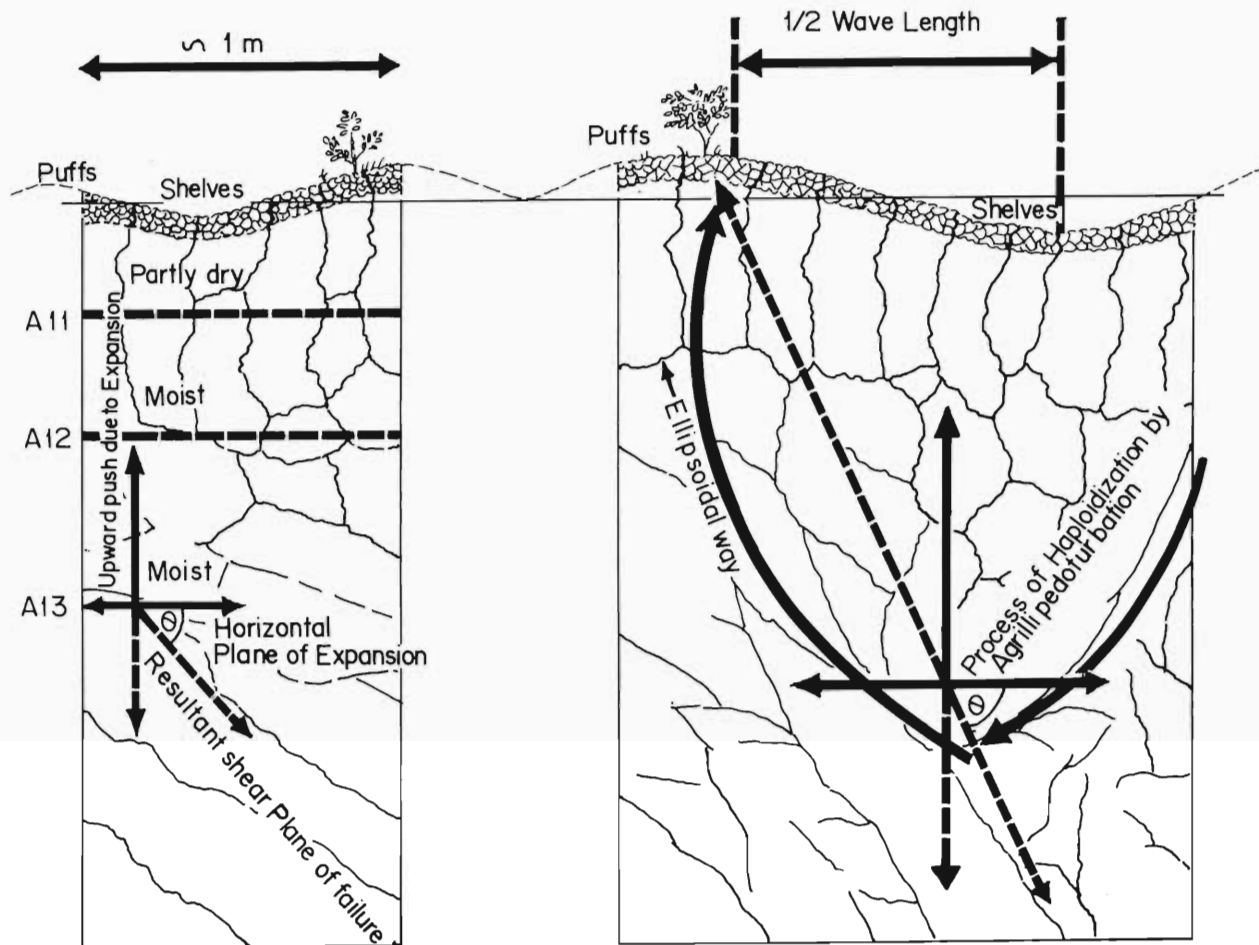


Fig. 3. Mechanism of pedoturbation forming gilgai micro-relief and slickensides in Vertisols.

**Table 4.**

Distinguishing soil-site characteristics (Weighted means of a number of pedons (5-10) within a particular series).  
(m) - moist; (d) - dry).

Soil	Climate	Rainfall (mm)	Temperature regime	Texture (family)	Clay (%)	Silt (%)	AWC (mm/ m)	pH	EC (mhos/ cm)	CEC (me/ 100g)	ESP	Cole	B.D. dry (g cm <sup>-3</sup> )
<u>INDIA</u>													
Kheri	Sub-humid(m)	1400-1500	Hyperthermic	V. fine	64	21	220	7.6	0.1	52	--	0.17	1.9
Linga	Sub-humid(d)	1000-1100	Hyperthermic	V. fine	73	19	227	8.2	0.2	62	7.0	0.17	1.9
Aroli	Sub-humid(d)	1000-1100	Hyperthermic	Fine	58	31	176	8.4	0.3	56	--	0.16	1.8
Sarol	Semi-arid(m)	800-1000	Hyperthermic	Fine	55	35	230	8.1	0.1	51	8.0	0.13	1.8
Nimone	Semi-arid(d)	500-700	Isohyperthermic	Fine	51	25	200	8.5	0.8	35	1.0	0.13	1.8
<u>IRAQ</u>													
Malawais	Semi-arid(m)	750	Thermic	Fine	49	50	179	7.8	0.2	40	2.8	--	1.7
Abu-Halana	Hot, arid	136	Hyperthermic	Fine	53	46	232	7.2	38.0	25	26.0	--	1.5



### 3.3. Typic Torrerts of the Mesopotamian Plain, Iraq

The Torrerts, represented by soils of Abu-Halana and Towijia series (table 2) are deep, calcareous, imperfectly drained, strongly to moderately saline, and occur in shallow basins (playas) of the Mesopotamian Plain under extreme hot and arid environments (table 1).

The Abu-Halana soils are highly calcareous throughout with a saline surface horizon. The soils crack and have a gilgai micro-relief in a dendritic, gully-patterned landscape (Sehgal et al., 1980 b). The groundwater-table varies from 123 to 80 cm. of the surface. The soils are comparatively more saline (Ec 34.8 mmhos/cm) than Towaija soils (Ec 13.5 mmhos/cm) (table 3). The Abu-Halana soils are left as uncultivable fallow while those of Towaija are cultivated for wheat with poor yields.

## 4. PEDOGENESIS

The parent material of the studied pedons is primarily basic in nature, containing a high proportion of the alkaline-earths which favour the development of the smectite group of minerals, an essential pre-requisite for the genesis of Vertisols and Vertic associates. The high coefficient of expansion and contraction of these minerals results in three-dimensional volume changes of the soil mass during alternate wet and dry cycles, as conditioned by climatic environments and topography. This sets up a cyclic movement of soil materials (auto-inversion) to cause vertical mixing (pedoturbation) of soil material. Such phenomena cause one mass to slip over another resulting in the formation of slickensides in the lower part of the pedon (Bhattacharjee et al., 1977). The slickensides intersect or are close enough to intersect, resulting in wedge-shaped structural aggregates which constitute the most characteristic feature of Vertisols (fig. 3). The slipping occurs when shear strength is surpassed by shear stress acting upon a soil mass. The shear stress is a major force caused by swelling and develops when volume expansion results during the wet cycle and tensile stress develops upon soil shrinkage during the dry cycle (Blokhuys, 1982). Simultaneously, deep and wide cracks and/or gilgai micro-relief develop. The deep wide cracks separate the soil into strong and massive prism-like blocks in the upper part of the pedon that break into angular blocky peds of hard and firm consistence. In the subsoil, wedge-shaped structural aggregates develop with their longitudinal axes inclined at 30° to 60° from horizontal.

## 5. TAXONOMY OF VERTISOLS : SOME CONSIDERATIONS ON CRITERIA

### 5.1. Soil temperature regime

The principal climatic parameters are temperature and precipitation. Variation in any of these elements affects the significance of the other resulting in different rates of evapotranspiration, crop phenology and biomass production (Flohn, 1969).

The striking features of monsoon climates in Central Peninsular India is that the temperature during April, May and June remains the highest and the environments remain completely dry. The temperature in the following monsoon period (June to September) drops significantly with a high rise in relative humidity. Thus, we believe that the MST should be based on the mean monthly temperature of April, May and June and not on June, July and August as defined in Soil Taxonomy (1975) (Strahler and Strahler, 1978).

In India, MAST is calculated by adding 3.5°C to the mean annual air temperature in areas located below 18° N latitude, by adding 2.0°C in areas located between 18° to 23° N latitudes, by adding 1.5°C in areas located above 23° N (NBSS, 1982 b). For calculating mean winter and mean summer (soil) temperature (MWST, MSST), we add 2.5°C to MWT (air) and subtract 2.5°C from MST (air).

The differences between MSST and MWST, as calculated using NBSS (1982 b) SMSS (1981) and ST (1975) criteria, indicate the regime requiring the iso prefix (table 5). The data show no significant differences between the NBSS and ST approaches for computing the iso- and non-iso-temperature regimes. Accordingly, Indore, Nagpur and Jabalpur qualify for non-iso hyperthermic temperature regimes and Ahmednagar for iso-hyperthermic temperature regimes, which is logical under Indian conditions. However while computing with the SMSS approach, all stations qualify for a non-iso hyperthermic temperature regime.

### 5.2. Soil moisture regime

The quantity of available water in the Soil Moisture Control Section (SMCS) and its duration during the growing season of crops are of vital importance for a successful rainfed agriculture. In Thornthwaite and Mather's (1955) water balance computation, monthly precipitations (P) are compared with monthly Potential Evapotranspirations (PE) to determine the water surplus or water deficit period. Water surplus in the SMCS is computed as the Humidity Index (Ih). Gradual water depletion (utilization) from SMCS, when  $P \geq \frac{1}{2}PE$  and the acute water deficit in SMCS when  $P < \frac{1}{2}PE$ , are computed as the Aridity Index (Ia). The Ih and Ia are expressed as percentages of PE. The differences between Ih and Ia, on a yearly basis, give the Moisture Index (Im), denoting the effective moisture

Table 5.

Soil temperature regime of type Vertisols, based on data from NBSS - National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning, SMSS - Soil Management Support Service, and ST - Soil Taxonomy.

Climatic Elements Station (location)	Air (°C)			MAT (Soil) (°C)			Difference (°C) in MSST & MWST			Soil Temperature Regime		
	MAT	MST	MWT	NBSS(1)	SMSS(2)	ST(3)	NBSS(1)	SMSS(2)	ST(3)	NBSS(1)	SM	SS(2)
<u>INDIA</u>												
JABALPUR (for Kheri)	25.2	31.8	18.7	27.2	27.7	--	8.1	8.7	7.8	Hyperthermic	Hyperthermic	Hyperthermic
NAGPUR (for Aroli, Linga)	26.8	33.4	21.6	28.8	29.3	--	6.8	7.9	7.0	Hyperthermic	Hyperthermic	Hyperthermic
INDORE (for Sarol)	24.5	30.5	18.7	26.5	27.0	--	6.8	7.9	7.0	Hyperthermic	Hyperthermic	Hyperthermic
AHMEDNAGAR (for Nimone)	25.4	29.7	21.5	27.4	27.9	--	3.2	5.4	4.9	Isohyper- thermic	Hyperthermic	Isohyper- thermic
<u>IRAQ</u>												
SHAHRAZUR (for Malawais, Sirwan)	18.5	31.7	5.3	20.0	21.0	--	21.4	17.7	15.8	Thermic	Thermic	Thermic
AL-HAI (for Abu-Halana, Towaijia)	24.7	35.9	12.8	26.2	27.2	--	18.1	15.5	13.9	Hyperthermic	Hyperthermic	Hyperthermic

CRITERIA :

1. NBSS(ICAR, 1968) : MST - 2.5°C = MSST; MWST + 2.5°C = MWST  
The season months considered for MSST and MWST are : April, May, June and Dec., Jan., Feb. respectively.
2. SMSS Technical Monograph 2, 1981 (page 5) : The amplitude of temperature variation at 50 cm depth between winter and summer was reduced by 33% of the difference between air temperatures for the same season. The season months considered for MWST and MSST are : Dec., Jan., Feb. and June, July, August for winter or summer respectively in the northern hemisphere. But in India April, May and June which are the real summer months of the area have been considered.
3. Soil Taxonomy (1975) : The summer months for calculation of MSST are those with high temperatures in summer when SMCS remains completely dry.

condition in a soil. The magnitude of  $I_h$  in a dry climate and of  $I_a$  in a moist climate gives an idea of the moist season in a dry climate or of a dry season in a moist climate.

When AE equals PE, there is an optimum water supply to meet the crop water requirements during the growing season. Water depletion (utilization) and/or water deficit in SMCS is realised when AE is less than PE.

Following Thornthwaite and Mather's (1955) procedure, the monthly AE/PE and  $I_m$  were computed for soils of Kheri (Jabalpur), Sarol (Indore) and Nimone (Ahmadnagar) to quantify the moisture condition in SMCS and to compare the crop performance in terms of grain yields under traditional rainfed farming on these soils (table 7).

In view of the differences in the length of dry periods, the percent coverage of PE by P and AE, either monthly or yearly, the variation of  $I_m$ ,  $I_h$  and  $I_a$  as also the variation of crop performance in terms of grain yields (table 6 and 7) within the Ustic moisture regime, it is imperative to subdivide the ustic great groups into Udic, Typic and Aridic subgroups (Smith, 1979).

In the circular letter No. 1 of the International Committee on Moisture Regimes in Tropical Areas (ICOMMORT), it was proposed to include soils with (iso-)hyperthermic or isomesic temperature regimes into the tropo-great groups (Smith, 1979). However, in view of the varying crop responses on Chromusterts with a iso-hyperthermic temperature regime (Nimone series) and hyperthermic temperature regime (Sarol series), such a merger may not be suitable under Indian conditions. For practical considerations, Usterts should be subdivided into Aridic, Typic and Udic subgroups based on the period of water availability in the SMCS. Hence, the soils with iso- or non-iso-temperature regimes in which SMCS is partly or is wholly moist for a specific number of days (when the soil temperature at 50 cm depth is 8°C or more) will key out as :

Aridic-Ustic : SMCS is moist for less than 180 days in a year;

Typic-Ustic : SMCS is moist for 180 to less than 270 days in a year;

Udic-Ustic : SMCS is moist for 270 days or more in a year.

In NE Iraq, the criteria "that the soils in which SMCS is dry in all parts for more than 90 consecutive days during four months following the summer solstice" will find application to classify the Malawais soils in dry-Xeric subgroups (table 6).

### 5.3. Soil depth

A minimum depth (100 cm) is essential for a soil to qualify as Vertisol. During several field surveys in the Vertisol areas, we rarely observed true Vertisols with depth less than 50 cm. It seems likely that soils less than 50 cm depth do not permit the develop-

**Table 6.**

Some climatic parameters of different stations in India and Iraq.

Station	Elevation above MSL(m)	MAR (mm)	MAT (°C)	Max. summer temp. (°C)	Min. winter temp. (°C)	PE average by rain-fall(%)	No. of dry months	No. of humid months	Humidity index (IH)	Aridity index (IA)	Moisture index (IM)	Moisture regime sub-groups)
<u>INDIA</u>												
JABALPUR 23°10'N; 79°57'E	393	1448	25.2	39.4	9.1	100	3	3	47	-44	3.3	udic-Ustic
NAGPUR 21°06'N; 79°03'E	310	1127	42.8	42.8	12.1	77	6	3	20	-43	-23	typic-Ustic
INDORE 22°0'N; 75°48'E	567	1085	24.5	39.9	9.9	60	6	3	13	-55	-42	typic-Ustic
AHMEDNAGAR 19°05'N; 74°55'E	657	677	25.3	39.4	13.1	42	7	1	0	-57	-57	aridic-Ustic
<u>IRAQ</u>												
SHAHRAZUR 35°35'N; 46°02'E	742	765	18.5	32.8	4.0	--	4	4	--	--	--	dry-Xeric
AI-HAI 32°34'N; 45°38'E	15	137	24.7	43.5	5.5	6	10	0	--	--	--	extreme Aridic

Table 7.

Monthly computed climatic elements and crop yield at selected stations.

Elements of climatic water balance	Soils and area of occurrence	Months												Moisture regime (proposed)	Crop performance in terms of grain yield under rainfed farming and moderate traditional level of management
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
AE/PE (Percentage)	Kheri soils (JABALPUR)	54	38	20	9	9	99	100	100	100	90	64	41	Udic-Ustic	Paddy : 1160kg/ha Sorghum : 1010kg/ha Wheat : 1150kg/ha
Im (Percentage)	- id -	-46	-62	-80	-91	-91	-1	-	-	-	-10	-36	-59		
AE/PE (Percentage)	Sarol soils (INDORE)	32	16	9	5	5	66	100	100	100	88	66	40	Typic-Ustic	Sorghum : 873kg/ha Wheat : 880kg/ha
Im (Percentage)	- id -	-68	-84	-91	-95	-95	-34	-	-	-	-12	-34	-60		
PE/AE (Percentage)	Nimone soils (AHMEDNAGAR)	13	6	6	7	13	85	81	80	100	79	49	23	Aridic-Ustic	Pearl millet : 680kg/ha
Im (Percentage)	- id -	-87	-94	-94	-93	-87	-15	-19	-20	-	-21	-51	-77		

ment of deep and wide cracks, prismatic and wedge-shaped structure, intersecting slickensides - the essential requirements of Vertisols. Hence a "leptic" subgroup within Vertisols may need to be introduced to highlight the thin Vertisols with depths ranging from 50 to less than 100 cm.

#### 5.4. Soil colour

According to Soil Taxonomy, distinction between Chromusterts and Pellusterts implies a difference in moisture conditions and colour. Chromusterts are supposed to be better drained than Pellusterts. The criterion, viz. chroma (moist) of 1.5 or more for Chromusterts and less than 1.5 for Pellusterts, has little practical significance. Intensive field studies of such soils indicate that the chroma (moist) of 1.5 or more and less than 1.5 do not always represent well the moisture conditions in Vertisols, as envisaged in Soil Taxonomy. Many soils from Central Peninsular India and from Iraq show chromas of 2 or more although imperfectly to poorly drained. They key out as a Typic Chromustert by the colour criterion (Nimone, Dhandhuka, Otur, Aroli series from India, Malawis series from Iraq). In contrast, many moderately and moderately-well drained soils developed on basic metamorphic rocks key out as Pellusterts simply because of chromas of less than 1.5 (table 8). We feel the concepts of Pellusterts and Chromusterts in different situations of drainage and topography do not conform to field reality.

The development of Vertisols is closely dependant on topographic position, parent material and drainage conditions which considerably increase the pedo-climatic seasonal contrasts. Vertisol profiles, during the wet season get markedly hydromorphic with a complete saturation of capillary pores, and during the following dry period they get strongly desiccated. Such strong pedo-climatic contrast influences significantly the process of humidification resulting in the polymerisation of dark coloured aromatic compounds and in the blockage of N-rich aliphatic compounds in the interlayer position of swelling clays by chemisorption (Dudus and Pawluk, 1969; Nguyen Kha, 1973; Anderson, 1979; Cloos, 1981). Although this humic compound in Vertisols is present in small amounts, it is not easily oxidisable. Duchaufour (1982) has suggested the dark colour is the expression of the degree of maturation of humic compounds in Vertisols. As such, the colour criteria for distinguishing Chromusterts and Pellusterts may not satisfactorily distinguish the well and ill drained soils differing in hydrologic condition. The colour variations may be the indicators of the maturation of the humic compounds during the process of development of Vertisols, although 'grey' colours are indicative of hydromorphic conditions in other soils. Nevertheless, there may be Vertisols in situations with a shallow phreatic water

**Table 8.**

Colour (chroma) and drainage conditions in different taxa of Vertisols.

Soil series	Drainage	Chroma (moist)	Classification
<u>INDIA</u>			
Nimone	Imperfect	2	Chromustert
Umbraj	poor	2	Chromustert
Dhandhuka	poor	2	Chromustert
Sarol	moderately-well	2	Chromustert
Malegaon	moderately-well	1	Pellustert
Achamatti	imperfect	1	Pellustert
Raichur	moderately-well	1	Pellustert
<u>IRAQ</u>			
Malawais	imperfect	3-4	Chromoxerert
Abu-Halana	imperfect	3	Torrert

level, whereby long term wetness has produced grey hues and/or Fe-Mn concretions.

Therefore we believe that instead of colour 'chroma', the differentiae at great group level should be the diagnostic horizon and/or the properties that characterize Vertisols. As such, we propose that the Taxonomy of Vertisols should be modified at the Great Group level, as follows.

Vertisols from India and Iraq showing typical characteristics (mandatory and accessory), but without a calcic, gypsic, salic horizon within 1 metre of the surface are proposed to be classified as Hapl - Ustert/Torrert/Xerert at the Great Group level. Other Vertisols of the semi-arid and arid climates, both from India and Iraq, having a calcic horizon within 1 metre of the surface, will key out as Calcic - Ustert/Torrert/Xerert at the Great Group level. The gypsi-ferous Vertisols, having a gypsic horizon within 1 metre of the surface, which are problematic to crop husbandary because of their collapsing nature, are proposed to be classified as Gypsi - Ustert/Torrert/Xerert. On similar grounds, Vertisols in coastal plain areas having a salic horizon within 75 cm of the surface which pose problems for crop growth should be classified as Sali - Ustert/Torrert/Xerert.



The "chroma" and "pell" concept can be used to classify the above soils as pellic or chromic at subgroup level.

### 5.5. Horizonation

The Vertisol profiles are generally designated as A-C profiles because of haploidization (Dudal 1965, Buol et al., 1973). But in view of the strong structural development due to swell-shrink phenomena, we believe that such soils should be designated as having A-(B)-C or A-B-C instead of A-C profiles (Yaalon and Kalmar, 1978; Singer, 1985, personal communication).

In most soils with cambic-B horizons (structure and/or colour-B), the organic matter content decreases regularly with depth related to pedogenesis. While colour and structure-B horizons are predominant in Inceptisols, the structure-B horizons are generally observed in Vertisols, wherein the structure development results from the mechanical forces due to alternate swell-shrink phenomena concomitant to the accretion and depletion of moisture during the wet and dry cycles. Although the organic matter content in Vertisols remains almost uniform with depth, the structural aspects are well expressed. Such well expressed structure-B horizons in Vertisols should be designated as vertic B-horizons like the argillic-B, spodic-B, calcic-B, etc. Accordingly, a letter "v" is proposed to be suffixed to B to designate the Vertic-B horizon as Bv to highlight the vertic character. The proposal also finds a logical application for mapping the soils with or without vertic characteristics.

### 5.6. Saline cracking-clay soils

"Torrerts are the Vertisols that, unless irrigated, have in most of the years cracks that either remain open throughout the year or are closed for less than 60 consecutive days at a period when the soil temperature at 50 cm depth remains continuously higher than 8°C" (Soil Survey Staff, 1975). Many such soils with gilgai micro-relief have developed locally on alluvium in closed depressions of the Mesopotamian plain, which are flooded occasionally by runoff from higher areas. Harris (1958) reported that montmorillonite and mica are the main constituents in gilgai Tigris soils. Some of such soils in Mesopotamia (Abu Halana series) have an accumulation of salts within 75 cm of the surface, qualifying as a salic horizon. The source of the salt most likely is the saline groundwater, which renders the soil saline owing to the capillary rise. The high salts are generally associated with a restricted or poor permeability. Although the system provides phases as a taxonomic unit to take care of high salts, yet high salt contents, when associated with poor permeability resulting from swelling clayey soils, restrict the easy removal of salts and, hence, make the reclamation process difficult.

**Table 9.**

Proposed classification of Benchmark soils from India and Iraq.

Soil	Locality	Soil Family			Subgroup	
		Tex- ture	Mineralogy	Tem- pera- ture	Present	Proposed
<u>INDIA</u>						
Kheri	Jabalpur	Very fine	Montmoril-lonic	Hyper-thermic	Typic Chromustert	Udic Haplustert
Linga	Nagpur	Very fine	Montmoril-lonic	Hyper-thermic	Udic Chromustert	Udic Haplustert
Aroli	Nagpur	Fine	Montmoril-lonic	Hyper-thermic	Typic Chromustert	Typic Haplustert
Sarol	Indore	Fine	Montmoril-lonic	Hyper-thermic	Typic Chromustert	Typic Haplustert
Nimone	Ahmed-nagar	Fine	Montmoril-lonic	Isohy-per-thermic	Typic Chromustert	Aridic Haplustert
<u>IRAQ</u>						
Malawais	Shahra-zur	Fine	Montmoril-lonic	Ther-mic	Palixerollic Chromo-xerert	Palixerollic Haplo-xerert
Sirwan	Shahra-zur	Fine	Montmoril-lonic	Ther-mic	Aquentic Chromo-xerert	Aquentic Haplo-xerert
Abu-Halana	Al-Hai	Fine	Montmoril-lonic	Hyper-thermic	Salorthidic Torrert	Typic Salitorrert
Towaijia	Al-Hai	Fine	Montmoril-lonic	Hyper-thermic	Fluventic Torrert	Fluventic Haplo-torrert

Such soils, according to the current class definition, key out as Torrerts or as Salorthids (if the salts are high enough to qualify for a salic horizon). The Torrerts enjoy priority over Salorthids in keying out such soils (Soil Survey Staff, 1975) as the cracking-clay properties are of permanent nature. Accordingly, such soil keys out as Typic Torrert. But this does not spell out their saline nature. The diagnostic horizons in Soil Taxonomy are taken at the great group level. Some comparable soils (saline with high ESP and clay percentage) in

the Indo-Gangetic Plain in India have been logically classified by introducing salic subgroups within Haplaquepts, Natrustalfs, Natraqualfs, Natrargids, etc. (Sehgal et al., 1975) to take care of the high salt (1 % or more), but not qualifying for a salic horizon. For similar practical considerations, we propose the introduction of a Salitorrert great group within the Torrerts to complete the classification of Torrerts at the great group level. On similar grounds, we propose Calcitorrerts, Gypsitorrerts, and Haplotorrerts. The modification proposed not only places due emphasis on the salic horizon but also appears logical and results in a better grouping for practical land-use. This modification also finds support from the distribution of these soils on the landscape with Salorthids occurring in close association.

In view of the above considerations and criteria, the Vertisols of India and Iraq have been classified using the existing and proposed class criteria (table 9).

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express their sincere gratitude to : (i) Miss C. Roychowdhury and her team for undertaking the cartographic work and the processing of the climatic data; (ii) Dr. S.B. Deshpande, Mr. R.K. Batta and Mr. K.R. Venugopal for making useful suggestions to the manuscript, and (iii) Mrs. T.L. Pillai and Shri C.K. Kharche for typing the manuscript.

## REFERENCES

- Anderson, D.W. (1979)  
Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains.  
J. Soil Sci., 30 (1) : 77-84.
- Anonymous (1968)  
Report-Cooperative project on the benchmark soils network for agrotechnology transfer.  
Unpublished report.
- Bhattacharjee, J.C. & Landey, R.J. (1984)  
Minimum data sets for agrotechnology transfer on Vertisols and associated soils in India.  
Proc. Intern. Symposium on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer, March 21-26, 1983, ICRISAT, Hyderabad.

- Bhattacharjee, J.C., Landey, R.J. & Kalbande, A.R. (1977)  
A new approach in the study of Vertisol morphology.  
*J. Indian Soc. Soil Sci.*, 25 (3) : 221-232.
- Blockhuis, W.A. (1982)  
Morphology and genesis of Vertisols.  
Symposium Papers II. 12th International Congress of Soil Science,  
New Delhi.
- Buol, S.W., Hole, F.D. & McCracken, R.J. (1973)  
Soil genesis and classification.  
Iowa, USA, Iowa State Univ. Press, 2nd ed.
- Cloos, P. (1981)  
Migrations organo-minérales dans les sols tempérés.  
Coll. Intern. CNRS Nancy, 1979, P. 251-258.
- Duchaufour, P. (1982)  
Pedology.  
George Allen & Unwin, London, pp. 262-269.
- Dudal, R. (1963)  
Dark clay soils of tropical and sub-tropical regions.  
*Soil Sci.*, 95 : 264-270.
- Dudal, R. (1965)  
Dark clay soils of tropical sub-tropical regions.  
FAO Agricultural Development Paper No. 83, Rome, Italy, FAO,  
161 pp.
- Dudus, M.J. & Pawluk, S. (1969)  
Naturally occurring organo-clay complexes of orthic black cherno-  
zems.  
*Geoderma* 1969 (3) : 5-17.
- Flohn, H. (1969)  
Climate and Weather.  
Publ., London. Weidenfeld and Nicolson.
- Harris, S.A. (1958)  
The gilgaied and bad-structured soils of Cental Iraq.  
*J. Soil Sci.*, 9 : 169-185.
- Hole, F.D. (1961)  
*Soil Sci.*, 91 : 375.
- Murthy, R.S., Bhattacharjee, J.C., Landey, R.J. & Pofali, R.M. (1982)  
Distribution, characteristics and classification of Vertisols.  
Symposium Papers II. 12th International Congress of Soil Science,  
New Delhi.

- NBSS ( National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning)  
(1982 a)  
Benchmark Soils of India.  
Publ. NBSS Nagpur, India.
- NBSS (National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning)  
(1982 b)  
Bio-climatic Analysis of India.  
Bull. No. 7, Nagpur, India.
- Nguyen Kha (1973)  
Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions  
tempérées tropicales.  
Ph. D. Thesis, Univ. Nancy 1.
- Sehgal, J.L. (1980)  
Soils of the Shahrazur area (NE Iraq) II. Genesis and Classification.  
J. Indian Soc. Soil Sci., 28 (3) : 329-335.
- Sehgal, J.L., Hall, G.F. & Bhargava, G.P. (1975)  
An appraisal of the problems in classifying saline-sodic soils of  
Indo-Gangetic Plain of NW India.  
Geoderma, 14 : 75-91.
- Sehgal, J.L., Mahamud Al-Mishadani, Abdul Ghani, S.A. & Sigur,  
Rajih H. (1980 a)  
The soils of Shahrazur area (NE Iraq) for land use planning. I. Char-  
acterization.  
J. Indian Soc. Soil Sci., 28 (1) : 57-71.
- Sehgal, J.L., Mahammed, M.A., Al-Johar, T. & Allewy, R.J. (1980 b)  
The soils of the Middle Tigris Project (Mesopotamian Plain) for  
land-use planning.  
Soils Bull., SOSLR, Baghdad (Iraq), p. 376.
- Simonson, Roy W. (1954)  
Morphology and classification of the regur soils of India.  
J. Soil Sci., 5 : 275-288.
- Smith, G.D. (1979)  
International Committee on Moisture Regimes in Tropical areas  
(ICOMMORT).  
Circular Letter No. 1.
- Strahler, A.N. & Strahler, A.H. (1978)  
Modern Physical Geography.  
John Wiley & Sons, London.
- Soil Survey Staff (1975)  
Soil Taxonomy.  
USDA Agricultural Handbook No. 436, USDA, Washington, D.C., USA.

- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. (1955)  
Water balance.  
Pub. in Climatology, Drexel Inst. of Tech., Vol. VIII, no. 1.
- U.S.D.A. (1981)  
Soil moisture and temperature regimes : South America.  
SMSS Tech. Mon. No. 2.
- Virmani, S.M., Sivakumar, M.V.K. & Reddy, S.J. (1978)  
Rainfall probability estimates for selected locations of semi-arid  
India.  
ICRISAT (Hyderabad) Research Report 1, p. 128.
- Yaalon, D.H. & Kalmar, D. (1978)  
Dynamics of cracking and swelling clay soils : Displacement of  
selected grains, optimum depth of slickensides and rate of intra-  
pedonic turbation.  
Earth Surface Proc. 3, 31-42.
- 

## Karakteristieke Vertisolen uit Indië en Irak : eigenschappen en klas- sificatie

### Samenvatting

Negen karakteristieke Vertisolen uit Indië en Irak werden onder-  
zocht naar hun specifieke eigenschappen, pedogenetische evolutie, pro-  
blemen en potentieel. Daarnaast werden criteria vooropgesteld met  
het oog op hun logische klassificatie op het niveau van de grote  
groep.

Het belangrijkste pedogenetische proces is de pedoturbatie, het-  
geen resulteert in een homogenisering en zwakke horizonten-ontwik-  
keling enerzijds, en de vorming van een goed structuurprofiel ander-  
zijds. De bodems worden verondersteld structuur-B-horizonten te  
bevatten, gekarakteriseerd als vertic-B om de vertieke eigenschap-  
pen in het licht te stellen. Rekening houdend met de grote verschil-  
len in beschikbare vochtigheid gedurende het groeiseizoen wordt  
voorgesteld het "ustic" vochtigheidsregime van deze gronden op te  
splitsen in aridic, typic en udic klassen met het oog op een definitie  
van de resp. subgroepen.

De chromic en pellic criteria die de onvoldoende en goed gedrai-  
neerde bodems onderverdelen op het niveau van de grote groep wer-  
den minder benadrukt, maar in de plaats daarvan werd het gebruik  
van diagnostische horizonten voorgesteld om deze grote groepen  
onder te verdelen.

---

## Vertisols représentatifs de l'Inde et d'Iraq : caractéristiques et classification

### Résumé

Neuf Vertisols caractéristiques de l'Inde et d'Iraq ont été étudiés en vue de connaître leurs caractéristiques différentielles, leur évolution pédogénétique, leurs problèmes et potentialités; de plus, des critères ont été proposés pour leur classification logique au niveau du grand groupe.

Le processus pédogénétique le plus important concerne la pédoturbation, ce qui résulte en une homogénéisation et un développement d'horizons peu différenciés d'une part et en un profil structural bien développé d'autre part.

Les sols sont censés d'inclure des horizons B structuraux, caractérisés par un B-vertique, afin de mettre en relief les propriétés vertiques. Compte tenu des variations importantes dans les teneurs en eau utile du sol il est proposé de subdiviser le régime d'humidité de type "ustique" en unités aridiques, typiques et udiques, qui pourraient alors servir à la définition des sous-groupes définitifs.

Dans cette étude il est moins tenu compte des critères chromiques et pelliques qui subdivisent les sols à drainage imparfait et bon; par contre, il est proposé d'utiliser plutôt les horizons diagnostiques comme critères de différenciation.

---





## ENGORGEMENT DES SOLS EN RELATION AVEC LES UNITES PEDOLOGIQUES DE LA CARTE DES SOLS DE BELGIQUE

J.L. LEJEUNE  
A. MOKADEM  
S. DAUTREBANDE

### Résumé

Des mesures de profondeurs de nappe ont été réalisées dans 122 sondages répartis le long de transects, sous prairies, dans trois communes de Belgique, dont une en Ardenne condruzienne et deux en Famenne méridionale.

Ces mesures se sont déroulées hebdomadairement à la fin de l'hiver et tout au long du printemps de l'année 1986.

A l'aide d'une méthode d'analyse statistique exploratoire, nous avons tenté d'identifier l'existence de relations entre profondeurs de nappe observées et critères de la carte des sols de Belgique.

Il en résulte que, outre la classe de drainage, la profondeur de sol et sa texture sont d'autres critères pédologiques à mettre en relation avec les profondeurs de nappe et donc avec l'état d'hydromorphie des prairies, sans que les corrélations soient bien systématiques.

### Mots clés

Nappe superficielle, hydromorphie, unités pédologiques, drainage.

## 1. INTRODUCTION

Des mesures de profondeurs de nappe ont été réalisées dans 122 sondages répartis le long de transects, sous prairies non drainées artificiellement, dans trois communes de Belgique, dont une en Ardenne condruzienne et deux en Famenne méridionale.

Ces mesures se sont déroulées hebdomadairement à la fin de l'hiver et tout au long du printemps de l'année 1986. Cette période détermine en effet les problèmes d'engorgement des sols en relation avec les rendements de prairies dans cette région.

L'objectif premier est d'identifier le long des transects les zones à nappe superficielle élevée et donc à hydromorphie printannière, en vue de comparer ultérieurement ces résultats avec les réponses spectrales fournies par les satellites SPOT et Landsat TM.

Afin d'étendre spatialement les observations, l'établissement d'une corrélation entre engorgement des nappes et unités pédologiques serait utile.

La carte des sols de Belgique possède en effet comme critère de classification un "état de drainage" indiqué par une gamme de hauteurs d'apparition d'un horizon oxydo-réduit, devant correspondre en principe à la zone de battement d'une "nappe perchée".

Nous tentons ici à vérifier cette relation entre état de drainage au sens pédologique du terme et profondeur de nappe, et de l'affiner si possible en fonction d'autres éléments de la carte pédologique, tels la texture et la profondeur du sol, et ce dans les contextes géomorphologiques étudiés.

En effet, le seul critère de la classe de drainage nous est apparu rapidement insuffisant pour décrire complètement les observations relatives à la présence de nappes plus ou moins superficielles.

De plus, bien que l'apparition du gley soit souvent un bon indicateur du régime hydrique des sols, dans certains sites la présence de celui-ci ne correspond pas à l'hydromorphie actuelle, et ce en dehors de toute amélioration foncière : il s'agit des sols à pseudo-gley souvent liés au domaine des plateaux (Avril et Mathieu, 1982; Baquet et Lejeune, 1982).

## 2. CONTEXTE REGIONAL ET PEDOLOGIQUE

Les relevés d'engorgement des sols ont eu lieu dans les trois localités suivantes : Focant, Matagne-la-Petite, et Sart-Bernard (fig. 1). Les deux premières localités se situent en Famenne méridionale tandis que Sart-Bernard se situe en bordure Nord de l'Ardenne condruzienne.

Focant et Matagne occupent des dépressions fameniennes qui

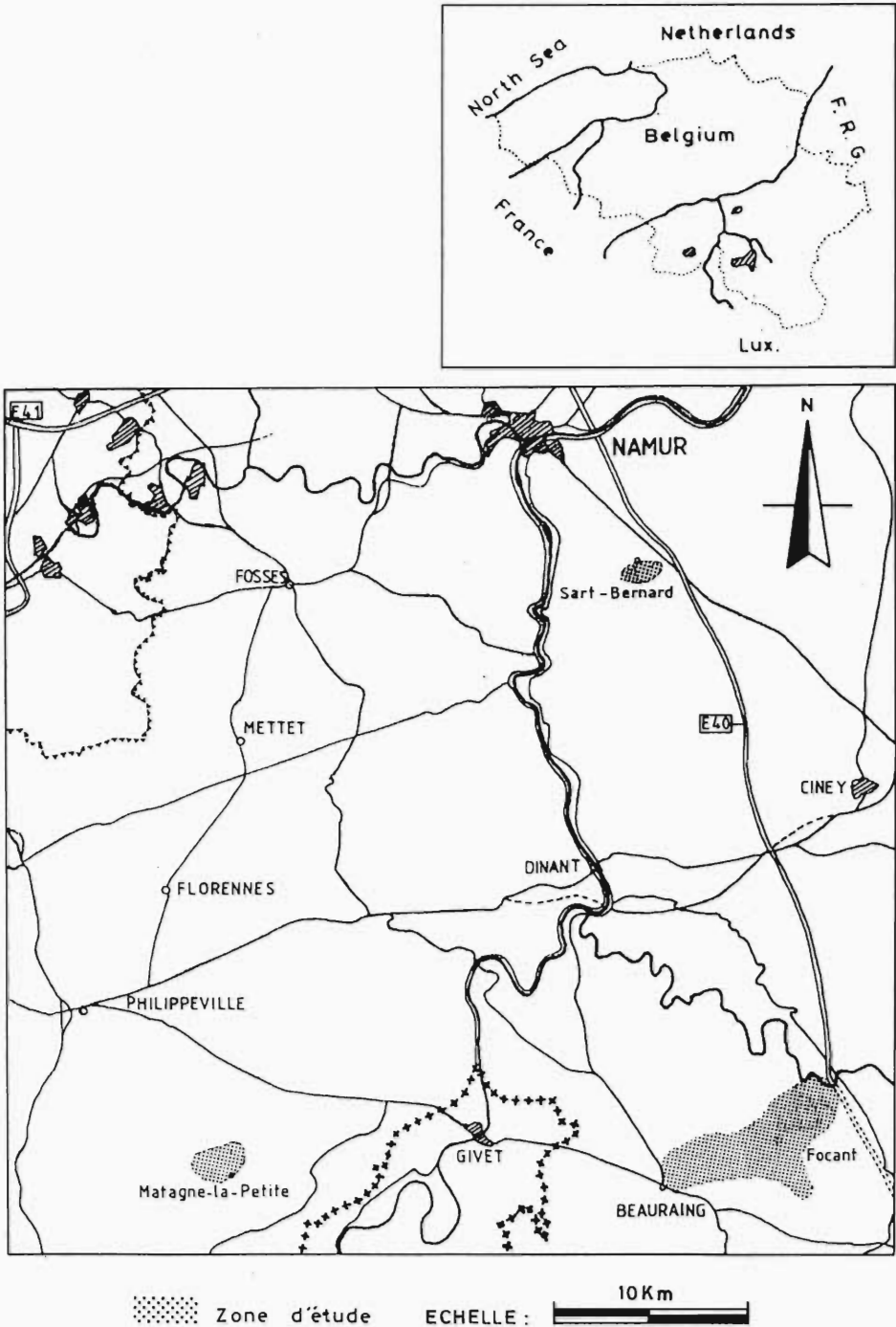
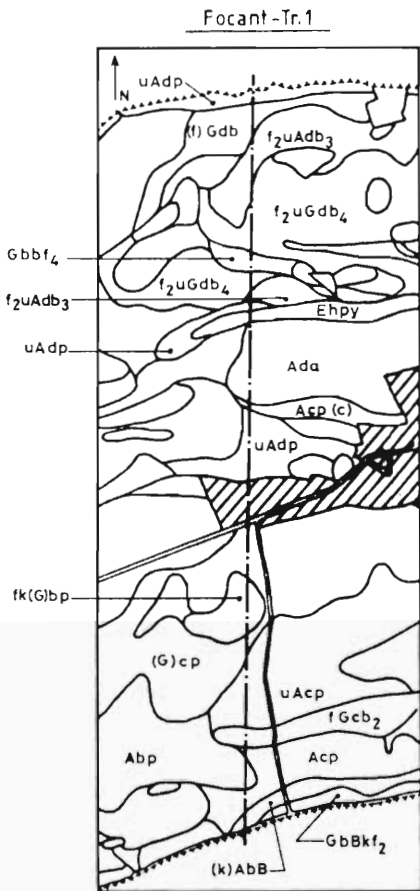
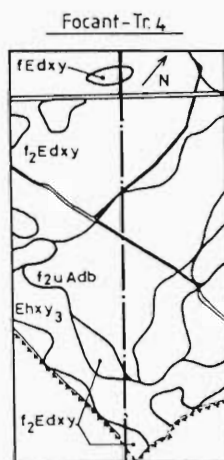
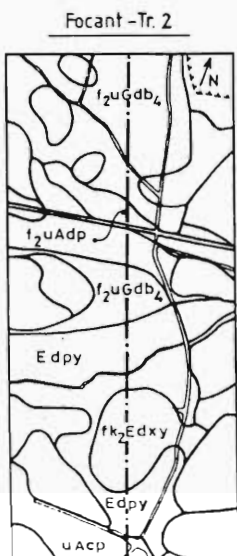
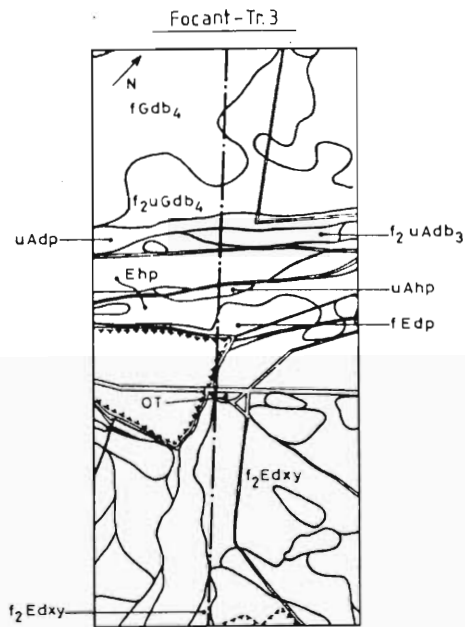


Fig. 1.  
 Situation géographique des zones étudiées.



**Fig. 2.**  
 Transects piézométriques de la région de Focant.  
 ECHELLE : 1/20.000.



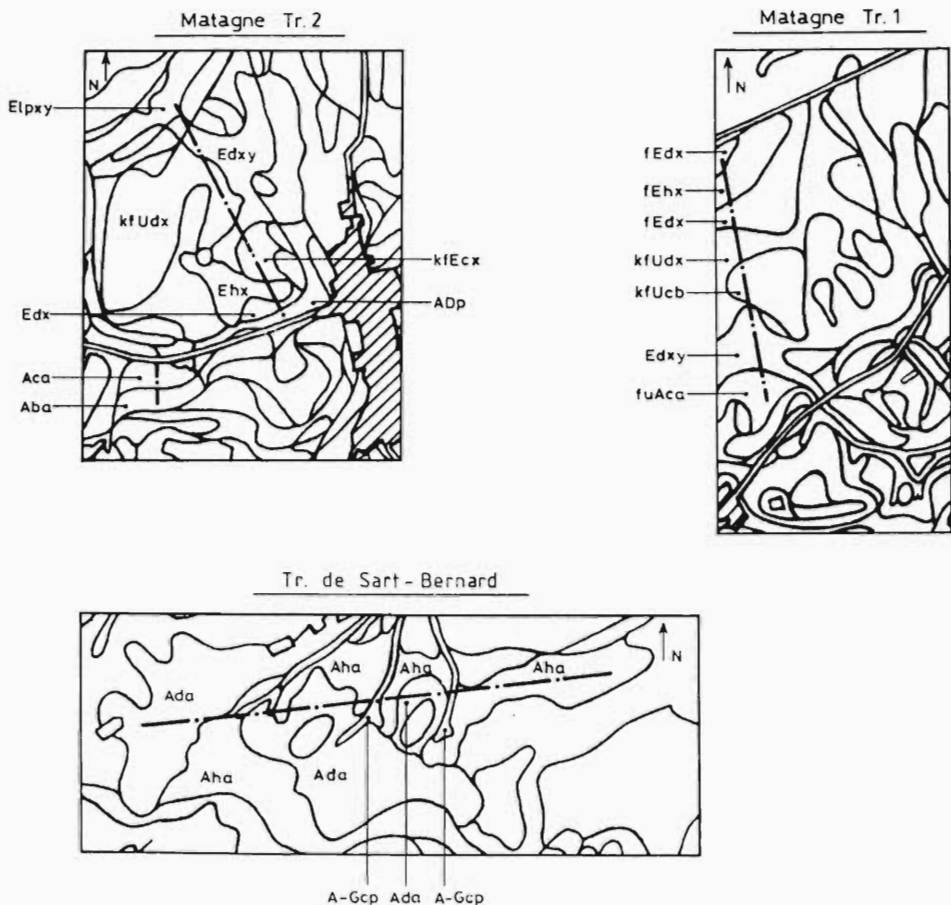


Fig. 3.

Transects piézométriques des zones de Matagne-la-Petite et de Sart-Bernard.

ECHELLE : 1/20,000.

forment de larges plaines, dont le socle primaire est constitué principalement de schistes ainsi que de calcaires du Famenien et du Frasnien. Dans les parties planes, les sols sont profonds et l'altération du schiste y est parfois très poussée, avec l'apparition d'un horizon lourd, imperméable. Les sols des dépressions fameniennes peuvent être également constitués d'alluvions et de colluvions plus ou moins argileuses, ainsi que de placages localisés éoliens (Avril, s.d.). Sur le versant Nord à Focant, les sols sont souvent superficiels et rapidement engorgés.

La grande variabilité des matériaux et de la morphologie est à l'origine de la disparité du régime hydrique de ces sols.

A Focant, les transects recoupent différentes unités pédologiques (fig. 2). A Matagne, les transects sont principalement caractérisés par des sols à texture lourde et à drainage imparfait dans le fond de la vallée, des sols limoneux à drainage plus favorable sur le versant Sud (fig. 3).

Le contexte régional à Sart-Bernard est très différent. L'Ardenne condruzienne est fortement boisée, à l'exception de quelques campagnes. Les sols sont limoneux et très homogènes et proviennent de dépôts importants d'origine éolienne (fig. 3). Les sols sont profonds, limoneux et très homogènes, ils se différencient seulement par la classe de drainage.

Le drainage imparfait et assez pauvre rencontré en Ardenne condruzienne résulte de l'altération du socle primaire schisto-gréseux du Couvinien et de l'Eodévonien. Cette altération engendre une argile extrêmement compacte qui influence défavorablement l'état de drainage (Oldenhove de Guertechin, 1972).

### 3. METHODOLOGIE

#### 3.1. Mesures de l'engorgement des sols

Les relevés de profondeur de nappes superficielles ont été réalisés dans des trous forés à la tarière; leur profondeur atteint 2 mètres lorsque le sol le permet.

Ces trous de piézométrie s'échelonnent tous les 50 ou 100 m, suivants des transects longs de 1 à 2 km (fig. 2).

Les mesures de profondeur de nappe ont eu lieu hebdomadairement depuis le 10/03 jusqu'au 20/05/86.

Chaque trou a été protégé par un tuyau en P.V.C., percé latéralement. Cependant, les sondages ne sont pas à l'abri d'apport temporaire d'eau par le ruissellement. Par conséquent, les relevés des niveaux de nappe qui suivent dans les 48h des épisodes pluvieux importants doivent être interprétés avec précaution, les dates utilisées ultérieurement pour l'analyse se situant en dehors de ces périodes à pluviométrie élevée.

Les relevés ont eu lieu sous prairies non drainées artificiellement.

#### 3.2. Carte pédologique

Les séries principales de la carte des sols de Belgique levée au 1/5.000 fournissent (Avril, 1981) :

- la nature de la roche-mère (ou texture),
- l'état de drainage naturel,
- le développement de profil,
- la nature de la charge caillouteuse.

A ces séries sont associées différentes phases avec notamment comme critère la profondeur de sol.

Pour notre étude, nous avons utilisé les critères pédologiques de texture, d'état de drainage et de profondeur de sol. Des observations pédologiques ont été effectuées pour chaque trou de piézométrie afin de vérifier la correspondance du site avec la carte pédologique. Pour certains trous, nous avons été amenés à modifier la profondeur du sol par rapport aux renseignements de la carte.

Dans une première approche de classification, nous avons regroupé, d'une part, les textures limoneuses et limono-caillouteuses (A et G) et, d'autre part, les textures plus lourdes (E, U, uA, uG). Ainsi, toutes les textures se retrouvent dans deux classes : (1) classe 1 : textures A et G, et (2) classe 2 : textures E, U, uA, uG.

Pour l'état de drainage, les classes b et c (sols à drainage favorable ou modéré) ont été regroupées. Les sols à drainage assez pauvres et pauvres (h et i) sont également repris dans une même classe.

Il en résulte donc trois classes pour l'état de drainage :

- (1) classe 1 : état de drainage b ou c; drainage favorable à modéré;
- (2) classe 2 : état de drainage d; drainage imparfait,
- (3) classe 3 : état de drainage h ou i; drainage pauvre à assez pauvre.

Il en est de même pour la profondeur de sol :

- (1) classe 1 : sols à substrat à grande profondeur (> à 120 cm) ou à profondeur moyenne (de 80 à 120 cm),
- (2) classe 2 : sols à substrat à faible profondeur (de 40 à 80 cm),
- (3) classe 3 : sols à substrat superficiel (de 20 à 40 cm).

Trois critères pédologiques sont donc utilisés afin de réaliser les corrélations entre relevés de profondeurs de nappe et types pédologiques, soit la texture (2 classes), l'état de drainage (3 classes) et la profondeur (3 classes), c'est-à-dire au total 18 possibilités d'unités pédologiques. De ces 18 possibilités d'unités, 11 types pédologiques sont présents en proportions variables pour nos différents points de mesure. L'unité pédologique dominante est un sol à texture lourde, dont l'état de drainage est imparfait et à substrat débutant à faible profondeur.

Le tableau 1 reprend les 11 types pédologiques représentés et le nombre de points d'observations pour chacun d'eux.

### 3.3. Méthode d'analyse statistique

La méthode de base pour une comparaison de moyennes passe classiquement par l'analyse de la variance. Dans notre cas, une analyse de la variance, non orthogonale, à 3 critères pédologiques et à

**Tableau 1.**

Nombre d'observations par type pédologique (Le type pédologique est défini par trois chiffres qui représentent respectivement les classes de drainage, de profondeur et de texture de sol, définies dans le texte).

Type pédologique	Nombre de points d'observations
111	10
121	2
122	2
211	17
212	9
222	53
231	6
232	2
311	13
312	4
322	4
Total	122

1 critère régional, ne se justifie pas. Par conséquent, nous nous sommes tournés vers une méthode statistique exploratoire de comparaisons multiples de moyennes afin de dégager les tendances générales existant entre profondeurs de nappe et critères pédologiques.

Les valeurs critiques du coefficient de corrélation de Pearson permettent de réaliser un test de conformité du coefficient de corrélation, c'est-à-dire d'accepter ou de rejeter l'hypothèse de nullité du coefficient de corrélation de la population correspondante (Dagnelie, 1971). Dans le cas de la corrélation entre les valeurs de l'engorgement des sols et les classes de texture, le test de conformité est en fait un test d'égalité de deux moyennes, la texture étant regroupée dans deux classes seulement.

Pour les autres critères, le test d'égalité de deux moyennes est possible en réduisant l'analyse aux observations qui ne reprennent que deux classes du critère considéré, soit, par exemple les observations qui correspondent aux classes 1 et 2 du critère de drainage ou aux classes 2 et 3 de ce même critère.

Une seconde manière d'utiliser les valeurs critiques du coefficient de corrélation à des fins de test d'égalité de deux moyennes est de subdiviser les critères de trois classes en deux sous-critères de deux classes. Ainsi, le critère de drainage peut être séparé en



deux sous-critères dont le premier rassemblerait les classes 1 et 2 du critère de drainage en une seule classe et dont le second sous-critère réunirait les classes 2 et 3 du critère de drainage.

Par cette technique, nous testons l'égalité des valeurs de profondeurs de nappe, d'une part entre les classes 1 et 2 du drainage et la classe 3, et d'autre part, entre la classe 1 et les classes 2 et 3 de drainage.

Cette méthode présente l'avantage de ne pas amoindrir la quantité d'observations; par contre les nouvelles classes formées ne peuvent être utilisées pleinement pour la comparaison des types pédologiques.

Les relevés utilisés pour ces tests d'égalité de moyennes datent respectivement du 17/03, 14/04, 28/04, 20/05, soit une mesure avant la remontée complète des nappes, une mesure en période de "nappes hautes", deux mesures au cours du rabattement des nappes. Rappelons en effet qu'il a été montré qu'une nappe haute au printemps est déterminante, dans ces régions, pour les récoltes et en tant que critère rationnel de la nécessité d'une opération de drainage (Sine, 1965).

Par ailleurs, les sommes des profondeurs de nappe du 17/03 + 14/04 (SOM1) et du 14/04 + 20/05 (SOM2) ont également été utilisées, en vue de globaliser les fluctuations observées en période printanière.

C'est cette appréciation de l'hydromorphie via des niveaux relatifs de nappe qui est mise en relation avec les critères pédologiques traditionnels.

## 4. RESULTATS

### 4.1. Analyse de la corrélation, tous critères pédologiques confondus

Le tableau 2 présente, toutes régions confondues, les résultats de mesure des profondeurs de nappe par rapport à la surface du sol, ainsi que la moyenne (MOY), l'écart-type (ET), le coefficient de variation (CV) et l'effectif (N) pour les différentes dates envisagées, par classe de drainage (DR), de profondeur (PR) et de texture (TEX).

Le tableau 3 reprend, toutes régions et toutes classes pédologiques confondues, les coefficients de corrélation de Pearson entre valeurs de profondeurs de nappe et classes pédologiques.

Les valeurs critiques du coefficient de corrélation sont marquées d'astérisques lorsque les différences entre moyennes sont significatives, avec  $\alpha = 0.05$  (\*),  $0.01$  (\*\*), et  $0.001$  (\*\*\*)

Il ressort du tableau 3 que tous les paramètres pédologiques repris sont en relation avec les profondeurs de nappes observées, moyen-

nant des coefficients de corrélation faibles cependant. Toutefois, la plupart des critères pédologiques sont également corrélés entre eux (tableau 4). Par conséquent, il est difficile de faire correspondre à un critère pédologique particulier les différences entre profondeurs de nappe.

Ainsi une relation significative existe entre la texture et la classe de drainage. La texture 1 (limoneuse) est plus souvent associée à la classe de drainage 1 et la texture 2 (plus lourde) à la classe de drainage 2. Par conséquent, les différences des valeurs d'engorgement observées entre les textures de classe 1 et 2 peuvent être attribuées à des différences de classes de drainage, et vice versa.

Afin de tester l'égalité des moyennes des profondeurs de nappe, il est donc nécessaire de réaliser l'analyse par étapes, c'est-à-dire d'établir les coefficients de Pearson pour chacun des critères pris séparément, les autres critères restant fixes.

Il en résulte une diminution du nombre des observations, plus ou moins importante selon la représentativité des types pédologiques étudiés, et seuls les types pédologiques les plus représentatifs pourront faire l'objet d'un test d'égalité de deux moyennes.

## 4.2. Analyse de la corrélation par type pédologique

### 4.2.1. Critère de la classe de drainage

#### A. Sols à bon drainage et sols à drainage imparfait (DR 12)

Le tableau 5 reprend, par profondeur de sol et par texture, les coefficients de Pearson pour les sols à bon drainage (classe 1) et à drainage imparfait (classe 2) et pour les sols à drainage imparfait (classe 2) et assez pauvre (classe 3).

Pour les sols profonds à texture limoneuse, seules les profondeurs de nappe observées au 17/03/86 sont significativement différentes entre classes de drainage 1 et 2; pour les sols peu profonds à texture argileuse, qui est le type de sol le mieux représenté dans nos sondages, des différences significatives sont observées pour les valeurs du 14/04, soit seulement en période de nappe élevée.

Il est important de signaler que l'absence de différences significatives aux autres dates peut provenir, outre d'une réelle égalité des hauteurs des nappes, d'une part du faible nombre d'observations pour la classe de drainage 1, et/ou d'autre part de ce que la classe de drainage 1 regroupe les sols à drainage favorable (b) et modéré (c) selon la légende de la carte des sols de Belgique.

Les mêmes analyses réalisées par région, montrent qu'à Matagne (REG = 2) une différence entre classe 1 et 2 de drainage existe également pour les valeurs SOM 1 (somme des profondeurs au 17/03 et 14/04).

De manière synthétique, ces résultats montrent que, lors de périodes de nappes élevées, des différences de profondeurs de nappe

n'existent, ou ne peuvent être mises en évidence, entre sols classés pédologiquement à bon drainage et à drainage imparfait, que pour certaines catégories de sols définis quant à leur texture et profondeur.

#### B. Sols à drainage imparfait et assez pauvre (DR23)

Des différences de profondeurs de nappe apparaissent de façon souvent significative entre ces deux types de sols essentiellement dans le cas des sols profonds; à Matagne, où les sols sont peu profonds et lourds, aucune différence n'apparaît entre sols à drainage imparfait et sols à drainage assez pauvre (tableau 4).

#### 4.2.2. Critère régional

Pour les sols lourds et peu profonds, le facteur régional joue un rôle important et des différences significatives existent entre Focant et Matagne (tableau 6). Les niveaux de nappe sont plus élevés en général à Matagne, excepté au 14/04 qui est une période de nappe élevée partout. Il est intéressant de remarquer que le drainage artificiel réalisé lors du remembrement de Focant est probablement à l'origine d'une diminution générale des nappes de la zone, les sondages repris ici se situant exclusivement dans des parcelles non drainées.

#### 4.2.3. Critère de la profondeur de sol

##### 4.2.3.1. Sols profonds et peu profonds (PR12)

Pour les sols à texture limoneuse (TEX=1) et à drainage favorable ou imparfait (DR=1), peu de différences significatives sont mises en évidence entre sols profonds et peu profonds (tableau 7).

A Matagne, les sols lourds et profonds sont peu représentés et aucun effet de la profondeur des sols sur les profondeurs de nappe n'a pu être mise en évidence. A Focant, les sols lourds à drainage imparfait ou assez pauvres ont des profondeurs de nappe plus faibles pour les sols peu profonds par rapport aux sols profonds, pratiquement tout au long du printemps.

##### 4.2.3.2. Sols profonds et superficiels (PR13)

Les sols limoneux à drainage imparfait sont soit profonds, soit superficiels. Les sols superficiels présentent des niveaux de nappe significativement plus élevés que les sols profonds.

##### 4.2.3.3. Sols lourds (TEX=2), peu profonds et superficiels (PR23)

Le seul test possible se présente pour les sols lourds à drainage imparfait. Pratiquement aucune différence significative n'est mise en évidence entre les sols peu profonds et superficiels.

Tableau 2.

Résultats de profondeurs de nappes par classe pédologique.

Dates	Profondeurs de nappe en cm					
	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
Classes pédologiques	Moy. E.T. C.V. N.	Moy. E.T. C.V. N.	Moy. E.T. C.V. N.	Moy. E.T. C.V. N.	Moy. E.T. C.V. N.	Moy. E.T. C.V. N.
DR=1PR=1TEX=1	164.6 41.225.0 8	82.9 52.8 63.7 10	101.4 49.3 48.6 10	134.4 59.9 44.6 8	250.5 92.5 36.9 8	220.2 116.0 52.7 8
DR=1PR=2TEX=1	65.6 6.4 9.7 2	27.5 0.7 2.6 2	30.0 7.0 23.6 2	71.0 1.4 70.0 2	93.0 7.0 7.6 2	98.5 2.1 2.1 2
DR=1PR=2TEX=2	50.5 17.7 35.0 2	35.5 6.4 17.9 2	15.5 4.9 31.9 2	58.5 16.2 27.8 2	86.0 24.0 27.9 2	94.0 22.6 24.0 2
DR=2PR=1TEX=1	110.6 37.0 33.5 17	73.0 49.8 68.2 15	121.9 38.6 31.6 15	121.9 38.6 31.6 15	179.6 83.9 46.7 15	194.7 84.2 43.2 15
DR=2PR=1TEX=2	57.6 17.9 31.1 8	39.1 24.1 61.7 9	39.2 17.9 45.6 9	71.3 14.8 20.8 8	93.9 37.1 39.5 8	109.0 25.9 23.8 8
DR=2PR=2TEX=2	37.6 23.4 62.1 53	13.1 8.8 63.3 53	16.5 11.7 71.1 53	52.4 17.3 33.0 47	51.5 29.5 57.3 53	66.3 23.9 36.1 47
DR=2PR=3TEX=1	20.8 7.5 36.7 6	12.6 3.0 24.3 6	17.1 4.2 24.3 6	- - - 0	33.5 9.8 29.1 6	- - - 0
DR=2PR=3TEX=2	21.0 4.2 20.2 2	5.0 7.0 141.4 2	1.0 1.4 141.4 2	- - - 0	26.0 11.3 43.5 2	- - - 0
DR=3PR=1TEX=1	26.5 24.1 90.8 13	18.4 26.0 141.8 13	29.0 26.0 89.8 13	54.6 13.6 25.0 13	44.9 49.8 110.8 13	73.7 39.0 52.8 13
DR=3PR=1TEX=2	28.0 8.8 31.6 4	14.0 10.0 71.6 4	16.0 12.9 80.8 4	41.0 8.4 20.5 4	42.0 18.8 44.7 4	56.0 16.9 30.4 4
DR=3PR=2TEX=2	13.2 10.5 79.7 4	8.0 6.5 81.6 4	7.5 6.2 83.3 4	42.0 28.3 67.4 4	21.2 16.8 79.0 4	49.0 32.0 63.4 4

### Légende pour les différents tableaux

REG=1 : Focant, REG=2 : Matagne, REG=3 : Sart-Bernard

DR=1 : drainage favorable; DR=2 : drainage imparfait, DR=3 : drainage assez pauvre

PR=1 : sol profond, PR=2 : sol peu profond, PR=3 : sol superficiel

TEX=1 : sol limoneux ou limono-caillouteux, TEX=2 : sols lourds

DR3=1 : drainage favorable ou imparfait, DR3=2 : drainage assez pauvre

DR1=1 : drainage favorable, DR=2 : drainage imparfait ou assez pauvre

PR3=1 : sols profonds ou peu profonds, PR3=2 : sols superficiels

PR1=1 sols profonds, PR1=2 : sols peu profonds ou superficiels

DR12 : Comparaison sols à drainage favorable (DR12=1) et à drainage imparfait (DR12=2)

DR23 : Comparaison sols à drainage imparfait (DR23=1) et à drainage assez pauvre (DR23=2)

PR12 : Comparaison sols profonds (PR12=1) et sols peu profonds (PR12=2)

PR23 : Comparaison sols peu profonds (PR23=1) et sols superficiels (PR23=2)

PR13 : Comparaison sols profonds (PR13=1) et sols superficiels (PR13=2)

17/3 : profondeur de nappe au 17/03/86

14/4 : profondeur de nappe au 14/04/86

28/4 : profondeur de nappe au 28/04/86

20/5 : profondeur de nappe au 20/05/86

SOM1 : somme des profondeurs de nappe au 17/03/86 et 14/04/86

SOM2 : somme des profondeurs de nappe au 14/04/86 et 20/05/86.

**Tableau 3.**

Coefficients de corrélation : Résultats globaux.

DATES	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
N <sup>b</sup> Obs.	119	120	120	193	117	103
DR	-0.522 <sup>***</sup>	-0.360 <sup>***</sup>	-0.347 <sup>***</sup>	-0.402 <sup>***</sup>	-0.468 <sup>***</sup>	-0.390 <sup>***</sup>
PR	-0.480 <sup>***</sup>	-0.466 <sup>***</sup>	-0.515 <sup>***</sup>	-0.479 <sup>***</sup>	-0.486 <sup>***</sup>	-0.475 <sup>***</sup>
TEX	-0.459 <sup>***</sup>	-0.444 <sup>***</sup>	-0.528 <sup>***</sup>	-0.547 <sup>***</sup>	-0.459 <sup>***</sup>	-0.534 <sup>***</sup>
DR3	-0.301 <sup>**</sup>	-0.180	-0.143	-0.262 <sup>**</sup>	-0.252 <sup>**</sup>	-0.242 <sup>*</sup>
DR1	-0.051	-0.390 <sup>***</sup>	-0.411 <sup>***</sup>	-0.372 <sup>***</sup>	-0.491 <sup>***</sup>	-0.376 <sup>***</sup>
PR3	-0.194 <sup>*</sup>	-0.140	-0.147	-	-0.174	-
PR1	-0.488 <sup>***</sup>	-0.497 <sup>***</sup>	-0.555 <sup>***</sup>	-0.475 <sup>***</sup>	-0.496 <sup>***</sup>	-0.486 <sup>***</sup>

**Tableau 4.**

Corrélations entre facteurs pédologiques (122 observations).

	DR	PR	TEX	DR3	DR1	PR3	PR1
DR	1,000	0,113	0,055	0,807 <sup>***</sup>	0,715 <sup>***</sup>	-0,029	-0,123
PR		1;000	0,453 <sup>***</sup>	-0,333 <sup>***</sup>	0,206 <sup>*</sup>	0,601 <sup>***</sup>	0,917 <sup>***</sup>
TEX			1,000	-0,211 <sup>*</sup>	0,342 <sup>***</sup>	-0,193 <sup>*</sup>	0,648 <sup>***</sup>
DR3				1,000	0,164	-0,121	-0,345 <sup>***</sup>
DR1					1,000	0,095	0,203 <sup>*</sup>
PR3						1,000	0,232 <sup>*</sup>
PR1							1,000

**Tableau 5.**

Coefficients de corrélation et effectifs pour les classes de drainage.

Paramètre	Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
DR12	PR=1, TEX=1	-0.565 <sup>*</sup> 25	-0.098 25	-0.183 25	-0.131 23	-0.376 23	-0.131 23
DR12	PR=1, TEX=1, REG=1	-0.086 6	-0.343 6	-0.579 6	-0.483 4	-0.511 4	-0.524 4
DR12	PR=1, TEX=1, REG=2	-0.911 <sup>*</sup> 6	-0.561 6	-0.693 6	-0.605 6	-0.767 <sup>*</sup> 6	-0.592 6
DR12	PR=2, TEX=2,	-0.105 55	-0.423 <sup>**</sup> 55	-0.016 55	-0.071 49	-0.218 55	-0.228 49
DR12	PR=2, TEX=2, REG=2	-0.247 28	-0.603 <sup>***</sup> 28	-0.213 28	-0.209 27	-0.389 <sup>*</sup> 28	-0.381 <sup>*</sup> 27
DR23	PR=1,TEX=1	-0.802 <sup>***</sup> 30	-0.572 <sup>***</sup> 28	-0.559 <sup>**</sup> 28	-0.760 <sup>***</sup> 28	-0.704 <sup>***</sup> 28	-0.681 <sup>***</sup> 28
DR23	PR=1, TEX=1, REG=3	-0.801 <sup>**</sup> 26	-0.625 <sup>**</sup> 26	-0.631 <sup>*</sup> 26	-0.837 <sup>*</sup> 26	-0.735 <sup>*</sup> 26	-0.748 26
DR23	PR=1, TEX=2	-0.696 <sup>**</sup> 12	-0.510 13	-0.573 <sup>*</sup> 13	-0.765 <sup>**</sup> 12	-0.634 <sup>*</sup> 12	-0.763 <sup>**</sup> 12
DR23	PR=1, TEX=2, REG=1	-0.561 9	-0.378 10	-0.459 10	-0.672 <sup>*</sup> 9	-0.504 9	-0.724 <sup>*</sup> 9

Tableau 5. (suite)

Paramètre	Caract.	17.3	14.4	28.4	20/5	SOM1	SOM2
DR23	PR=1, TEX=2, REG=2	-0.957* 3	-0.832 3	-0.610 3	-0.930* 3	-0.934* 3	-0.989* 3
DR23	PR=2, TEX=2	-0.267* 57	-0.175 57	-0.199 57	-0.155 51	-0.262* 57	-0.190 51
DR23	PR=2, TEX=2, REG=1	-0.425* 30	-0.351* 30	-0.415* 30	-0.332 25	-0.448* 30	-0.403* 25
DR23	PR=2, TEX=2, REG=2	-0.060 27	-0.094 27	-0.013 27	-0.021 26	-0.017 27	-0.015 26

Tableau 6.

Coefficients de corrélation et effectifs entre Focant (REG=1) et Matagne (REG=2) pour les sols peu profonds, lourds, et à drainage imparfait.

Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
REG 1 et 2	-0.301* 53	-0.224 53	-0.589*** 53	-0.417** 47	-0.307* 53	-0.381** 47



Tableau 7.

Coefficients de corrélation pour les classes de profondeur.

	Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
PR12	Dr=1, TEX=1	-0.754 <sup>**</sup> 10	-0.411 12	-0.528 12	-0.451 10	-0.631 <sup>*</sup> 10	-0.448 10
PR12	DR=1, TEX=1, REG=1	-0.680 4	-0.509 6	-0.660 6	-0.318 4	-0.653 4	-0.537 4
PR12	DR=1, TEX=1, REG=2	-0.934 <sup>*</sup> 6	-0.530 6	-0.670 6	-0.605 6	-0.787 <sup>*</sup> 6	-0.577 6
PR12	DR=2, TEX=2	-0.289 <sup>*</sup> 61	-0.598 <sup>***</sup> 62	-0.540 <sup>**</sup> 62	-0.372 <sup>**</sup> 55	-0.430 <sup>***</sup> 61	-0.535 <sup>***</sup> 55
PR12	DR12, TEX=2 REG=1	-0.266 34	-0.651 <sup>***</sup> 35	-0.579 <sup>***</sup> 35	-0.363 <sup>**</sup> 29	-0.470 <sup>**</sup> 34	-0.638 <sup>***</sup> 29
PR12	DR=2, TEX=2 REG=2	-0.124 27	-0.001 27	0.013 27	-0.138 26	-0.096 27	-0.093 26
PR12	DR=3, TEX=2	-0.658 8	-0.379 8	-0.435 8	0.028 8	-0.558 8	-0.137 8
PR12	DR=3, TEX=2, REG=1	-0.896 <sup>**</sup> 5	-0.944 <sup>**</sup> 5	-0.899 <sup>**</sup> 5	-0.125 5	-0.921 <sup>**</sup> 5	-0.425 5
PR12	DR=3? TEX=2, REG=2	-0.397 3	0.924 <sup>*</sup> 3	0.610 3	0.721 3	0.768 3	0.963 <sup>*</sup> 3

Tableau 7. (suite).

	Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
PR13	DR=2, TEX=1,	-0.785 <sup>*</sup>	-0.557 <sup>*</sup>	-0.580 <sup>*</sup>	-	-0.693 <sup>*</sup>	-
		23	21	21	15	21	15
PR23	DR=2, TEX=2	-0.136	-0.191	-0.246	-	-0.164	-
		55	55	55	47	55	47
PR23	DR=2, TEX=2,	-0.255	-0.306	-0.467 <sup>*</sup>	-	-0.302	-
	REG=1	29	29	29	22	29	22

Tableau 8.

Coefficients de corrélation et effectifs pour les classes de texture.

	Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM1	SOM2
TEX 1 et 2	DR=3, PR=1	0.030	-0.083	-0.238	-0.434	-0.023	-0.231
		17	17	17	17	17	17
TEX 1 et 2	DR=2, PR=3	0.012	-0.689 <sup>*</sup>	-0.903 <sup>***</sup>	-0.350	-	-
		8	8	8	0	8	0
TEX 1 et 2	DR=2, PR=1	-0.622 <sup>***</sup>	-0.376	-0.464 <sup>*</sup>	-0.611 <sup>**</sup>	-0.512 <sup>*</sup>	-0.519 <sup>**</sup>
		25	24	24	23	23	23
TEX 1 et 2	DR=1, PR=2	-0.624	0.781 <sup>*</sup>	-0.859 <sup>*</sup>	-0.608	-0.269	-0.194
		4	4	4	4	4	4

Tableau 9.

Coefficients de corrélation et effectifs : Comparaison entre sols profonds à drainage imparfait (cl=1) et sols peu profonds à bon drainage (cl=2).

Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM 1	SOM 2
Cl 1 et 2 TEX=1	0.376 19	0.309 17	0.345 17	0.424 17	0.344 17	0.376 17
TEX=2 Cl 1 et 2	0.175 10	0.067 11	0.512 11	0.358 10	0.098 10	0.254 10

Tableau 10.

Coefficients de corrélation et effectifs : Comparaison entre sols peu profonds à drainage imparfait (cl=1), et sols profonds à drainage assez pauvre (cl=2).

Caract.	17/3	14/4	28/4	20/5	SOM 1	SOM 2
Cl 1 et 2	-0.454 <sup>***</sup> 55	-0.394 <sup>**</sup> 55	-0.196 55	-0.275 <sup>*</sup> 50	-0.476 <sup>***</sup> 55	-0.377 <sup>**</sup> 50

#### 4.2.4. Critère de la texture

L'influence de la texture (tableau 8) sur les profondeurs des nappes est, dans nos sites d'étude, assez nette pour les sols profonds et à drainage imparfait (PR=1, PR=2), le niveau moyen des nappes dans les sols lourds étant plus élevé que dans les sols limoneux. Ces différences peuvent s'expliquer de par la provenance des matériaux; les sols limoneux sont généralement d'origine éolienne et leur épaisseur peut être considérable, par contre le substrat des sols argileux n'est jamais très profond. Il y a donc une interférence de l'effet profondeur de la couche imperméable de base non testée dans le présent contexte.

Pour les autres types de sols, l'influence de la texture sur le niveau des nappes est moins apparente et même inexistante dans le cas des sols à drainage assez pauvre.

### 4.3. Comparaison d'unités pédologiques particulières

#### 4.3.1. Sols profonds à drainage imparfait et sols peu profonds à drainage favorable ou modéré

Aucune différence de profondeur de nappe n'apparaît entre ces deux types de sol, que le sol soit limoneux ou plus lourd (tableau 9). Une interprétation possible de ce résultat suggère une relation similaire entre profondeur de nappe et les facteurs pédologiques de profondeur et de drainage, ces deux critères se "neutralisant" dans la comparaison précitée.

#### 4.3.2. Sols peu profonds à drainage imparfait et sols profonds à drainage assez pauvre

Ici les sols à drainage assez pauvre possèdent des profondeurs de nappe significativement plus élevées que les sols à drainage imparfait, quelle que soit la date (tableau 10).

## 5. CLASSIFICATION DES PRINCIPALES UNITES PEDOLOGIQUES RENCONTREES D'UN POINT DE VUE HYDROMORPHIQUE

Des différentes analyses statistiques réalisées, nous pouvons en première approche établir, pour les quelques unités pédologiques rencontrées en Famenne et en Ardenne condruzienne, un classement par ordre croissant selon l'importance de l'engorgement printanier de ces sols sous prairies (du faible engorgement au plus élevé) :

- 1° Aba, Aca
- 2° Ada, uAcp, fGbb
- 3° fkuAcp, uAdp, uAdx, Edx, Edp, fGdb
- 4° fkEdx, fkuAdp, Gdbf, fkuAdb<sub>4</sub>
- 5° Ehx, Eix, Aha, Eip, Aip.

## 6. CONCLUSIONS

Nous avons voulu tester les relations susceptibles d'exister entre les critères pédologiques classiques de texture, de profondeur et de classe de drainage, et le régime hydrique réel des sols estimé par des relevés de niveaux de nappe printaniers.

Du fait des interactions existant entre les différents critères pédologiques eux-mêmes, une première approche susceptible d'indiquer les tendances consiste à réaliser un test de signification du coefficient de corrélation bisérial de point, équivalent dès lors à un test d'égalité de deux moyennes. Dans ce but, chaque critère pédologique doit être subdivisé en deux classes uniquement.

Les profondeurs de nappe ont été observées le long de transects,

dans trois régions de Belgique, en Famenne méridionale et en Ardenne conduzienne.

Dans le contexte régional envisagé et dans la cadre limité de notre étude, il résulte de l'analyse que :

- 1) Selon la région, les profondeurs des nappes peuvent différer, et ce, pour des unités pédologiques semblables. Les critères pédologiques n'expliquent donc pas entièrement les valeurs observées, même au sein d'une unité régionale déterminée, en l'occurrence la Famenne.
- 2) Les sols à drainage assez pauvre, ou pauvre (classe h ou i), se distinguent des autres sols, surtout s'ils sont profonds.
- 3) Une distinction entre les sols à bon drainage (b) ou modéré (c) et les sols à drainage imparfait (d), quant à leurs régimes hydriques, n'a pu être mise en évidence de manière systématique tout au long du printemps, et ce à profondeur de sol et texture égales.
- 4) Les sols peu profonds ont généralement des nappes plus élevées au printemps que les sols profonds, excepté si la classe de drainage est i ou h.
- 5) Les critères pédologiques de profondeur et d'état de drainage sont en corrélation entre eux dans le même sens et avec un poids statistique comparable à celui obtenu avec les niveaux de nappes.
- 6) La texture n'influence pas les profondeurs de nappe observées, excepté dans le cas de sols lourds et profonds, en comparaison avec des sols limoneux et profonds. Rappelons que les sols lourds résultent dans le contexte géomorphologique étudié, de l'altération du substrat schisteux ou schisto-calcaireux qui se trouve toujours à "faible profondeur" comparativement au substrat situé sous un matériau limoneux d'origine nivéo-éolienne.
- 7) Les niveaux de nappe des sols à drainage imparfait (d), sont très fluctuants d'un endroit à l'autre, surtout dans le cas des sols limoneux et profonds. Cette observation est à mettre en relation avec l'aspect fonctionnel de certains pseudo-gley où l'interprétation du gley ne correspond plus à l'hydromorphie actuelle (Briquemont, 1985).

En définitive, nos résultats concordent en partie avec les avis de Avril et Mathieu, (1982), qui conseillent d'interpréter l'hydromorphie en tenant compte, non seulement de la classe de drainage, mais aussi de la texture et de l'épaisseur du sol.

Il n'en reste pas moins vrai que, compte tenu de l'absence de relation générale, la mesure des niveaux de nappe au printemps reste le critère déterminant, notamment pour l'étude d'un projet de drainage (Sine, 1965).

## REMERCIEMENTS

Cette étude est réalisée dans le cadre du Programme de Télé-détection R-D, pour le compte de l'Etat Belge (Service de la Programmation de la Politique Scientifique).

Nous remercions Monsieur J.J. CLAUSTRIAUX, chargé de cours à la Chaire de Statistique de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat à Gembloux, pour son aide précieuse quant à la méthode d'analyse statistique employée.

## REFERENCES

- Avril, P. (s.d.)  
Texte explicatif de la planchette de Houyet.  
Carte des sols de Belgique. - I.R.S.I.A., non publié.
- Avril, P. (1981)  
Légende de la Carte des Sols de Belgique.  
Fac. Sc. Agr. Gembloux, Service de la Science du Sol, 15 p.
- Avril, P. & Mathieu, L. (1982)  
Classification et cartographie des sols hydromorphes du Sud de la Belgique.  
Pédologie, XXXII, 3 : 297-311.
- Baquet, V. & Lejeune, J.-L. (1982)  
Etude de sols à pseudo-gley dans le temps et l'espace.  
T.F.E. Fac. Sc. Agr. Gembloux, 281 p.
- Briquemont, P. (1985)  
Etude intégrée d'une séquence de sols et de leur comportement hydrique : cas particulier des fragipans sur la Cuesta Bajocienne en Gaume.  
T.F.E. Fac. Sc. Agr. Gembloux, 98 p.
- Dagnelie, P. (1971)  
Théorie et méthodes statistiques, Tome II.  
Editions Duculot, Gembloux, 430 p.
- Sine, L. (1965)  
Le dimensionnement rationnel d'un réseau de drainage agricole.  
Annales de Gembloux, 1965 (71) : 117-140.
- Oldenhove de Guertechin, F.B. (1972)  
Texte explicatif de la planchette de Naninne.  
Carte des sols de la Belgique I.R.S.I.A., 111 p.

## Soil saturation in relation to the pedological units of the soil map of Belgium

### Summary

Piezometric measurements were conducted on 122 auger holes distributed along transects in meadows in three Belgian communes, two of which are situated in the southern Famenne and one in the condruzian Ardenne.

Weekly measurements were made at the end of the winter and throughout spring 1986. Applying methods of statistical analysis we have attempted to establish a relation between depth of watertables observed and criteria of the soil map of Belgium.

It has been observed that apart from the drainage class, soil depth and texture are the pedological criteria which can be correlated with the watertable depth and therefore, with the hydromorphic state of grasslands.

---

## Bodemverzadiging in relatie tot de bodemkundige eenheden van de Belgische bodemkaart

### Samenvatting

Metingen van de diepte van de grondwatertafel werden uitgevoerd bij 122 boringen gesitueerd langs doorsneden doorheen weilanden in drie Belgische gemeenten, resp. gelegen in de Condrusische Ardennen en in de zuidelijke Famenne.

Wekelijkse observaties werden uitgevoerd bij het einde van de winter en over de gehele lente van 1986. Aan de hand van statistische analysemethoden werd gepoogd een relatie te vinden tussen de diepte van de grondwatertafel en een aantal parameters uit de bodemkaart van België.

Er werd aangetoond dat, behalve de draineringsklasse, de bodemdiepte en de textuur de andere bodemparameters zijn die te correleren zijn met de diepte van de grondwatertafel en dus, met de vochtsituatie van weilanden.

---

**K. Lambert, J. Vanderdeelen & L. Baert**

An improved method for cation exchange capacity determination of peat soils

5

**C.R. De Kimpe & M.R. Laverdière**

Effect of cultivation on the physical and chemical properties of two podzolic soils from Quebec, Canada

15

**J.E. Dufey & J. Lambert**

Libération du potassium par le trèfle et le ray-grass dans quatre sols du Sud de la Wallonie, Belgique

35

- Potassium release by clover and rye grass in four soils from the South of Wallonie, Belgium

**J. Embrechts & K. Sys**

Characteristics of pseudo-silts of a soil-catena in a humid tropical area (South Cameroon)

51

**J.L. Sehgal & J.C. Bhattacharjee**

Typic Vertisols of India and Iraq - their characterization and classification

67

**J.L. Lejeune, A. Mokadem & S. Dautrebande**

Engorgement des sols en relation avec les unités pédologiques de la Carte des Sols de Belgique

97

- Soil saturation in relation to the pedological units of the soil map of Belgium