

PEDOLOGIE

Edité avec le concours de la Fondation Universitaire
et du Ministère de l'Education nationale et de la Culture
Uitgegeven met de steun van de Universitaire Stichting
en van het Ministerie van Nationale Opvoeding en Cultuur

Bulletin de la
Société Belge de Pédologie

≈

Bulletin van de
Belgische Bodemkundige Vereniging

1 9 6 6

XVI,2

Comité de rédaction

J. AMERYCKX, L. DE LEENHEER, C. DONIS, J. FRIPIAT,
H. LAUDELOUT, G. MANIL, A. NOIRFALISE, G. SCHEYS,
D. STENUIT, R. TAVERNIER, A. VAN DEN HENDE

Redactiecomité

**PRESIDENT D'HONNEUR
ERE-VOORZITTER**

J. BAEYENS

**SECRETAIRE GENERAL HONORAIRE
ERE-SECRETARIS-GENERAAL**

R. TAVERNIER

**ANCIENS PRESIDENTS
OUD-VOORZITTERS**

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)

VOCATION DES TERRAINS DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET RURAL DU RIF OCCIDENTAL AU MAROC

P. AVRIL

SOMMAIRE

1. Données générales
 11. Situation
 12. Relief
 13. Climat
 14. Géologie
 15. Pédologie
 16. Érosion
 17. Activité humaine et occupation du sol
2. Principaux problèmes de la région
3. Classification des terrains dans le cadre de la lutte contre l'érosion
4. Les travaux proposés
5. Conclusions

Bibliographie

Résumé — Samenvatting — Summary — Zusammenfassung

Paul Avril, Ingénieur Agronome.

Chef de Travaux au Centre de Cartographie des Sols I.R.S.I.A. — Institut Agronomique de l'Etat, Gembloux, Belgique.

De 1961 à 1964, nous avons eu l'occasion de travailler au sein d'une équipe d'experts de la F.A.O. chargés de mettre au point un programme de développement économique et rural de la partie occidentale de la montagne rifaine au Maroc.

Bien que tous les domaines où un développement est possible devaient être envisagés, l'étude a surtout mis en relief que le principal atout, et malheureusement quasi le seul, de cette région, était le développement de l'agriculture et de l'arboriculture fruitière dans le cadre d'un vaste programme de lutte contre l'érosion. Cet article ne vise qu'à exposer les grandes lignes qui ont servi de guide à l'équipe pour l'étude de la vocation des terrains dans les montagnes du Rif occidental(*).

L'étude a été entreprise dans le cadre d'un projet du Fonds Spécial des Nations Unies pour l'établissement d'un programme de planification économique et de démonstration dans le Rif occidental. Les agences d'exécution du projet ont été, pour le Gouvernement Marocain : le Ministère de l'Agriculture, et pour le Fonds Spécial : la F.A.O. Le projet est généralement connu sous le sigle D.E.R.R.O. (Développement Economique Rural du Rif Occidental).

Les données générales exposant la physionomie de la région sont quelque peu longues afin d'expliquer les problèmes principaux et les nombreuses restrictions qui limitaient le choix des moyens et des techniques à proposer pour classer les terrains, lutter contre l'érosion et développer la région.

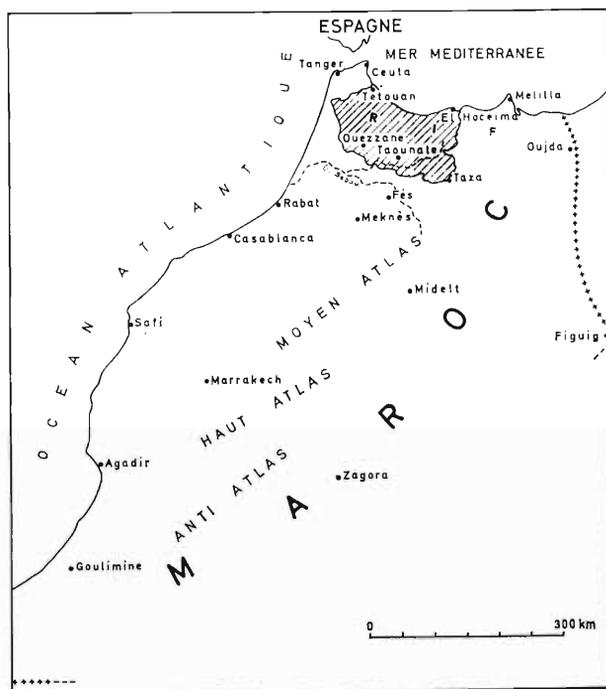
Les différents tableaux chiffrés qui jalonnent le texte sont basés sur l'étude détaillée de petits périmètres et le dépouillement des photos aériennes, confrontés avec les statistiques qui existent dans cette région.

(*) Pour les études générales et détaillées : voir les différents rapports de la mission D.E.R.R.O. auprès de la F.A.O. (Rome) ou du Ministère de l'Agriculture du Maroc (Rabat). De nombreux extraits sont repris dans cette note.

1. Données générales

11. Situation

La région du Rif occidental couvre 1 822 000 ha. Elle s'étend au nord du Maroc sur la partie ouest de la montagne riffaine, dans un parallélogramme dont les angles sont les villes de Tétouan, Ouezzane, Taza et El Hoceima (carte 1).



Carte 1

La région du Rif occidental dans le Maroc.

12. Relief

C'est un pays de collines et de montagnes dont l'axe montagneux suit la forme du rivage méditerranéen. Le point culminant est à 2456 m.

Au nord le relief s'abaisse très rapidement jusqu'au rivage méditerranéen. Il est coupé de profondes vallées orientées sud — nord et parcourues par des torrents à fort pourcentage de pente.

Le versant méridional est le plus important en superficie. Il est formé d'un très grand nombre de basses montagnes et de collines, profondément séparées par un réseau hydrographique extrêmement dense et fortement incrusté dans le paysage.

Les principales rivières se jettent dans l'Ouerrha, qui coule vers l'ouest où il se joint au Sébou, grand fleuve marocain du versant atlantique.

Au total le Rif occidental est constitué d'une accumulation de crêtes étroites et de longs versants aux pentes fortes où les plaines et plateaux de quelque importance sont rares, pour ainsi dire inexistantes (tableau 1).

Tableau 1

Répartition des terrains suivant les catégories de pentes

Catégories de pentes	Superficie des terrains estimée dans chaque catégorie de pentes	
	%	ha
0 — 5 %	7	127 000
5 — 12 %	9	164 000
12 — 25 %	17	310 000
25 — 35 %	18	328 000
35 — 50 %	21	383 000
>50 %	28	510 000
Total	100	1 822 000

Bien que possédant des sommets élevés, la montagne riffaine a une altitude moyenne de 700 à 800 m seulement et la plus grande partie du territoire est à une altitude inférieure à 1000 m (tableau 2).

Tableau 2

Répartition des terrains suivant l'altitude

Catégories d'altitude	Superficie des terrains estimée dans chaque catégorie d'altitude	
	%	ha
0 — 500 m	46	834 000
500 — 1000 m	32	584 000
1000 — 1500 m	17	310 000
1500 — 2000 m	5	88 000
>2000 m	—	6 000
Total	100	1 822 000

13. Climat

Le climat est du type méditerranéen : saison estivale chaude et sèche, période hivernale relativement froide et pluvieuse.

La situation particulièrement exposée aux vents humides venant de l'Atlantique et la hauteur de la chaîne centrale, qui forme barrière au passage des nuages, en font la région la plus arrosée du Maroc : de nombreuses zones hautes ou bien exposées reçoivent plus de 2000 mm d'eau annuellement.

Le régime des pluies est très irrégulier, tant en ce qui concerne le début et la fin de la période et la répartition au cours de la période des pluies. La pluviométrie moyenne du bassin de l'Ouerrha a été seulement de 330 mm en 1944-45, année la plus sèche observée, tandis qu'elle atteignait 1310 mm en 1935-1936. Les conséquences de cette irrégularité sont très importantes pour la végétation, la culture, l'élevage et l'érosion. Les pluies sont en général assez violentes, parfois très violentes.

Le versant méditerranéen bien protégé des vents atlantiques est nettement plus sec; il est très sec le long du rivage et dans la plaine d'El Hoceima.

Le régime des pluies concentrées sur quelques mois d'hiver conditionne l'érosion et le débit des oueds. Tombant fin d'été, sur des terres desséchées, fendillées, dénudées de leurs récoltes et de toute végétation broutée par le bétail, les pluies s'attaquent sans grande difficulté au sol et l'érodent fortement. Le ruissellement est intense et les crues sont brutales et imprévisibles, étant donné l'irrégularité de la chute des pluies au cours de l'hiver.

Une caractéristique climatique particulièrement importante pour le régime des cours d'eau et l'érosion est la hauteur des précipitations sur de courtes périodes (tableau 3).

Tableau 3
Hauteur des précipitations sur de courtes périodes

Stations	Précipitations	
	en 24 heures	en 1 mois (25-12-62 au 24-1-63)
Jbel Outka	135 mm	1200 mm
Ketama	178 mm	1200 mm
Bab Taza	185 mm	1130 mm
Chaouen Ville	279 mm	—

Le nombre annuel de jours de pluie varie de 80 à 90 à l'ouest et au centre; il est inférieur à 50 dans le coin nord-est de la région.

Les températures, elles, sont régulières et subissent peu de fluctuations d'une année à l'autre. Janvier est le mois le plus froid, août le plus chaud. Les températures estivales sont en général très élevées. Les risques de gelée sont faibles au-dessous de 800 m.

La grande quantité de pluies qui tombent annuellement sur le Rif occidental, ainsi que le relief mouvementé et la sécheresse estivale prolongée assurent à cette région une vocation arboricole (arboriculture fruitière et forestière).

Le caractère torrentiel des pluies cause de graves dégâts d'érosion : ravins, ravines et rigoles emportent les meilleures terres.

Autre aspect de cette érosion : la charge solide des oueds est telle que l'on considère que la plupart des systèmes de retenue d'eau pour l'irrigation seront ensablés en quelques années.

Comme on le voit, la situation climatique oblige à envisager la vocation des terrains de façon à concentrer dans le Rif occidental de très grands efforts de lutte antiérosive non seulement au bénéfice de la région elle-même, mais aussi au profit des régions dominées qu'il convient de protéger des inondations et d'irriguer en partie avec l'eau recueillie et retenue dans le Rif.

14. *Géologie*

La région est constituée en majeure partie par des marnes, des schistes et des flyschs, roches tendres et imperméables, facilement érodées. Ces roches datent généralement des époques secondaire et tertiaire, localement primaire.

La nature très tendre des roches oblige également à prévoir dans le Rif occidental un vaste programme de travaux antiérosifs.

15. *Pédologie*

Des études pédologiques détaillées de petits secteurs et un schéma général pédologique du Rif occidental au 1/500 000 (carte 2)(*) ont été réalisés au cours de la mission. Il est impossible, dans le cadre limité de cette note, de faire l'étude et la description de chaque type de sol. Le tableau-légende de la carte 2 résume les caractéristiques de chaque type ou de chaque association.

Les sols proviennent en grande partie de l'altération des roches immédiatement sous-jacentes, présentes dans le Rif sous forme de marnes, de grès et surtout de flyschs. Les caractéristiques de ces sols dépendent donc beaucoup de la roche-mère dont ils proviennent : texture, réaction, fertilité, perméabilité, pierrosité, etc. Ils épousent en outre fidèlement le relief des roches sous-jacentes.

Les sols de collines sont superficiels. Ils ont été érodés et sont constitués actuellement d'une faible couche limono-caillouteuse reposant sur la roche en place. Ils ont des caractères qui dépendent intimement de la roche dont ils sont issus. Sur les roches tendres, l'épaisseur de ces sols se maintient par le labour qui attaque chaque année la pellicule supérieure de la roche en place.

En certains endroits, des dépôts de solifluxion existent, particulièrement au-dessus de 800 m et dans la région de Chaouen. Ils

(*) Les cartes 2 et 3 sont réduites ici au 1/1 000 000 pour la facilité de l'édition.

ont un relief plus calme et une pédogénèse influencée par les différents climats et végétations qu'ils ont connus depuis leur mise en place. Ces dépôts recouvrent les roches plus anciennes d'un manteau épais au relief plus doux.

Ces sols épais, plus rares, sont généralement des sols bruns, calcaires ou forestiers d'une type assez acide. Les dépôts de solifluxion sont formés de sols rubéfiés, acides, qui, lorsqu'ils ne sont pas érodés, sont parfois brunifiés sur plusieurs décimètres (sols bruns acides) comme dans la région de Kétama, soit podzolisés (red podzolic soil) sur de nombreux glaciers de Chaouen, du Jbel Outka et autres.

Les alluvions et colluvions récentes sont des régosols et ne montrent pas de différenciations de profils. Les alluvions plus anciennes ont parfois été tirsifiées (en relation avec une origine marneuse des alluvions) et souvent rubéfiées avec acidification (terrasses).

A l'approche de la Méditerranée, et particulièrement dans la région d'El Hoceima, les sols ont une morphologie semi-aride. Les croûtes calcaires se rencontrent localement.

16. *Erosion*

En ce qui concerne l'érosion, les sols du Rif occidental sont dans une très mauvaise situation à cause de leur nature souvent imperméable et du régime très défavorable des pluies. De plus ils sont souvent sur des pentes fortes ou très fortes.

Il faut ensuite ajouter que près de la moitié des sols ne sont pas sous forêts mais livrés à la culture, l'arboriculture ou occupés par des zones habitées, par les routes, les pistes, etc. et qu'en général, les fellahs prennent très peu de mesures antiérosives (comme l'utilisation du fumier améliorant la structure, les labours et cultures suivant les courbes de niveau, les terrasses diverses, etc.). Il faut en outre considérer que les maquis dégradés, protégeant très mal les sols, constituent la plus grande partie de la zone forestière.

Le pâturage intensif des troupeaux, le ramassage du bois à usage domestique, les défrichements inconsidérés, chaque année plus nombreux, ne font que dégrader une situation déjà très mauvaise.

L'érosion est partout très active lorsque la végétation est insuffisante et que les moyens antiérosifs font défaut. Il en résulte que les sols du Rif occidental sont souvent pauvres en humus, décapés chaque année d'une épaisseur plus ou moins importante et découpés par un réseau hydrographique très dense.

Les sols des collines sont ceux qui donnent le plus de débit solide aux oueds. Ils sont les plus dénudés et les plus sensibles à l'érosion (sols jeunes et bruns sur marnes, schistes, flyschs, etc.).

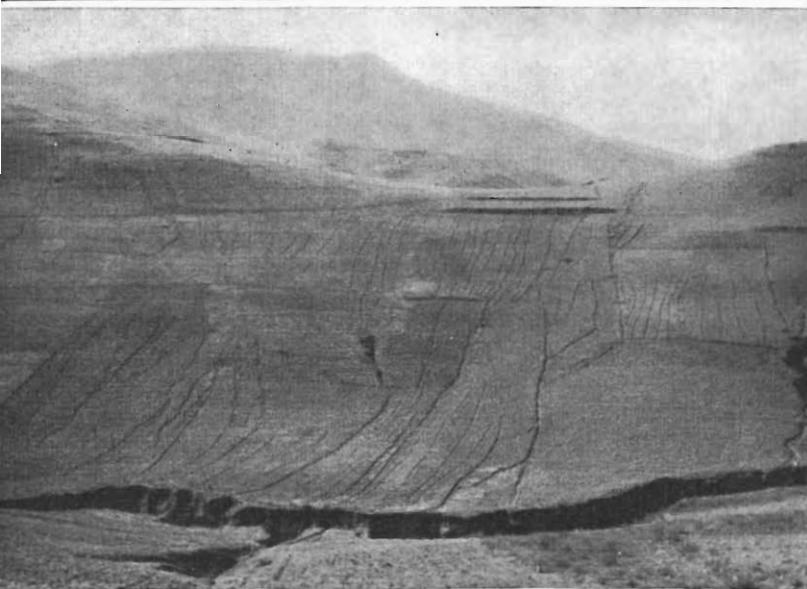


Photo 1

Erosion en ravines
dans les terrains
sous labour.



Photo 2

Bad-lands sur les
roches tendres non
protégées par la
forêt.



Photo 3

Formation de ter-
rasses par des
bandes de végéta-
tion spontanée à
la limite inférieu-
re des parcelles.

Les sols épais couverts de bonnes forêts retiennent beaucoup d'eau et perdent peu de matériaux solides (sols rubéfiés et bruns acides en altitude, sols rouges podzoliques des glaciers, etc.).

Les sols sableux ou argilo-sableux, provenant souvent de l'altération de grès, sont assez filtrants et s'érodent faiblement. La solifluxion y est très rare mais le ravinement peut, dans certains cas, être assez sévère. Par contre, les sols sur marnes et, dans une moindre mesure, ceux sur flyschs sont imperméables, solifluent facilement et se creusent rapidement en bad-lands lorsqu'une ravine entaille le sol.

Les sols à caractère semi-aride du versant méditerranéen s'érodent principalement en ravins et ravines, qui contribuent beaucoup à alimenter le débit solide des eaux fluviales.

Il découle des observations précédentes que l'intensité et les modes d'érosion varient suivant les régions et sous-régions.

Etant donné les frais élevés de la lutte contre l'érosion, il est très intéressant de chiffrer ce phénomène et ses effets, ce qui est difficile par manque d'un nombre suffisant d'observations concrètes et de données expérimentales. Pour le bassin de l'Ouerrha, le chiffre moyen des transports solides a été estimé à 4500 t/km² de bassin versant par an. Si on suppose que la pédogénèse, qui est relativement rapide sur les schistes et les marnes du Rif occidental(*), remplace le quart des matériaux ainsi perdus, et si on suppose en outre, que les chiffres du bassin versant de l'Ouerrha sont applicables pour la totalité du Rif occidental, cette érosion correspondrait à une perte théorique nette d'une pellicule uniforme de 1,5 mm sur la totalité du territoire du projet.

Dans la réalité, cette image d'une pellicule uniforme est peu utile. La contribution principale à l'apport solide provient du creusement de rigoles, ravins, ravines et entailles diverses et de l'érosion en nappe qui accompagne toujours, ainsi que du ravinement des berges des oueds, sapées par l'eau.

Tout ceci représente un arrachement total d'une petite surface de terrains agricoles ou une diminution petite mais continue en valeur productive sur une très grande surface du territoire agricole. Ceci conduit à une autre image qui est plus utile pour quantifier la valeur des dégâts dus à l'érosion. On peut égaliser les pertes réduites de fertilité sur une grande surface à la perte théorique sur la surface qui serait perdue annuellement si toutes les attaques de l'érosion se concentraient sur une partie réduite du territoire agricole d'épaisseur moyenne. Avec des hypothèses de ce genre, et

(*) Référence est faite ici non pas à la pédogénèse naturelle, qui prend toujours longtemps, mais à la pédogénèse artificielle provoquée par le labour de matériaux schisteux à la pioche ou à l'araire.

tenant compte de la pédogénèse, on peut estimer que la perte de fertilité des terrains en cultures annuelles sur une période de 25 ans, représente une moyenne annuelle de 2 % par an. Après 25 ans, la fertilité des terrains emblavés sur pentes sera donc diminuée de moitié.

17. *Activité humaine et occupation du sol*

La population s'élève à 1 250 000 habitants, soit 68/km², chiffre très élevé pour un tel pays. Elle s'accroît au rythme très rapide de 3 % l'an.

L'agriculture, principale occupation pour 80 % de la population, est du type traditionnel. L'autoconsommation est importante. Les exploitations sont très exiguës : la surface moyenne est d'environ 2,5 ha, morcelée en 10 à 30 parcelles.

L'utilisation actuelle des 1 822 000 ha du Rif occidental est indiquée en grandes lignes dans le tableau 4.

Tableau 4

Utilisation actuelle et future des terrains en grandes catégories

Catégories	Surface en ha		
	1963	1969	1989
Cultures annuelles (net)	354 000	326 000	183 000
Arboriculture fruitière (net)	78 000	91 000	212 000
Jachères	49 000	44 000	19 000
Surface non utilisée entre cultures annuelles et vergers	241 000	238 000	188 000
Total surface agricole brute	722 000	699 000	602 000
Peuplements forestiers homogènes	283 000	296 000	346 000
Maquis, parcours	634 000	640 000	664 000
Total surface forestière	917 000	936 000	1 010 000
Oueds, affleurements, bad-lands et autres terrains non agricoles	110 000	110 000	110 000
Habitations, routes, souks	73 000	77 000	100 000
Total général	1 822 000	1 822 000	1 822 000

De la surface agricole, seulement 8000 ha environ sont irrigués.

Parmi les cultures annuelles, les céréales dominent largement. L'orge, le blé dur et le sorgho occupent les surfaces les plus grandes. Les rendements ne sont que de 5 quintaux par ha en moyenne.

Les arbres fruitiers les plus importants, en ordre décroissant de leur contribution aux revenus, sont les oliviers (3 600 000 arbres, soit 36 000 ha « nets »), les figuiers (3 900 000 arbres, soit 26 000 ha

« nets »), les vignes (10 000 ha « nets ») et les amandiers (3 000 ha « nets »). Les rendements de ces arbres sont égaux ou supérieurs à la moyenne du Maroc, sauf pour les vignes, qui sont en pleine dégradation.

La plus grande partie de la surface forestière est couverte de maquis plus ou moins dégradés. Il y a environ 280 000 ha de peuplements homogènes. Le chêne-liège couvre environ 130 000 ha, le chêne-vert 63 000 ha. Au-dessus de 1300 m, on trouve une surface de 24 000 ha de cédraies.

Le revenu agricole total de la région est estimé pour 1963 à 24 400 000 \$, dont 55 % proviennent des cultures annuelles, 16 % des arbres fruitiers et 29 % de l'élevage. L'importance des arbres fruitiers est supérieure à ce que font apparaître ces chiffres : ils constituent la principale source de revenus en argent. Le revenu agricole moyen par foyer rural, en 1963, y compris l'autoconsommation, est estimé à 125 \$, le revenu non agricole à 30 \$, ce qui fait donc un revenu total moyen de 155 \$ par foyer rural, ne permettant qu'un niveau de vie très bas à une famille de 5-6 personnes.

2. Principaux problèmes de la région

A la suite de ce qui vient d'être dit, il apparaît que les principaux problèmes de la région sont :

- l'érosion accélérée,
- l'exiguïté des exploitations agricoles,
- les techniques archaïques,
- la pression démographique,
- les revenus bas et en baisse.

Normalement, les trois quarts de ces montagnards devraient émigrer vers d'autres régions ou dans les villes, mais ni les plaines, ni les villes du Maroc ne peuvent absorber un tel exode rural dans les 20 ans à venir. Une solution aussi bonne que possible doit donc être trouvée sur place.

Le potentiel agricole de la région est limité à plusieurs points de vue. Le relief et le danger de l'érosion exigent la réduction de la surface labourée et également des effectifs du cheptel, surtout sur les pentes raides.

Les possibilités d'augmenter les surfaces irriguées sont très restreintes pour les petits périmètres de montagnes. Les plaines limitrophes de la région ont des possibilités plus importantes, mais dont les perspectives n'auront qu'un effet essentiellement local et à travers des études complémentaires d'ouvrages et de mise en valeur.

Un vaste programme de reboisement peut être mis sur pied.



Photo 4

Après la moisson, pendant la période sèche estivale, les troupeaux cherchent une alimentation limitée dans les chaumes.



Photo 5

Dans les défrichements abandonnés, la vaine pâture des troupeaux de chèvres vagabondes empêche la régénération du maquis et accentue l'érosion.

Mais son action est lente et malheureusement l'effort de boisement que peut consentir le Maroc pour le Rif occidental ne peut porter que sur 3 000 ha annuellement. A ce rythme, il faudra plusieurs siècles pour boiser tous les terrains qui devraient l'être.

Les débouchés locaux et nationaux sont suffisants pour absorber l'augmentation prévisible de la production de céréales et d'autres cultures annuelles traditionnelles. Pour les fruits arboricoles, le potentiel de production est si élevé que les exportations seront nécessaires dans l'avenir, notamment pour l'huile d'olives et les amandes. L'écoulement des produits forestiers n'offre aucun problème.

3. Classification des terrains dans le cadre de la lutte contre l'érosion

L'analyse des problèmes montre que la conservation des sols est extrêmement urgente et doit avoir une priorité élevée.

Les solutions à envisager doivent réunir plusieurs qualités :

- elles doivent être applicables rapidement et à grande échelle,
- elles ne peuvent pas être trop chères,
- elles doivent être acceptables pour les agriculteurs intéressés,
- elles ne peuvent pas demander trop de cadres techniques.

Le programme suggéré s'efforce de répondre autant que possible à ces quatre critères. Deux complexes de mesures sont proposés :

- une modification profonde de l'utilisation actuelle des terrains,
- un complexe de travaux de défense et de restauration des sols (D.R.S.).

C'est le premier point qui nous intéresse ici.

Un système de lutte efficace contre l'érosion est le boisement des maquis dégradés et des cultures abusives sur pente trop forte. Nous avons vu qu'on ne pouvait guère penser à ce moyen à cause de sa lenteur. De plus la forêt fournit peu de revenus aux habitants du pays.

Pour ces terrains, il semble que la seule solution sage soit la « mise en défens » avec réglementation du pâturage. Ainsi une végétation naturelle, de très faible valeur, mais rapidement efficace, se développera progressivement.

Le principal effort doit plutôt porter sur les terrains agricoles où l'érosion est très active. Les méthodes de lutte antiérosive y seront d'autant plus intensives que la pente est forte. Il est donc important de connaître la superficie du secteur agricole par catégories de pentes (tableau 5).

Tableau 5

Répartition de l'utilisation actuelle des terrains selon les catégories de pentes

Catégories de pentes	Superficie du Rif occidental estimée dans chaque cat. de pentes(*)		Superficie des villes, villages, routes, pistes, oueds, affleurements, en milliers d'ha	Badlands en milliers d'ha	Reste : Col. (3) moins Col. (4)+(5) en milliers d'ha	Superficie estimée du secteur agricole		
	%	milliers d'ha				en % de (6)	en milliers d'ha	en % du total (8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0 — 5 %	7	127	35	—	92	90	83	11
5 — 12 %	9	164	28	1	135	85	114	16
12 — 25 %	17	310	36	3	271	70	190	26
25 — 35 %	18	328	25	3	300	52	156	22
35 — 50 %	21	383	26	4	353	30	106	15
>50 %	28	510	15	7	488	15	73	10
Total	100	1822	165	18	1639	—	722	100

(*) Repris du tableau 1.

Les deux limites les plus importantes entre les catégories de pentes sont celles de 25 % et de 50 %. Sauf dans des cas exceptionnels, où d'autres facteurs (propriétés physiques des sols, pierrosité, etc.) viennent en premier lieu, les terrains avec pente au-dessus de 25 % ne sont pas aptes aux cultures annuelles (cultures annuelles abusives). Au-dessus de 50 % de pente, toutes les activités agricoles, y compris l'arboriculture doivent disparaître (arboriculture abusive), sauf dans les cas exceptionnels.

Voyons donc comment se répartissent les cultures annuelles et l'arboriculture suivant les catégories de pentes. Nous pourrions ainsi en déduire la superficie des cultures abusives (tableau 6).



Photo 6

Lit de rivière encombré par les dépôts solides.

Tableau 6

Estimation des cultures annuelles et de l'arboriculture abusives, selon les catégories de pentes

Catégories de pentes	Superficie agricole estimée en milliers d'ha (*)	Cultures annuelles + jachères		Arbres fruitiers en milliers d'ha	Cultures abusives	
		en % de (2)	en milliers d'ha (4)		Cultures annuelles et jachères en milliers d'ha (6)	Arbres fruitiers en milliers d'ha (7)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
0 — 5 %	83	95	79	4	0	0
5 — 12 %	114	90	103	11	0	0
12 — 25 %	190	80	152	38	0	0
25 — 35 %	156	65	101	55	101	0
35 — 50 %	106	40	42	64	42	0
>50 %	73	20	15	58	15	58
Total	722	—	492	230	158	58

(*) Colonne (8) du tableau 5.

Le total des cultures abusives est ainsi estimé à 216 000 ha, dont 158 000 ha de cultures annuelles abusives et 58 000 ha d'arboriculture abusive. L'existence de ces surfaces est un des facteurs importants qui contribuent à la gravité de l'érosion.

4. Les travaux proposés

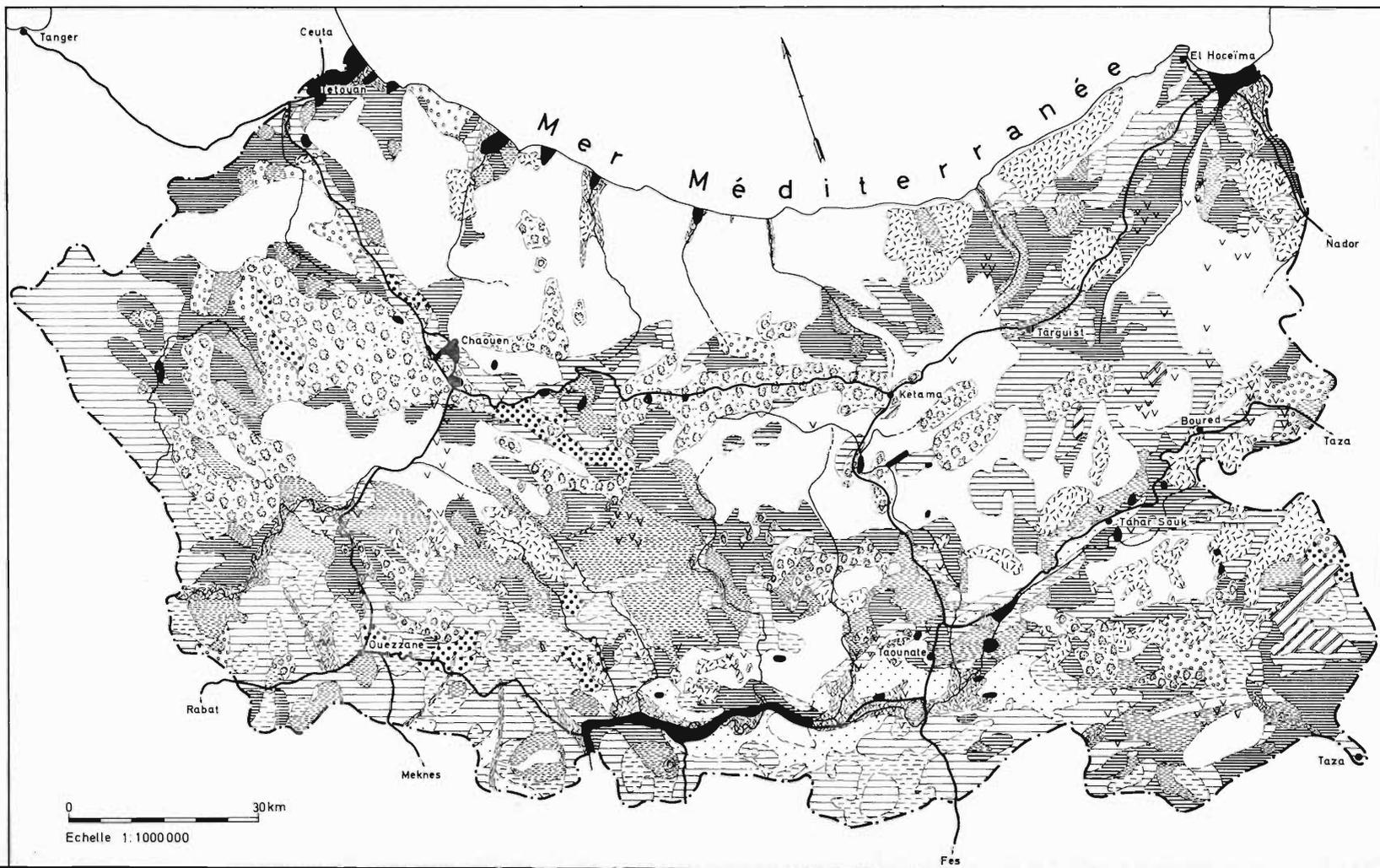
C'est donc en fonction de l'utilisation actuelle des terrains et du pourcentage de pente que les différents travaux de lutte antiérosive et d'intensification de l'agriculture ont été proposés (carte 3).

Sur les pentes inférieures à 5 % il n'est rien envisagé. La culture et l'arboriculture existantes persisteront. On veillera seulement à leur assurer un plus haut rendement. Les dégâts de l'érosion sont jugés trop faibles pour que des techniques spéciales y soient entreprises.

Photo 7

Plantation forestière sur gradins forestiers.







Forêts de conservation.



Terrains à boiser (ou à livrer au pâturage contrôlé), pente supérieure à 50%.



Maquis à boiser (ou à livrer au pâturage contrôlé), pente de 25-50%.



Arboriculture existante (très souvent avec culture) à mettre en DRS(*) avec culture interbanquette, pente de 5-25%.



Idem, altitude supérieure à 1000 m.



Arboriculture existante à mettre en DRS arboricole ou en verger incomplet avec culture temporaire, pente de 25-50%.



Idem, altitude supérieure à 1000 m.



Cultures existantes à mettre en DRS sans arboriculture (texture très lourde), pente de 5-25%.



Cultures existantes à mettre en DRS avec culture interbanquette, pente de 5-25%.



Cultures existantes à mettre en DRS arboricole ou en verger incomplet avec culture temporaire, pente de 25-50%.



Cultures existantes à laisser en cultures avec très souvent possibilité d'irrigation, pente de 0-5%.



Zones actuellement irriguées.



Terrains à défricher et à mettre en DRS arboricole avec culture interbanquette, pente de 5-25%.



Vignoble reconstitué.

(*) DRS : système antiérosif appelé au Maroc : Défense et Restauration des Sols.

Sur les pentes de 5-12 %, il est proposé de faire des banquettes céréalières entièrement cultivables ou des terrassements fruitiers espacés dans les zones agricoles. Les vergers existants seront complétés et la lutte antiérosive s'y fera par le creusement d'un impluvium au pied de chaque arbre.

Sur les pentes de 12-25 %, les banquettes fruitières avec cultures interbanquettes couvriront toute la surface agricole actuelle. Les vergers existants seront complétés avec les systèmes de lutte antiérosive adéquats.

Sur les pentes de 25-50 %, la culture doit disparaître. Elle sera remplacée par des plantations d'arbres fruitiers sans terrassements antiérosifs, car ces terrassements coûtent trop cher. Aussi est-il proposé de les remplacer sur ces pentes par des bandes arboricoles séparées par des bandes assez larges de végétation naturelle, qui pourront dans la suite subir un pâturage réglementé.

Sur les pentes supérieures à 50 %, seul le pâturage réglementé peut subsister de façon qu'une végétation naturelle protectrice s'installe et se maintienne.

Enfin des travaux de correction de torrents et ravins et de stabilisation des bad-lands doivent être entrepris partout où les dégâts causés au territoire en aval le justifient.

Ces propositions très simples appellent quelques considérations.

- 1) Partout où les pierres abondent (sols sur calcaires durs, sols rouges podzoliques des glacis, etc.) elles seront utilisées pour confectionner des croissants de pierre au pied des arbres fruitiers ou des cordons parallèles aux courbes de niveau. Ceci afin d'éviter autant que possible les travaux de terrassement qui coûtent cher.
- 2) Une place très importante est donnée au procédé nouveau de bandes de végétation naturelle entre bandes arboricoles sur les pentes de 25-50 %. C'est parce que cette méthode coûte moins cher que les banquettes, est techniquement efficace et demande peu de cadres techniques qu'elle a été préconisée.
- 3) Ces propositions, tout en maintenant autant que possible l'utilisation actuelle des terrains, exigent cependant un profond remaniement dans la distribution des terres cultivées. Elles doivent donc être acceptées par les agriculteurs. Il est heureux qu'il soit possible de combiner presque partout la plantation d'arbres fruitiers avec les mesures antiérosives, car l'expérience a montré que les agriculteurs désirent accroître le nombre de leurs arbres fruitiers.
- 4) Il est prévu de tolérer la céréaliculture intercalaire sous les jeunes arbres entre les bandes de végétation naturelle durant la période transitoire jusqu'à la mise à fruit des arbres fruitiers. Cette pratique retardera la pleine efficacité des mesures antiérosives d'un

Photo 8

Vergers d'oliviers avec vignobles détériorés, sur pente supérieure à 50%, qui doit être remplacé par la forêt ou au moins par la végétation naturelle avec pâturage contrôlé.



Photo 9

Vergers traditionnels de figuiers sur pente de 12-25%; il peut être amélioré par la mise à densité normale, choix de meilleures variétés, la construction d'un impluvium au pied de chaque arbre, etc.

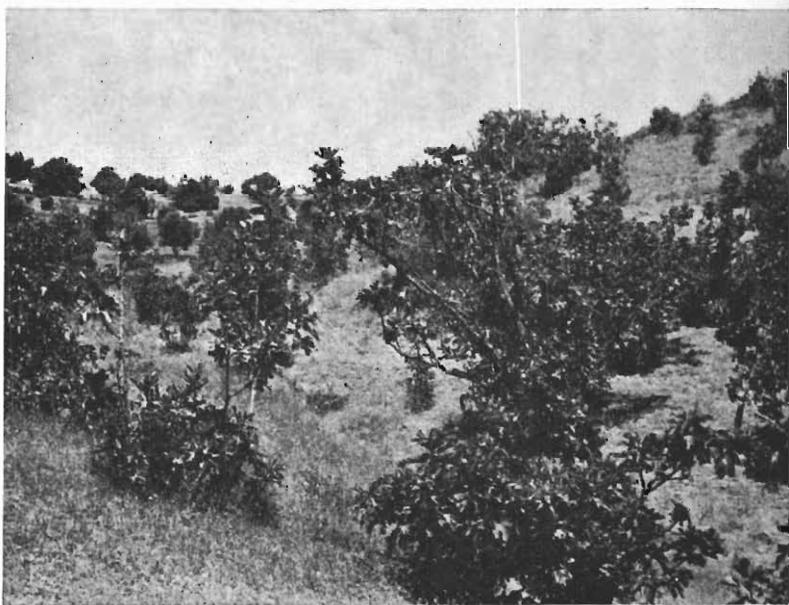


Photo 10

Vergers d'oliviers traditionnels et jeune verger moderne avec banquettes antiérosives.



bon nombre d'années, mais rendra ces mesures beaucoup plus acceptables pour l'agriculteur, tout en évitant la nécessité pour l'Etat de payer des indemnités onéreuses.

5) La structure foncière peut présenter des difficultés à l'établissement de ce vaste programme de reconversion. Heureusement le faire-valoir direct est la règle dans le Rif occidental. Des indemnités doivent être prévues pour les cas exceptionnels, mais il est conseillé de ne pas attendre un remboursement officiel qui prendrait trop de temps, au cas favorable où on le déciderait.

6) Des propositions institutionnelles comprennent la création de périmètres obligatoires, une activité intense de persuasion de la part des services agricoles et la pression morale des autorités civiles.

7) La participation des agriculteurs intéressés comme main-d'œuvre aux travaux d'aménagement est essentielle avec diverses formes de paiement et de remboursement.

5. Conclusions

La détermination de la vocation des terrains dans le Rif occidental a tenu compte de nombreux éléments parmi lesquels il faut citer :

- le budget forcément limité que le Gouvernement du Maroc peut consacrer à cette région, même s'il lui donne une certaine priorité,
- le besoin d'intervenir rapidement,
- la pénurie de cadres techniques de tous niveaux,
- la très faible technicité des cultivateurs,
- l'abondance de la main-d'œuvre,
- l'impossibilité de boiser en masse.

Il était donc nécessaire de s'appuyer sur une classification très simple que de jeunes techniciens marocains pouvaient appliquer facilement, sans beaucoup de connaissances techniques. Elle devait permettre de faire un tri rapide des terrains où il était urgent d'intervenir, tant pour lutter contre l'érosion que pour améliorer l'agriculture, principale source de revenus des nombreux habitants du Rif occidental.

Le système proposé, tout en conservant autant que possible l'utilisation actuelle des terrains, propose de concentrer les efforts sur les terrains où l'arboriculture et l'agriculture sont abusives et où l'érosion est la plus pernicieuse, c'est-à-dire les terrains en pente trop forte et utilisés par l'agriculture en général.

Les travaux préconisés peuvent être résumés de la manière suivante :

- protection de la forêt actuelle,
- mise en défens et pâturage contrôlé des maquis et de tous les terrains dont la pente est supérieure à 50 %,
- lutte antiérosive sur les terrains agricoles dont la pente varie de 5 à 50 %, avec création de vergers associés à la culture sur les pentes de 12-25 % et à des bandes de végétation naturelle sur les pentes de 25-50 %.

Dans ce canevas de grande classification interviennent les données pédologiques dont les principales sont :

- sur les sols suffisamment caillouteux, les pierres sont rassemblées en cordons et croissants de pierre pour remplacer les terrassements plus onéreux,
- sur les sols très lourds (argiles tortoniennes), où les oliviers et figuiers donnent de très mauvais résultats, il est proposé de s'abstenir autant que possible de la plantation d'arbres fruitiers ou de rechercher des espèces adaptées à ces terres très lourdes (mûriers, etc.),
- détermination des sols calcaires et acides pour le choix des engrais, des espèces forestières ou fruitières à installer, etc.

D'autres données, telles les données climatiques (humidité de l'air vers l'Atlantique, froid en altitude), influencent également le choix des techniques et surtout des variétés d'arbres.

BIBLIOGRAPHIE

1. **F. A. O.** — Le Développement Economique Rural du Rif Occidental — Rapport final de la mission D.E.R.R.O.
2. Ministère de l'Agriculture. Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural — Le Rif Agricole. Rabat, 1960.
3. **Baudet & Maurer** — Etude des Travaux de D.R.S. dans les Régions Argileuses du Maroc — Revue de Géographie du Maroc n^{os} 1 et 2. Rabat, 1962.
4. **Gilbert J. P.** — Les Milieux et les Sols du Nord-Ouest du Maroc — Station Centrale d'Ecologie, Direction de la Recherche Agronomique et de l'Enseignement Agricole. Rabat, 1960.
5. **Joly F.** — Atlas du Maroc — Une Carte au 1/1 000 000 de l'Utilisation du Sol au Maroc — Ecole du Livre, Rabat, 1960.
6. **Quaix H.** — Les Sols du Rif Central et Oriental — Station Centrale d'Ecologie, Direction de la Recherche Agronomique et de l'Enseignement Agricole. Rabat, 1960.

Vocation des terrains dans le cadre du développement économique et rural du Rif occidental au Maroc

Résumé

Le Rif occidental est une région montagneuse très peuplée. Le régime des pluies est très défavorable et l'érosion est fort active. Il y a peu de ressources en dehors de l'agriculture. Le principal et quasi unique moyen de développer la région est l'amélioration de l'agriculture traditionnelle dans le cadre d'un vaste programme de lutte contre l'érosion.

Etant donné que les ressources en argent et en cadre technique du Maroc sont très limitées, on ne peut guère songer à lutter contre l'érosion que dans les terres agricoles où l'érosion est la plus active.

Le reboisement de centaines de milliers d'ha de maquis et de terres agricoles sur pente très forte est trop lent. Aussi, bien qu'un programme de plantations forestières (± 3000 ha par an) soit prévu, ces terrains devront seulement être mis en défens afin de favoriser la couverture de végétation naturelle.

De profonds changements dans l'utilisation des terres agricoles sont proposés suivant les pourcentages de pentes (sauf cas exceptionnels dictés par la pédologie ou d'autres facteurs) :

0- 5 % : aucune lutte antiérosive n'est préconisée;

5-12 % : banquettes céréalières entièrement cultivables ou des terrassements fruitiers espacés; les vergers existants sont complétés et traités par des procédés de lutte antiérosive;

12-25 % : banquettes fruitières avec cultures interbanquettes sur toute la surface agricole actuelle; les vergers existants sont complétés et traités par des procédés de lutte antiérosive;

25-50 % : l'agriculture doit disparaître et être remplacée par des plantations d'arbres fruitiers sans terrassements, mais disposés en bandes arboricoles séparées par des bandes de végétation naturelle;

>50 % : seul le pâturage réglementé peut subsister, de façon qu'une végétation naturelle s'installe et se maintienne.

Geschiedenis van de gronden in het kader van de economische en landbouwkundige ontwikkeling van de westelijke Rif in Marokko

Samenvatting

De westelijke Rif is een sterk bevolkte, bergachtige streek. De neerslagverdeling is er zeer ongunstig en de erosie zeer actief. Buiten de landbouw zijn er weinig mogelijkheden. Het voornaamste en nagenoeg enige middel tot ontwikkeling van de streek is de verbetering van de traditionele landbouw, in het kader van een grootscheeps programma ter bestrijding van de erosie.

Gezien de geldmiddelen en de technische kaders in Marokko zeer beperkt zijn, moet men de erosiebestrijding limiteren tot de landbouwgronden waar de erosie het meest actief is.

De herbebossing van duizenden ha kreupelhout (« maquis ») en landbouwgronden op sterke hellingen is te traag. Niettegenstaande een programma van ca. 3000 ha/jaar bossing voorzien is, moeten deze terreinen daarom

voorlopig buiten gebruik gesteld worden, ten einde de bedekking door de natuurlijke vegetatie te bevorderen.

Diepgaande wijzigingen in het gebruik van de landbouwgronden worden voorgesteld volgens de graad van de hellingen (behalve in uitzonderlijke gevallen te wijten aan bodemkundige of andere factoren) :

0- 5 % : hier wordt geen erosiebestrijding voorgesteld;

5-12 % : bewerking van smalle graanterrassen of aanleg van boomgaardterrassen op bepaalde afstanden van mekaar; de bestaande boomgaarden worden aangevuld en behandeld met anti-erosieve technieken;

12-25 % : smalle boomgaardterrassen met tussenliggende graanstroken over gans de huidige landbouwoppervlakte; de bestaande boomgaarden worden aangevuld en behandeld met anti-erosieve technieken;

25-50 % : de landbouw moet opgegeven en vervangen worden door fruit-boomaanplantingen zonder terrasserings, maar aangelegd in stroken met ertussen stroken natuurlijke vegetatie;

>50 % : alleen de gereguleerde begrazing mag geduld worden, zodat de natuurlijke vegetatie zich kan hervatten en in stand houden.

Suitability of the soils in connection with the economical and rural development of the western Rif in Morocco

Summary

The western Rif is a densely populated, mountainous region. The rainfall distribution is very unfavourable and the erosion very active. Besides agriculture there are few resources. The principal and almost only possibility to develop this country is to improve the traditional agriculture within a large-scale program of erosion control.

The financial resources and the technical personnel being very limited, one can only think of erosion control on those agricultural surfaces where the erosion is most active.

The reforestation of hundreds of thousands of hectares of shrubland (« maquis ») and of agricultural land on very steep slopes is too slow. Therefore, although a program of reforestation (3000 ha/year) has been planned, those lands should be kept out of use in order to favour the natural vegetation cover.

Profound changes in the use of the agricultural land are proposed, according to the slope percentage (but exceptional cases dictated by pedological or other factors) :

0- 5 % : no erosion control is preconized;

5-12 % : cultivated cereal benches or spaced terraces with fruit trees; the existing orchards are completed and treated with erosion control techniques;

12-25 % : fruit benches with in between crops on the whole actual agricultural surface; the existing orchards are completed and treated with erosion control techniques;

25-50 % : agriculture must be given up and be replaced by fruit trees without terracing, but in strips separated by strips with natural vegetation;

>50 % : only regulated grazing may subsist, so that a natural vegetation can start and maintain itself.

Eignung der Böden im Rahmen der ökonomischen und landwirtschaftlichen Entwicklung des westlichen Rifs in Marokko

Zusammenfassung

Der westliche Rif ist ein dicht besiedeltes, bergiges Gebiet. Die Verteilung der Niederschläge ist sehr ungünstig und die Erosion sehr aktiv. Außerhalb der Landwirtschaft gibt es nur wenig Möglichkeiten. Das besondere und nahezu einzige Mittel zur Entwicklung dieses Gebietes ist die Verbesserung der traditionellen Landwirtschaft im Rahmen eines großartigen Programms zur Bekämpfung der Erosion.

Da es an Geldmitteln und an technischem Personal mangelt, kann man nur eine Bekämpfung der Erosion derjenigen landwirtschaftlich genutzten Böden, wo die Erosion am meisten aktiv ist, in Erwägung ziehen.

Die Aufforstung von hunderdtausenden ha « maquis » und von landwirtschaftlich genutzten Böden an sehr steilen Hängen ist zu langsam. Obwohl ein Aufforstungsprogramm von ungefähr 3000 ha/Jahr vorgesehen ist, müssen jedoch diese Flächen aus der Nutzung genommen werden, um so die natürliche Vegetationsdecke zu fördern.

Einschneidende Änderungen in der Benutzung von landwirtschaftlichen Flächen werden vorgeschlagen je nach dem Gefälle der Hänge (mit Ausnahme von Sonderfällen aus bodenkundlichen oder anderen Gründen) :

0- 5 % : keine Erosionsbekämpfung wird vorgeschlagen;

5-12 % : Anlage von schmalen Terrassen mit Getreide oder terrassierte Baumgärten; die bestehenden Baumgärten werden aufgefüllt und mit Mitteln der Erosionsbekämpfung behandelt;

12-25 % : schmale Obstbaumterrassen mit eingeschalteten Kulturen auf der ganzen landwirtschaftlich genutzten Fläche; die bestehenden Baumgärten werden aufgefüllt und mit Mitteln der Erosionsbekämpfung behandelt;

25-50 % : die Landwirtschaft muß aufgegeben werden und durch Obstbaumanlagen ohne Terrassierung, sondern durch solche in Streifenanlagen getrennt durch Streifen mit natürlicher Vegetation, ersetzt werden;

>50 % : nur geordnete Beweidung kann geduldet werden, sodaß sich eine natürliche Vegetation bilden und halten kann.

ÉVOLUTION DES FRACTIONS ARGILEUSES DANS UNE TOPOSÉQUENCE DU BURUNDI COMPARAISON AVEC LES CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES DES HORIZONS B

A. J. HERBILLON, R. FRANKART, L. VIELVOYE

Laboratoire de Physico-Chimie Minérale
Institut Agronomique
Heverlee

SOMMAIRE

Introduction

1. Description de la caténa
2. Méthodes expérimentales
 21. Analyses granulométriques
 22. Analyses chimiques
 23. Extraction et dosage des constituants amorphes siliciques, aluminiques et ferriques
 24. Diffractions des R-X
3. Résultats expérimentaux
 31. Analyses granulométriques
 32. Analyses chimiques
 33. Extraction des substances minérales amorphes
 34. Diffractions des R-X
4. Discussion des résultats

Bibliographie

Résumé — Samenvatting — Summary — Zusammenfassung

A. J. Herbillon : Premier Assistant au Musée Royal d'Afrique Centrale.

R. Frankart : Maître de Conférences au Centre d'Etudes des Sols Tropicaux de l'Université de Louvain.

L. Vielvoye : Maître Préparateur au Musée Royal d'Afrique Centrale.

Introduction

La classification belge des sols développés en zone intertropicale (Sys, 1961) fait intervenir comme critère distinctif au niveau des grands groupes la présence d'horizons B diagnostiques : l'horizon B structural et l'horizon B de consistance.

L'horizon B structural des ferrisols est caractérisé par une structure polyédrique bien développée et par la présence de revêtements argileux sur la plupart des faces des agrégats.

En l'absence de ces revêtements, l'horizon situé entre 40 et 80 cm de profondeur montre un meilleur développement structural que l'horizon sous-jacent. Il est appelé horizon B de consistance et est diagnostique pour le grand groupe des ferrisols.

Morphologiquement, l'horizon B structural s'apparente à l'« argillic horizon » de la classification américaine (U.S.D.A., 1960 et 1964); cependant, il ne semble pas rencontrer les exigences texturales que les pédologues américains ont définies pour cet horizon.

La nature des revêtements du B structural n'est pas connue. D'HOORE (1964) qui retient le grand groupe des ferrisols tel que défini par Sys comme unité cartographique de sa carte des sols d'Afrique, suggère que les faces brillantes des agrégats structuraux du ferrisol ne seraient pas nécessairement de vrais « clay skins » et que l'aspect brillant de ces agrégats pourrait être lié à la présence de gels mixtes alumino-siliciques dans la fraction fine.

Nous avons eu l'occasion d'observer au Burundi et au Rwanda (FRANKART *et alii*, 1962, 1963 a et b) de nombreuses toposéquences où les sols présentent le passage progressif de l'horizon B structural à l'horizon B de consistance. Dans ces terrains métamorphiques et accidentés, il existe une corrélation évidente entre le degré de réjuvenation du profil, la quantité de minéraux micacés présents dans la fraction sableuse et la présence de l'horizon B structural.

La présente étude sera consacrée à l'inventaire chimique et minéralogique des fractions fines d'une caténa typique.

Ses résultats seront discutés en vue de préciser les relations existant entre l'aspect morphologique et la nature des fractions fines des horizons B structuraux et de consistance.

1. Description de la caténa

La figure 1 représente le « bloc diagramme » de la caténa de Niakisozi qui se situe à la frontière septentrionale du Burundi, à proximité du lac Rugwero.

Cette caténa se développe dans un dépôt de piedmont adossé à un versant abrupt où affleurent les schistes micacés. Ce versant lithosolique est coiffé d'un niveau cuirassé situé quelque 250 m plus haut que le niveau de base actuel.

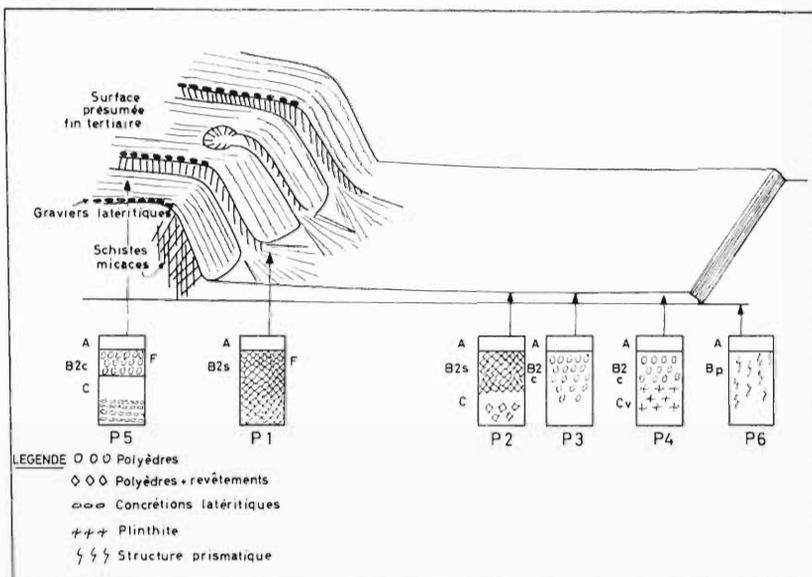


Fig. 1

Bloc diagramme de la caténa de Niakisozi.

Quatre profils constituant la caténa proprement dite ont été échantillonnés dans le dépôt de piedmont. A titre de référence nous avons également prélevé deux autres profils, l'un au niveau de l'ancienne surface pénéplanée, l'autre dans une dépression qui est séparée du réseau hydrographique actuel par une digue naturelle et qui ne communique que sporadiquement avec ce réseau. On peut voir en médaillon à la figure 1 les principales caractéristiques morphologiques de chacun de ces profils : nous allons les expliciter brièvement ci-dessous.

Le profil 1, développé dans des matériaux arrachés récemment au versant rocheux et, dans une moindre mesure, aux sols situés au-dessus de la cuirasse, montre un excellent développement structural de l'horizon B qui se prolonge jusqu'à 120 cm de profondeur; les agrégats polyédriques de cet horizon sont recouverts de revêtements continus et colorés. Le profil, situé au centre d'un cône de déjection, jouit d'un bon drainage.

Dans le profil 2 situé en contrebas, les revêtements sont limités aux 40-50 premiers centimètres. Ce sol, moins réjuvéni que le précédent, est également bien drainé latéralement et verticalement.

Le profil 3 a été prélevé à l'endroit où la pente du piedmont devient imperceptible : il possède un horizon B de consistance présentant encore une bonne structure polyédrique et quelques

rares revêtements. Le drainage interne est bon, tandis que le drainage externe est lent.

Le profil 4 a été creusé sur la terrasse récente. Il montre sous l'horizon B de consistance un horizon plinthite contenant quelques débris de roches micacées altérées. Son drainage interne est freiné par l'horizon plinthite où la nappe phréatique vient battre occasionnellement; la pente nulle s'oppose à l'écoulement normal des eaux météoriques.

Notons encore la position et les caractéristiques morphologiques des deux sols de référence : le profil 5 situé au-dessus d'un niveau cuirassé ancien est un ferralsol typique, tandis que le profil 6 situé dans la cuvette endoréique montre un début de développement de structure prismatique caractéristique des argiles noires tropicales (vertisols).

Les échantillons étudiés appartiennent aux horizons B des quatre profils de la caténa.

2. Méthodes expérimentales

21. *Analyses granulométriques*

Une première séparation granulométrique est effectuée par la méthode de sédimentation en vase d'Atterberg après mise en suspension des argiles à pH 9 par Na_2CO_3 dilué. La suspension ainsi obtenue est portée à 1 g/litre, puis séparée quantitativement à la centrifugeuse Serval type SS3 pour obtenir 3 fractions de diamètres équivalents, respectivement compris entre 2 et 1 μ , 1 et 0,2 μ et inférieurs à 0,2 μ .

22. *Analyses chimiques*

Sur chacune des fractions granulométriques ainsi obtenues l'analyse chimique totale est effectuée par double fusion alcaline et fluorhydrique. La silice, l'alumine, le fer ferrique, le potassium, le sodium et le calcium sont déterminés; la perte au feu à 1000°C fournit le contenu en eau de constitution.

23. *Extraction et dosage des constituants amorphes siliciques, aluminiques et ferriques*

Nous avons utilisé la méthode d'extraction sélective des substances amorphes minérales décrite par HERBILLON & TRAN VINH AN (1964). Celle-ci est conforme aux règles de la cinétique formelle de dissolution des solides (GASTUCHE, DELMON & VIELVOYE, 1960) et consiste dans une succession d'attaques par des acides et des bases très concentrés à froid. Comme les échantillons étudiés ne contiennent pas d'oxyde de fer, ni d'oxyde d'aluminium cristallisés,

une seule attaque acide par HCl concentré pendant 2 h à la température ambiante est suffisante pour extraire le fer libre et une partie de la silice et de l'alumine. Cette première attaque acide est suivie de la dissolution de la silice et de l'alumine amorphes résiduelles par NaOH 10 N pendant 4 h. Les extractions obtenues par ces deux traitements sont cumulées.

24. Diffraction des R-X

Avant et après l'extraction sélective des substances amorphes, chaque échantillon est soumis à la diffraction des R-X dans un appareil Philips, utilisant la radiation $K\alpha$ du cuivre filtrée par le nickel.

Les conditions opératoires sont les suivantes : 10 mg d'échantillon en suspension sont séchés sur une surface de 100 mm²; ils sont ensuite introduits dans le diffractomètre, opérant aux conditions suivantes : vitesse de balayage : $1/2^\circ/2 \theta$ minutes; rate meter : 4; constante de temps : 8; multiplicateur : 1.

Sur ces diagrammes nous avons estimé l'intensité des réflexions 001 de la kaolinite et des minéraux micacés, en mesurant le rapport entre la hauteur des pics et leur largeur à mi-hauteur.

3. Résultats expérimentaux

31. Analyses granulométriques

La répartition des sables moyens et fins dans les quatre profils permet de considérer le matériau parental comme homogène. La teneur en limon évolue parallèlement à la disparition des revêtements argileux sur les agrégats des horizons B comme le montre le tableau 1.

Tableau 1

Teneurs en limon fin et en argile (en % de la terre entière) et résultats de l'analyse granulométrique de la fraction argileuse (en % de la fraction argileuse) des horizons B de la caténa

Fraction granulométrique	Ferrisols		Ferralsols	
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
2-20 μ	13	10	6	6
0-2 μ	50	53	45	64
1-2 μ	81,5	16,5	13,1	15,4
0,2-1 μ	13,3	35,1	54,6	47,6
< 0,2 μ	5,6	48,4	32,7	37

On observe aussi que, parallèlement à la disparition des revêtements, la teneur en argile grossière (1-2 μ) diminue. Pour les deux autres fractions granulométriques, on constate un accroissement important en passant du profil 1 au profil 2, puis les valeurs obtenues plafonnent.

32. Analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques totales de chacune des fractions granulométriques sont consignés au tableau 2 qui donne les rapports moléculaires silice-alumine (R.M.) et les pourcentages en K_2O .

Tableau 2

Rapports moléculaires SiO_2/Al_2O_3 et % en K_2O des différentes fractions granulométriques

Fraction granulométrique	Ferrisols				Ferralsols			
	Profil 1		Profil 2		Profil 3		Profil 4	
	R.M.	K_2O	R.M.	K_2O	R.M.	K_2O	R.M.	K_2O
1-2 μ	1,9	4,1	2,2	3,2	2,2	2,9	1,7	2,7
1-0,2 μ	1,8	3,8	2,0	2,7	2,0	2,4	1,6	3,2
< 0,2 μ	1,8	1,7	2,0	1,4	2,0	1,3	1,6	1,7

Il n'y a pas de corrélation entre la valeur du rapport moléculaire et la teneur en K_2O de l'échantillon. Ceci n'est pas étonnant si l'on se souvient que le réseau des micas peut contenir en position tétraédrique de l'aluminium en quantités variables mais toujours importantes. Par ailleurs, la teneur en K_2O diminue régulièrement avec le diamètre de la fraction granulométrique. Au sein de la fraction grossière (1-2 μ) la teneur en K_2O diminue également parallèlement à la disparition des revêtements sur les agrégats de l'horizon B.

33. Extraction des substances minérales amorphes

Nous avons vérifié que les dissolutions par HCl concentré et par NaOH 10 N n'affectaient que très peu le contenu en potassium de l'argile soumise à ce traitement. Le potassium n'entre donc pas dans la constitution des substances amorphes dissoutes sélectivement. Ces dernières sont composées essentiellement de silice, d'alumine et d'oxydes de fer, comme le montrent les résultats cumulés des deux extractions rapportés au tableau 3.

Pour la silice et l'alumine, les quantités extraites décroissent

Tableau 3

Caractéristiques des matériaux amorphes extraits

	Ferrisols						Ferralsols					
	Profil 1			Profil 2			Profil 3			Profil 4		
	1-2 μ	0,2-1 μ	<0,2 μ	1-2 μ	0,2-1 μ	<0,2 μ	1-2 μ	0,2-1 μ	<0,2 μ	1-2 μ	0,2-1 μ	<0,2 μ
a) Teneur en SiO ₂ amorphe (% de la fraction argileuse)	2,4	3,4	7,0	2,4	3,1	5,9	4,5	4,3	6,7	3,0	3,3	6,8
b) Teneur en Al ₂ O ₃ amorphe (% de la fraction argileuse)	2,5	3,8	6,7	2,4	3,2	6,7	7,4	6,1	6,2	3,6	5,1	5,9
c) Teneur en Fe ₂ O ₃ amorphe (% de la fraction argileuse)	5,8	7,5	9,5	7,0	8,3	9,0	11,5	12,2	9,4	6,6	7,2	6,9
d) R.M. SiO ₂ /Al ₂ O ₃ de la partie amorphe	1,7	1,5	1,8	1,8	1,6	1,8	1,0	1,2	1,8	1,4	1,1	1,9
e) Teneur en amorphes aluminosiliciques rapportée à la fraction argileuse (f < 2 μ) entière (%)		5,6			8,6			11,5			9,7	

régulièrement en fonction de l'accroissement de la taille moyenne des particules. On observe le même phénomène pour les oxydes de fer dans les deux premiers profils de la caténa, mais il n'est plus vérifié pour les deux derniers, constitués de matériaux plus anciens. Les teneurs totales en substances amorphes sont plus élevées dans les deux ferralsols que dans les deux ferrisols.

La comparaison des rapports moléculaires des fractions amorphes avec ceux des fractions argileuses entières (tableau 2) fait ressortir que les fractions amorphes sont systématiquement plus pauvres en silice que les fractions argileuses correspondantes. Cette tendance est particulièrement marquée pour les fractions 1-2 μ et 0,2-1 μ des profils 3 et 4.

34. Diffraction des R-X

Les figures 2, 3, 4 et 5 représentent les diffractogrammes en-

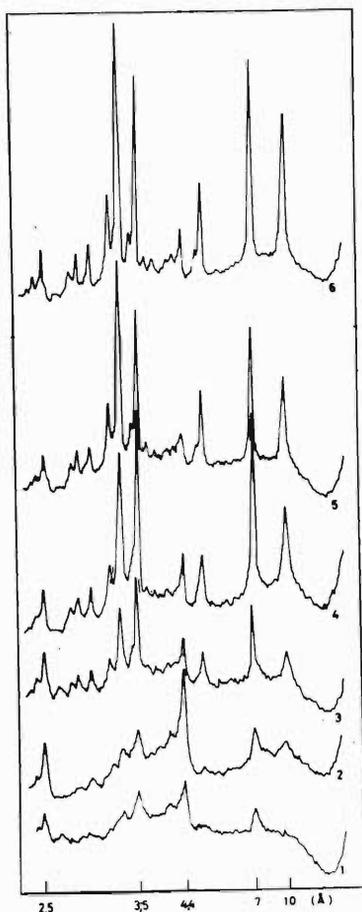


Fig. 2

Spectres de diffraction des R-X des fractions argileuses du profil 1 (ferralsol).

fraction 1-2 μ , après extraction des amorphes

fraction 1-2 μ , avant extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , après extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , avant extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , après extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , avant extraction des amorphes

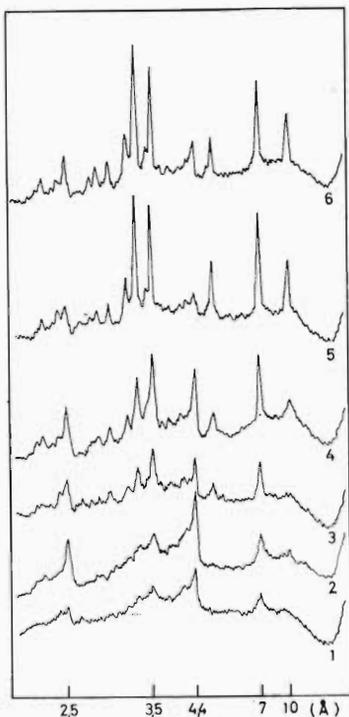


Fig. 3

Spectres de diffraction des R-X des fractions argileuses du profil 2 (ferralsol).

fraction 1-2 μ , après extraction des amorphes

fraction 1-2 μ , avant extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , après extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , avant extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , après extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , avant extraction des amorphes

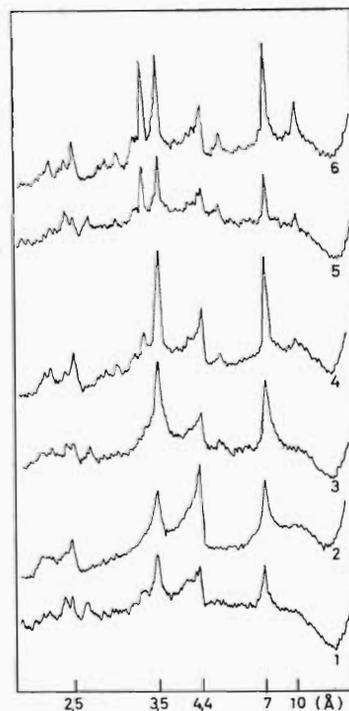


Fig. 4

Spectres de diffraction des R-X des fractions argileuses du profil 3 (ferralsol).

fraction 1-2 μ , après extraction des amorphes

fraction 1-2 μ , avant extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , après extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , avant extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , après extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , avant extraction des amorphes

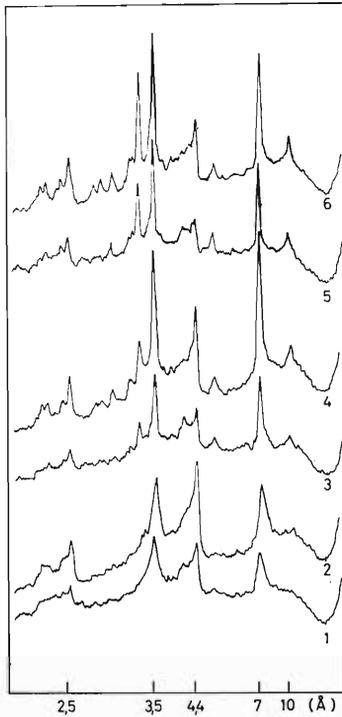


Fig. 5

Spectres de diffraction des R-X des fractions argileuses du profil 4 (ferralsol).

fraction 1-2 μ , après extraction des amorphes

fraction 1-2 μ , avant extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , après extraction des amorphes

fraction 0,2-1 μ , avant extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , après extraction des amorphes

fraction < 0,2 μ , avant extraction des amorphes

registrés pour les fractions argileuses des deux ferrisols et des deux ferralsols avant et après extraction sélective des matériaux amorphes.

Malgré les conditions standardisées dans lesquelles ont été enregistrés les spectres représentés aux figures 2 à 5, il serait dangereux d'accorder une valeur quantitative aux intensités des différents pics. L'amélioration considérable des réflexions après l'extraction des matériaux amorphes apparaît de deux façons.

Pour les fractions 1-2 μ des quatre profils, l'intensité des raies 001 des minéraux micacés et des kaolins augmente considérablement après la dissolution des matériaux amorphes, tandis que les réflexions hk dans les régions de 4,4 et 2,5 Å sont peu modifiées.

Dans les fractions les plus fines (< 0,2 μ) des quatre profils l'augmentation des intensités des raies hk après extraction des constituants amorphes est beaucoup plus importante que celle des raies 001. Ces raies hk se transforment en bandes de profil asymétrique, caractéristiques des minéraux argileux désordonnés (MURRAY & LYONS, 1956).

La fraction intermédiaire (0,2-1 μ) des deux ferrisols se comporte davantage comme la fraction grossière (1-2 μ), tandis que la frac-

tion intermédiaire des deux ferralsols se modifie dans le sens observé pour la fraction fine ($< 0,2 \mu$).

On remarque encore sur les différents spectres des figures 2 à 5, l'apparition de halos de diffraction aux petits angles. Un agrandissement d'une de ces zones est présenté à la figure 6. Pour réaliser cet enregistrement, la vitesse de balayage du goniomètre a été réduite et l'échantillon a été soigneusement orienté sur son support. Malgré ces conditions plus favorables, la définition des halos ne s'améliore pas et il paraît impossible de leur attribuer un espace-ment bien défini. Ces ébauches de raies sont dues probablement à de faibles quantités d'interstratifiés du type « intergrade » illite-chlorite.

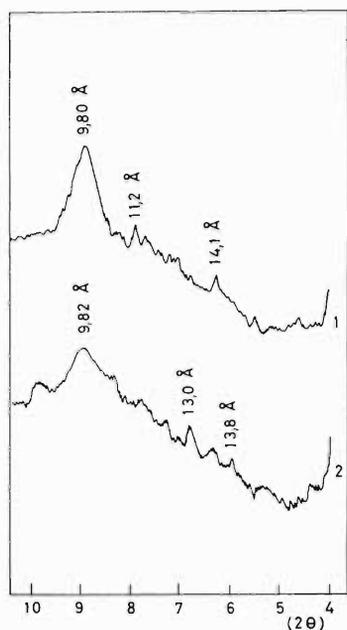


Fig. 6

Spectres de diffraction des R-X dans la région des petits angles.

fraction argileuse totale du profil 2

fraction 0,2-1 μ du profil 4

Des minéraux de ce type apparaissent très fréquemment dans les séquences d'altération des minéraux 2 : 1 des sols désaturés de régions plus tempérées (RICH & OBENSHAIN 1955, TAMURA 1957, KLAGES & WHITE 1957, SAWHNEY 1960), où JACKSON (1963) les considère comme les précurseurs de la kaolinite.

4. Discussion des résultats

Il nous paraît important de discuter en premier lieu la signification des modifications qu'apporte à l'intensité des réflexions hk et $00l$, le traitement d'extraction sélective des matériaux amorphes.

Les fractions 1-2 μ des quatre profils et les fractions 0,2-1 μ des

deux ferrisols manifestent au départ une bonne cristallinité et possèdent des contenus en matériaux amorphes relativement peu élevés.

Lorsque ces échantillons sont débarassés des matériaux amorphes, l'augmentation des intensités des raies 001 dépasse de loin celle qu'on aurait pu prévoir en tenant compte de l'effet diluant des quantités extraites.

Les minéraux argileux constitutifs de ces échantillons, cristallographiquement bien ordonnés au départ, s'orientent mieux lorsque l'on a débarassé la surface de leurs plans de clivage des matériaux étrangers. Cette constatation se rapproche des observations déjà anciennes rapportées par JEFFRIES (1941).

Le comportement des fractions fines ($< 0,2 \mu$) des quatre sols et des fractions $0,2-1 \mu$ des deux ferrisols est différent. L'augmentation de l'intensité des raies 001 semble due à l'augmentation de la concentration en substances cristallines, provoquée par l'extraction de quantités relativement plus importantes de matériaux amorphes. L'augmentation et l'élargissement des raies attribuables aux réflexions hk traduisent par contre un état de désorganisation plus élevé après qu'avant le traitement.

Outre les matériaux étrangers, certains « points faibles » du réseau ont été dissous provoquant un certain désordre dans la fraction cristalline résiduelle. Une nette distinction entre éléments extérieurs et éléments constitutifs des réseaux n'est pas possible, mais la similitude de comportement de ces éléments suggère l'existence de stades de transition entre matériaux réellement amorphes et minéraux argileux cristallographiquement parfaits. Il s'en suit que les fractions argileuses fines ($< 0,2 \mu$) des quatre profils et les fractions intermédiaires ($0,2-1 \mu$) des deux ferrisols, profondément perturbées, s'orientent difficilement.

Un second point mérite de retenir l'attention : il s'agit de l'évolution des minéraux micacés en fonction de deux vecteurs, le premier correspondant à la distance séparant l'échantillon du versant lithologique et le second à la dimension des particules argileuses.

Une méthode simple et couramment utilisée pour déterminer quantitativement les micas présents dans un échantillon consiste à multiplier le contenu en K_2O de cet échantillon par 10, une muscovite contenant, en effet, approximativement 10 % de K_2O . Une autre méthode plus imprécise et théoriquement moins fondée utilise la mesure de l'intensité d'un des pics caractéristiques du mica sur le diagramme aux R-X enregistré dans des conditions standardisées.

Le tableau 4 rapporte les deux séries de valeurs qui pourraient être utilisées pour ces déterminations quantitatives.

Tableau 4

Teneur en K_2O des échantillons et intensité I
(en unités arbitraires) du pic 001 des micas à 10 Å

Fraction granulo- métrique	Ferrisols				Ferralsols			
	Profil 1		Profil 2		Profil 3		Profil 4	
	% K_2O	I	% K_2O	I	% K_2O	I	% K_2O	I
1-2 μ	4,1	33	3,2	13	2,9	6,7	2,7	7,1
0,2-1 μ	3,8	10,7	2,7	3,4	2,4	1,4	3,2	4,2
<0,2 μ	1,7	2,2	1,4	1,7	1,3	0	1,7	0

Les fractions argileuses les plus fines des quatre profils et toutes les fractions des deux ferralsols ont un contenu en K_2O qui oscille entre 1,3 et 3,2 %, alors qu'elles ne contiennent que peu ou pas de micas décelables par diffraction X. Toute tentative de détermination quantitative appliquée à ces matériaux tomberait certainement en défaut. Malgré l'état de désorganisation de ces échantillons, le potassium n'est pas solubilisé par les traitements d'extraction sélective des matériaux amorphes. Il doit exister dans ces argiles un résidu susceptible de fixer le potassium en le rendant inaccessible aux réactifs utilisés.

ARVIEU & CHAUSSIDON (1964) rapportent, qu'en milieu acide 15 à 30 % du potassium d'une illite peuvent rester emprisonnés dans des couches siliciques résiduelles, alors que tous les cations de la couche octaédrique sont dissous. Aux R-X ce résidu silico-potassique ne montre plus les réflexions basales de l'illite alors que les réflexions hk y persistent.

La valeur systématiquement plus faible du R. M. des fractions amorphes (tableau 3) comparée à la même valeur calculée pour les échantillons non traités (tableau 2) suggère que silice et potassium sont soustraits simultanément aux réactifs utilisés pour enlever les matériaux amorphes. D'après les auteurs cités, l'énergie d'activation de la solubilisation du potassium de l'illite ou de ce résidu silico-potassique est au moins aussi élevée que celle des autres cations constitutifs du réseau. Ceci expliquerait pourquoi notre méthode d'extraction n'atteint que très partiellement la silice et le potassium résultant de l'altération des minéraux micacés.

Pour ces raisons les quantités de matériaux amorphes indiquées au tableau 3 sont probablement sousestimées, particulièrement dans le cas des fractions intermédiaires et grossières des deux ferralsols où les écarts entre les R.M. de la fraction amorphe et de la fraction argileuse sont les plus élevés.

Dans la toposéquence étudiée, l'altération des minéraux micacés s'apparente mieux à une dissolution complète du réseau laissant un résidu silico-potassique difficilement soluble qu'à l'ouverture des feuillets suivie de vermiculitisation puis de chloritisation, comme dans les observations des auteurs américains étudiant les argiles de sols acides de régions plus tempérées. Cette altération par dissolution est due à la résistance particulièrement élevée des liaisons interfoliaires des micas du type muscovite et aboutit à un plus grand état de désordre cristallin que ne le ferait la chloritisation des minéraux micacés trioctaédriques par exemple.

En se rappelant les résultats des analyses granulométriques (tableau 1) on peut affirmer que les horizons B de consistance des deux ferralsols possèdent des fractions argileuses fines notablement désordonnées, contenant des matériaux amorphes en relativement grandes quantités (tableau 3) et des minéraux micacés très altérés (tableau 4).

Par contre l'horizon B structural du profil 1 développé jusqu'à 120 cm de profondeur possède une fraction argileuse de diamètre équivalent supérieur à 1μ , formée de cristaux cristallographiquement ordonnés, peu de matériaux amorphes et peu de micas altérés même dans les fractions fines.

L'horizon B du profil 2, malgré son contenu plus élevé en fractions inférieures à 1μ , se classe bien pour tous les points évoqués ci-dessus entre le premier ferrisol et les 2 ferralsols.

C'est donc à l'état d'ordre ou de désordre régnant au sein de la fraction colloïdale que peut être directement reliée l'évolution des caractères morphologiques observés sur le terrain.

L'horizon B structural est constitué de matériaux ordonnés qui s'orientent très facilement en films argileux responsables de l'aspect luisant des agrégats.

Dans l'horizon B de consistance, l'état « désordonné » prend le pas sur l'état « ordonné ». Ces matériaux plus fins sont incapables de s'orienter et s'agglomèrent au hasard, donnant à l'agrégat le caractère pulvérulent caractéristique du ferralsol.

La fraction argileuse davantage que le matériau parental possède donc des caractéristiques propres permettant de lui attribuer la qualification de « ferrisolique » ou de « ferralsolique ».

L'argile « ferrisolique » est caractérisée notamment par un rapport éléments grossiers/éléments fins plus élevé que l'argile ferralsolique. A cette granulométrie plus grossière est lié un meilleur développement des caractères cristallins assurant un meilleur pouvoir d'orientation.

BIBLIOGRAPHIE

- Arvieu J. C. & J. Chaussidon**, 1964.
Etude de la solubilisation acide d'une illite.
Annales Agronomiques, vol. 15, 3, pp. 212-229.
- D'Hoore J. L.**, 1964.
La carte des Sols d'Afrique au 1/5 000 000.
Projet conjoint n° 11, C.C.T.A. Lagos.
- Frankart R., A. Herbillon & H. Verhoeven**, 1962.
Mayaga, Bugesera, Busoni, Carte pédologique I.T.C., Delft (Pays-Bas).
- Frankart R., A. Herbillon & Z. Kayumba**, 1963.
Prospections des terroirs théicoles du Rwanda. C.E.S.T.
Louvain, 117 p. et 6 cartes.
- Frankart R., A. Herbillon & G. Sottiaux**, 1963.
Prospections des terroirs théicoles du Burundi, C.E.S.T.
Louvain, 121 p. et 6 cartes.
- Gastuche M. C., B. Delmon & L. Vielvoye**, 1960.
La cinétique des réactions hétérogènes. Attaque du réseau silico-alumini-
que des kaolinites par l'acide chlorhydrique.
Bull. Soc. Chim. Fr., pp. 60-70.
- Herbillon A. J. & J. Tran Vinh An**, 1964.
Etude de la fraction amorphe colloïdale de quelques sols tropicaux.
C.R. VIII Congrès International de la Science du Sol, Bucarest, vol. III,
pp. 1191-1201 (sous presse).
- Jackson M. L.**, 1963.
Interlayering of expandable layer silicate in soils by chemical weathering.
Clays and Clay Minerals, vol. 13, pp. 29-46.
- Jeffries C. D.**, 1941.
A method of preparing soils for petrographic analysis.
Soil Science, 52, pp. 451-454.
- Klages M. C. & J. L. White**, 1957.
A chlorite like mineral in Indiana soils.
Soil Science Soc. Amer. Proc., vol. 21, pp. 16-20.
- Murray H. H. & S. C. Lyons**, 1956.
Degree of crystal perfection in kaolinite.
Clays and Clay Minerals, pp. 31-40.
- Rich C. I. & S. S. Obenshain**, 1955.
Chemical and clay mineral properties of a red yellow podzolic soil derived
from muscovite schist.
Soil Science Soc. Amer. Proc., vol. 19, pp. 334-339.
- Sawhney B. L.**, 1960.
Weathering and aluminum interlayer in a soil catena.
Soil Science Soc. Amer. Proc., vol. 24, pp. 221-226.
- Sys C., A. Van Wambeke, R. Frankart, P. Gilson, P. Jongen, A. Pérot, J.-M.
Berce & M. Jamagne**, 1961.
La cartographie des sols au Congo.
I.N.E.A.C. Série technique n° 66.
- Tamura T.**, 1957.
Identification of the 14 Å clay mineral component.
Amer. Min., vol. 42, pp. 107-110.
- U.S.D.A.**, 1960.
7th Approximation. Soil Classification, a comprehensive system.
- U.S.D.A.**, 1964.
Complements of the 7th Approximation.

Evolution des fractions argileuses dans une toposéquence du Burundi Comparaison avec les caractères morphologiques des horizons B

Dans une toposéquence, développée dans un dépôt de piedmont au Burundi, les sols montrent le passage progressif de l'horizon B structural à l'horizon B de consistance.

Les caractères morphologiques de ces deux horizons, diagnostiques pour les grands groupes des ferrisols et des ferralsols, sont mis en relation avec les résultats d'un inventaire détaillé de leur fraction fine (minéraux argileux, compositions chimiques, matériaux amorphes). On montre que « l'argile ferrisolique » est bien cristallisée et peu altérée, tandis que « l'argile ferralsolique » contient des micas et des kaolins désordonnés, enrobés de matériaux amorphes.

Cet état d'ordre ou de désordre cristallin des fractions argileuses peut être directement relié aux observations de terrain.

Evolutie van de kleifrakties in een toposekwentie in Burundi Vergelijking met de morfologische kenmerken van de B-horizonten

De bodems van een toposekwentie, die zich ontwikkeld heeft in een piedmontafzetting van Burundi, vertonen een geleidelijke overgang van een structuur B-horizont naar een consistentie B-horizont.

De morfologische kenmerken van die twee horizonten, die diagnostisch zijn voor de grote groepen der ferrisols en ferralsols, worden in verband gebracht met de uitslagen van een gedetailleerde inventaris van hun fijne fractie (kleimineralen, chemische samenstelling, amorphe materialen). Men toont dat de « ferrisolklei » goed gekristalliseerd en weinig aangetast is, terwijl de « ferralsolklei » micas en ongeordende kaolinieten bevat, die ingebed zijn in amorphe materialen.

De toestand van kristallijne orde of wanorde van de kleifrakties kan rechtstreeks in verband gebracht worden met de terreinwaarnemingen.

Evolution of the clay fractions in a toposequence in Burundi Comparison with the morphological characteristics of the B horizons

In a toposequence developed in a piedmont deposit in Burundi, the soils show a gradual transition from the « structural » B horizon to the « consistency » B horizon.

The morphological features of these two horizons, which are diagnostic for the great groups of « ferrisols » and « ferralsols », are related with the data of a detailed evaluation of their fine fraction (clay minerals, chemical composition, amorphous materials). It is shown that the « ferrisolic clay » is well crystallized and hardly weathered, while the « ferralsolic clay » contains disordered micas and kaolins, covered with amorphous materials.

This state of crystalline order or disorder of the clay fractions can be directly related to field observations.

Evolution der Tonfraktionen in einer Toposequenz in Burundi Vergleich mit den morphologischen Merkmalen der B-Horizonte

In einer Katena, die sich in einer Piedmont-Ablagerung in Burundi entwickelt hat, zeigen die Böden einen progressiven Übergang vom « Struktur » B-Horizont zum « Konsistenz » B-Horizont.

Die morphologischen Merkmale dieser beiden Horizonte, die bezeichnend sind für die großen Gruppen der « Ferrisole » und « Ferralsole », werden den Resultaten einer detaillierten Inventur ihrer Feinfraktion (Tonminerale, chemische Zusammensetzung, amorphe Substanzen) gegenübergestellt. Man zeigt, daß der « ferrisolische Ton » gut kristallisiert und wenig verwittert ist, während der « ferralsolische Ton » ungeordnete, von amorphen Substanzen umhüllte Micas und Kaoline enthält.

Dieser Zustand kristalliner Ordnung oder Unordnung der Tonfraktionen kann unmittelbar mit den Geländebeobachtungen in Zusammenhang gebracht werden.

STUDIE ÜBER PARABRAUNERDEN IN DÄNEMARK

Alb. Fobian

INHALT

1. Beschreibung der Landschaft
 11. Bildung der Landschaft
 12. Dränierungsbedingungen
 13. Topographie
 14. Klima
 15. Zeit und Vegetation
2. Profilbeschreibung
3. Analysenarbeit
 31. pH-Bestimmung
 32. Karbonatbestimmung
 33. Bestimmung der organischen Substanz
 34. Korngrößenbestimmung
 35. Untersuchung der Sandfraktion
 36. Röntgenographische Bestimmung der Tonminerale
4. Semiquantitative Berechnung der Tonminerale auf Grund von Röntgenaufnahmen
5. Ergebnis der Untersuchung

Literaturverzeichnis

Zusammenfassung — Résumé — Samenvatting — Summary

Albert Fobian — Mag. scient. — Assistent.

Mineralogisk-Geologisk Institut, Øster Voldgade 5-7, Kopenhagen K. - Dänemark.

Der Zweck dieser Studie ist eine Untersuchung über die Verwitterung einer dänischen Moräne. Es soll versucht werden, die Bodenbildung zu erklären, die auf dieser Moräne stattgefunden hat. Die Arbeit ist im Frühjahr, Sommer und Herbst 1963 im Sedimentpetrografisk Laboratorium, Mineralogisk-Geologisk Institut, Kopenhagen, durchgeführt worden.

Das Gebiet, in welchem die Untersuchung gemacht worden ist, liegt auf Seeland zwischen Kopenhagen und Roskilde. Das Ausgangsmaterial ist eine typisch dänische lehmige Moräne, die bei allen drei Profilen auf einer 6 — 15 m mächtigen Kies- und Sandschicht ruht. Die Namen der Profile sind folgende :

- 1) Kallerup Grusgrav (Kallerup),
- 2) Nymølle Grusgrav (Nymølle),
- 3) Luxol Vejmaterialer, Roskilde (Roskilde).

In Klammern steht der Name, mit dem die Profile im Nachfolgenden bezeichnet werden.

1. Beschreibung der Landschaft

11. Bildung der Landschaft

Es wird angenommen, daß eine Eiszunge über längere Zeit in der abschließenden Phase der letzten Eiszeit (Würm) die Köge-Bucht und den östlichen Teil von Seeland bedeckt hat [20, 22]. Während des Abschmelzens des Eises hat sich der Rand der Eiszunge in mehreren Phasen zurückgezogen, was die im Gebiet vorkommenden Sedimente, Moränen und der fluvioglaziale Ton und Sand, bezeugen.

12. Dränierungsbedingungen

Für alle drei Profile gilt, daß die Moräne auf Kies- und Sandablagerungen ruht, die einen niedrigen Grundwasserstand bedingen. Nach der Mächtigkeit der Moräne in Kallerup, Nymølle und Roskilde müssen die Profile in zwei Gruppen eingeteilt werden, die sich in den Dränierungsbedingungen voneinander unterscheiden :

- 1) Kallerup : ca. 3,5 m Moräne über Kies und Sand,
- 2) Nymølle und Roskilde : ca. 6 m Moräne über Kies und Sand.

13. Topographie

Topographisch bildet das Untersuchungsgebiet ein ausgeprägtes Flachland mit weichem Relief. Alle drei Profile haben eine fast ebene Oberfläche.

14. Klima

Seit dem Abschmelzen des Eises haben die Jahrestemperatur und die Jahresniederschläge deutliche Schwankungen gezeigt. Nach Angaben des dänischen meteorologischen Instituts [4] liegt im Untersuchungsgebiet die Mitteltemperatur im Monat Juli gegenwärtig um 16,5 — 17,0°C, während die Mitteltemperatur im Februar um -0,5 — 0,0°C liegt. Die mittleren Jahresniederschläge werden vom meteorologischen Institut mit 500 — 600 mm angegeben.

15. Zeit und Vegetation

Nachdem sich das Eis stufenweise zurückgezogen hatte, was vermutlich 12 000 Jahre v. Chr. [18] geschehen ist, begann die Umgestaltung der obersten Bodenschicht durch Oxydation und Auswaschung. Diese Vorgänge wurden mit der stufenweisen Ausbreitung der Vegetation auf dem Land und dem Beginn der vegetationsgeschichtlichen Entwicklung noch verstärkt.

Nachdem die arktische Pflanzenwelt der Spätglazialzeit gegen 8000 Jahre v. Chr. von der postglazialen Pflanzenwelt verdrängt worden war, folgten die Kieferzeit (ca. 8000 — 5500 v. Chr.), Eichen-Erlenzeit (5500 — 2500 v. Chr.), Eichen-Eschenzeit (ca. 2500 — 400 v. Chr.) und schließlich die Buchenzeit ungefähr 400 Jahre v. Chr. [1].

Zu diesem Zeitpunkt war die Kulturstufe schon relativ hoch. Die erste Spur von Ackerbau geht in Dänemark bis auf etwa 2630 v. Chr. zurück [27].

Die drei untersuchten Profile stellen Kulturböden dar, auf denen die Vegetation zum Zeitpunkt der Untersuchung gleich war. Die letzte Frucht war Gerste; zwischen den Stoppeln kam eine Pflanzengesellschaft von *Veronica persica*, *Stellaria media*, *Matricaria matricarioides*, *Medicago lupulina*, *Senecio vulgaris* und einigen nicht bestimmten Arten vor.

2. Profilbeschreibung

Alle drei Profile lassen sich folgendermaßen horizontieren :

- A-Horizont : A₁ : Dunkelgraubrauner, humoser Horizont, nach unten zu etwas mehr bräunlich werdend;
A₂ : Verarmter, gebleichter, hellgrauer Horizont mit variierender Mächtigkeit;
B-Horizont : B₁ : Horizont mit beginnender Braunfärbung;
B₂ : Anreicherungshorizont, der von Eisenoxyden braungefärbt ist; braungefärbte Spaltenbildung;
C-Horizont : C : Lehmige, kalkhaltige Moräne;
D-Horizont : D : 6-15 m mächtige Kies- und Sandschicht.

Die Abb. 1 zeigt eine Skizze der drei Profile, aus der die unterschiedliche Mächtigkeit der Moräne zu ersehen ist.

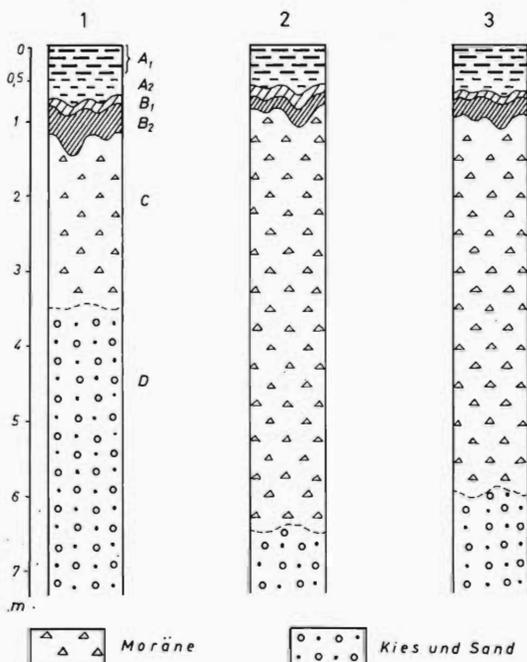


Abb. 1
 Profilskizzen.
 1. Kallerup.
 2. Nymölle.
 3. Roskilde.

3. Analysenarbeit

31. pH-Bestimmung

Der pH-Wert wurde mit der Glaselektrode in H_2O gemessen. Die Ergebnisse (Tab. 1) zeigen, daß die niedrigsten pH-Werte übereinstimmend bei allen Profilen in ca. 40-50 cm Tiefe der Oberfläche erreicht werden, während der A_1 -Horizont einen höheren Wert hat. Dies ist sehr deutlich in Kallerup, wo der große Unterschied innerhalb der Werte auf die Kalkzufuhr zurückgeführt werden muß.

Die pH-Werte steigen regelmäßig mit der Tiefe bis zu einem Maximalwert von 8,3 an.

32. Carbonatbestimmung

Mit Hilfe der Karbonatbestimmungen läßt sich die Tiefe der Karbonatauswaschung feststellen. Die Auswaschungsgrenze wurde von DREIMANÉS [5] und FLINT [6] zu einer relativen Altersbestimmung gebraucht.

In Dänemark hat RÖRDAM [24] die Auswaschungsgrenze einiger

Tabelle 1
Analytische Ergebnisse der drei Profile

Tiefe <i>cm</i>	pH-Wert <i>H₂O</i>	CaCO ₃ %	Organ. Subst. %
1. Profil Kallerup			
10	7,2	0	3,43
35	6,0	0	2,63
60	6,0	0	—
80	6,1	0	—
110	6,5	0	—
135	7,7	0,17	—
170	8,2	22,33	—
2. Profil Nymölle			
10	7,7	0	3,36
30	7,5	0	1,91
45	7,5	0	—
65	7,6	0,16	—
85	7,8	0,08	—
135	8,2	27,37	—
175	8,3	31,68	—
3. Profil Roskilde			
10	7,2	0	2,68
35	7,1	0	0,76
55	7,2	0	—
80	7,5	0,07	—
130	8,2	24,48	—
200	8,3	16,91	—
250	8,2	16,13	—
350	8,2	19,56	—
425	8,2	16,68	—
570	8,3	13,97	—

Böden bestimmt, und TOVBORG JENSEN [13] hat das gesamte Problem des Kalkumsatzes bearbeitet.

Die Karbonatbestimmungen wurden nach JACKSON [11] durchgeführt. Die Ergebnisse (Tab. 1) zeigen, daß es eine scharfe Grenze zwischen der kalkhaltigen und der kalkfreien Moräne gibt. Die Grenze liegt in Nymölle und Roskilde ca. 1 m unter der Oberfläche, während sie in Kallerup ca. 1,5 m tief liegt. Diese tiefere Auswaschung in Kallerup stimmt mit den pH-Werten überein. In Roskilde wurde unmittelbar unter der Auswaschungsgrenze der höchste Karbonatgehalt im Profil festgestellt. Hier liegt somit eine Kalkanreicherung vor.

33. Bestimmung der organischen Substanz

Die Bestimmung der organischen Substanz (Tab. 1) wurde nach JACKSON [11] als Naßverbrennung durchgeführt.

34. Korngrößenbestimmung

Die Korngrößen in einer dänischen Moräne verteilen sich nach ROSENKRANTZ & RASMUSSEN [22] auf 15 — 35 % Ton, 65 — 85 % Sand und weniger als 10 % Steine und Kies.

Bei der vorliegenden Untersuchung genügte es, lediglich die Korngrößengruppen Ton ($< 0,002$ mm), Schluff ($0,002 - 0,06$ mm) und Sand ($0,06 - 2,0$ mm) zu bestimmen.

Als Dispergierungsmittel wurde Natriumpyrophosphat gebraucht. Mit Hilfe eines Atterberg-Schlämmapparates und eines Andreasen-Pipettapparates [16] wurden die Sand- und Tonfraktion bestimmt und anschließend die Schlufffraktion als Differenz ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Diagrammen (Abb. 2) dargestellt.

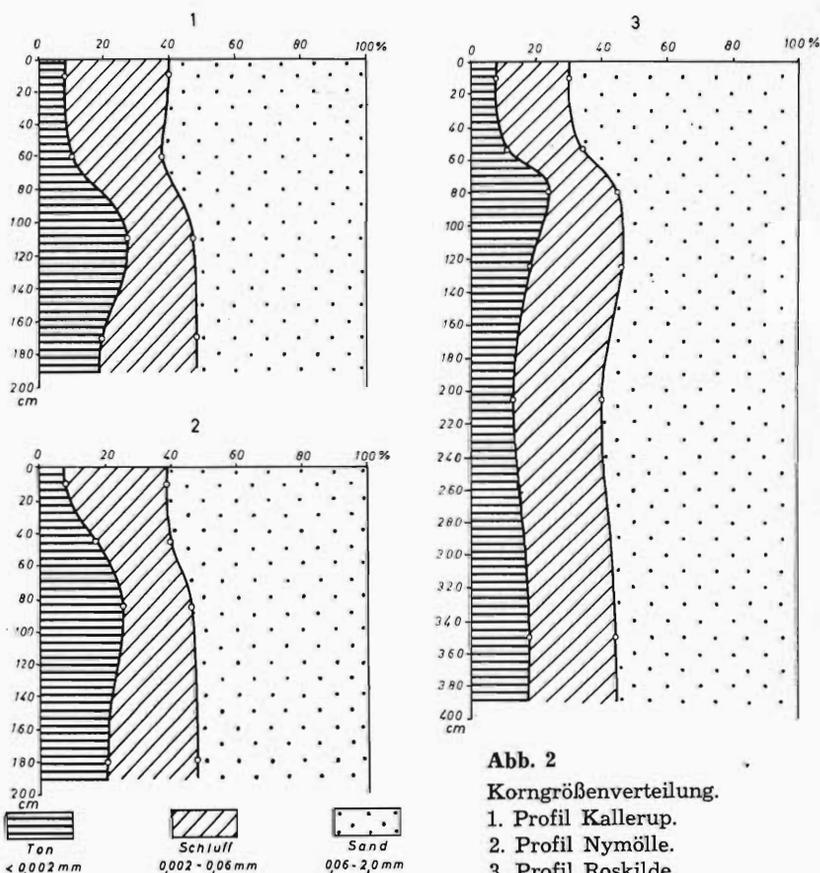


Abb. 2
Korngrößenverteilung.
1. Profil Kallerup.
2. Profil Nymölle.
3. Profil Roskilde.

Die Diagramme zeigen, daß die untersuchte Moräne besonders in Kallerup und Nymölle sehr gleichartig zusammengesetzt ist. Ein bei allen drei Profilen übereinstimmendes Merkmal ist ein an Ton

verarmter A₁- und A₂-Horizont und ein Tonanreicherungshorizont in 60 bis 100 cm Tiefe unter der Oberfläche. Die Tonanreicherung im B-Horizont wird sicher in diesem Fall in Verbindung mit der Auswaschung des Kalkes geschehen sein. Das Calciumkarbonat der Moräne befindet sich hauptsächlich innerhalb der Ton- und Schlufffraktion [14]. Wenn man daran denkt, daß bei der Auswaschung des CaCO₃, das in der ursprünglich kalkhaltigen Moräne ca. ein Fünftel der Masse ausmachte, ein poröser Boden entstand, so muß angenommen werden, daß hierin die Abwärtsbewegung der Tonpartikel rein mechanisch begünstigt war.

35. *Untersuchung der Sandfraktion*

Es gibt viele Untersuchungen über die Sandfraktion der Sedimente [21]. Hier soll auf Arbeiten von SINDOWSKI [26], WEYL [29], VAN DER MAREL [19], GOLDICH [7], KROGH ANDERSEN & TOVBORG JENSEN [17] und CHRISTENSEN & LARSEN [2] verwiesen werden.

Zur Herstellung von Körnerpräparaten, die unter dem Polarisationsmikroskop untersucht wurden, sind nur die Korngrößen zwischen 60 und 250 µ verwendet worden. Die vorliegende Sandfraktion wurde mit 15 %iger Salzsäure gereinigt und mit Bromoform (spezif. Gew. 2,8) in eine leichte und eine schwere Fraktion getrennt. Als Einbettungsmittel wurde Kanada-Balsam verwendet.

In der leichten Fraktion wurden folgende Minerale bestimmt: Quarz, Feldspat, Calcedon und Glaukonit.

In der schweren Fraktion wurden folgende Minerale bestimmt: Turmalin, Rutil, Zirkon, Hornblende, Epidot, Granat, Spinel, Zoisit, Diopsid, Muskovit, Titanit, Kyanit, Klinozoisit, Hypersten, Staurolit, Sillimanit, Aktinolit und opake Minerale.

Dieses ist keine vollzählige Liste der Minerale, die in einer dänischen Moräne vorkommen. Es wird sicher möglich sein, zehn oder noch mehr andere Minerale zu finden.

Eine quantitative Untersuchung wurde nicht durchgeführt, aber auf Grund der nicht bis in die letzten Feinheiten gehenden Untersuchungen zeigten sich in allen Horizonten häufig Hornblende, Epidot, Granat, Turmalin und opake Minerale, während die anderen Schwerminerale ziemlich selten waren.

Die Schwerminerale machten durchschnittlich zwischen 1 und 2 % von der untersuchten Sandfraktion aus.

36. *Röntgenographische Bestimmung der Tonminerale*

Die tonmineralogischen Untersuchungen an den dänischen Tonsedimenten sind fast alle auf die präquartären Sedimente beschränkt. Als Beispiele sollen Arbeiten von RÖRDAM [23], UNMACK

[28], CLAUSEN [3] und GRAFF-PETERSEN [8] genannt werden. Die Tonsedimente des Quartärs sind z.B. in den Arbeiten von GRAFF-PETERSEN [9] und JENSEN [12] untersucht worden.

Erst in späteren Jahren ist es möglich geworden, auf solide Weise sowohl eine qualitative als auch eine quantitative röntgenographische Untersuchung der Tonminerale durchzuführen.

Die Arbeitsmethode, die in dieser Arbeit benutzt worden ist, beruht auf einer Abhandlung von GRAFF-PETERSEN [10], auf welche für nähere Einzelheiten verwiesen werden soll.

Die röntgenographische Untersuchung wurde mit dem Röntgendiffraktometer mit $\text{Cu} - \text{K}_\alpha$ - Strahlung durchgeführt. Orientierte Präparate wurden hergestellt und von jedem Präparat zwei Röntgendiagramme aufgenommen. Das erste Diagramm wurde vom unbehandelten Präparat hergestellt, und das zweite vom gleichen Präparat, nachdem dieses zwei Tage mit Glycoldampf behandelt worden war.

An Hand der Röntgendiagramme konnten folgende Tonminerale nachgewiesen werden: Illit (10 Å), Montmorillonit (14 Å), Wechselschichtminerale (10 — 14 Å), Chlorit (14 Å) und Kaolinit (7 Å).

4. Semiquantitative Berechnung der Tonminerale auf Grund von Röntgenaufnahmen

Die Tonmineralogen sind sich darüber einig, daß eine quantitative Bestimmung der Tonminerale praktisch nicht möglich ist. Die röntgenographische Auswertung beschränkt sich daher auf semiquantitative Angaben. Das Prinzip der Methode beruht auf einer Intensitätsmessung an geeigneten Röntgenreflexen. Die ermittelten Intensitäten werden mit einer geeichten Kurve verglichen und mit einem empirisch ermittelten Faktor multipliziert. Für die Berechnung wurden folgende Reflexe der Tonminerale herangezogen :

Montmorillonit	: (001)
Illit	: (001)
Wechselschichtminerale	: (001)
Chlorit	: (002), (004)
Kaolinit	: (001), (002)

Im übrigen lehnt sich die Auswertung an die Arbeit von GRAFF-PETERSEN [10] an. Da sich bei den Untersuchungen zeigte, daß die Tonmineralverteilung bei allen Profilen nur kleinere Schwankungen aufwies, war es erlaubt, die aus der semiquantitativen Berechnung erhaltenen Werte direkt für die Erstellung der Kurven (Abb. 3) zu verwenden, so daß nicht wie bei GRAFF-PETERSEN [10] auf Zehntelanteile auf — bzw. abgerundet wurde. In Tabelle 2 sind beide Werte nebeneinander aufgeführt.

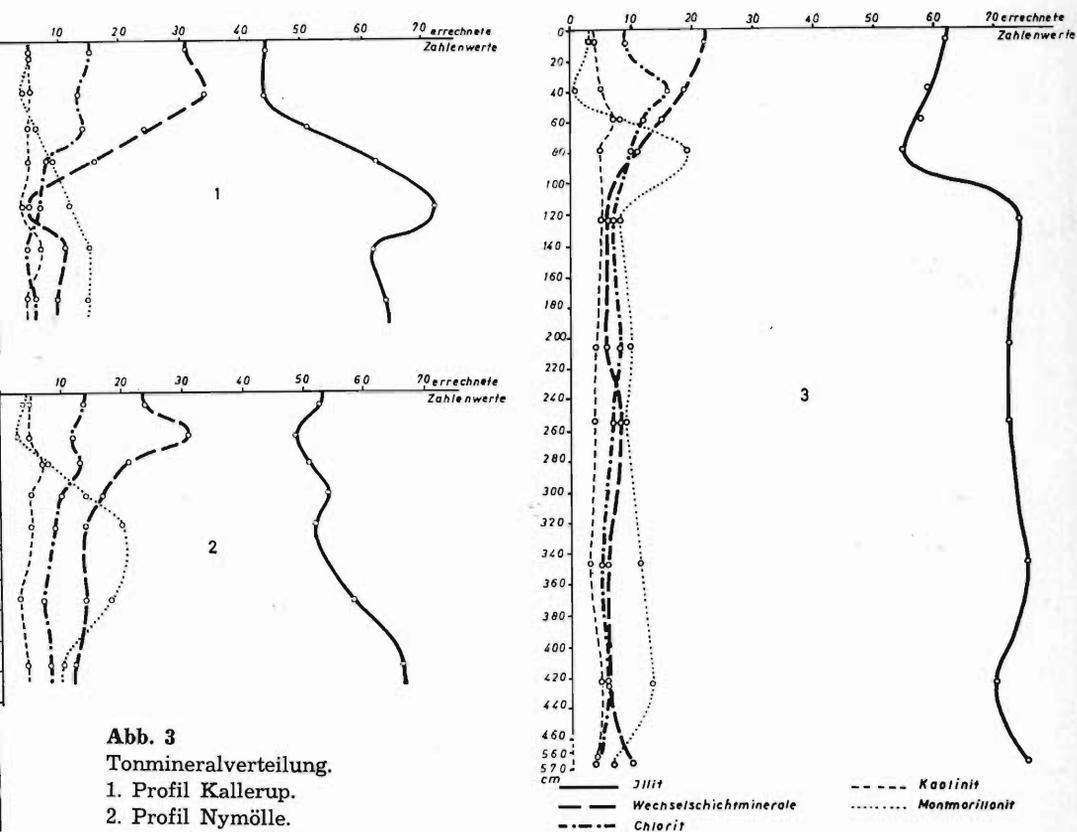


Abb. 3
 Tonmineralverteilung.
 1. Profil Kallerup.
 2. Profil Nymölle.
 3. Profil Roskilde.

Es soll an dieser Stelle noch darauf hingewiesen werden, daß die so errechneten Werte nur eine mögliche Tonmineralverteilung wiedergeben.

Die Regeln, die bei der Berechnung angewandt wurden, können im folgenden kurz zusammengefaßt werden :

Das Mengenverhältnis zwischen den verschiedenen Tonmineralen wurde auf Grund der (001) Reflexion des Illites bei unbehandeltem Präparat berechnet.

Das Mengenverhältnis Illit/Montmorillonit wurde auf Grund der (001) Reflexion des Illites und der Reflexion des glycolbehandelten Montmorillonits berechnet.

Es wurde angenommen, daß die Wechselschichtminerale aus gleichen Teilen Illit und Montmorillonit bestehen. Die gesamte Reflexion der Minerale wurde auf Grund des unbehandelten und des glycolbehandelten Präparates beurteilt.

Die (002) Reflexion des Chlorits fällt mit der (001) Reflexion des Kaolinit zusammen, so daß die Intensität eine Summe dieser beiden Reflexionen darstellt. Das Verhältnis zwischen Chlorit und Kaolinit wurde auf Grund der (004) Reflexion des Chlorits und der (002) Reflexion des Kaolinit berechnet.

Tabelle 2

Ergebnisse der semiquantitativen Tonmineralgehaltsberechnungen

1. Profil Kallerup																				
Tiefe in cm	10		35		60		80		110		135		170							
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**						
Illit	44	4	44	4	51	5	62	6	72	7	62	6	64	6						
Wechselschichtminerale	31	3	34	3	24	2	16	1	5	1	11	1	10	1						
Montmorillonit	5	1	4	1	6	1	9	1	12	1	15	1	15	1						
Chlorit	15	2	13	2	14	2	8	1	7	1	5	1	6	1						
Kaolinit	5	1	5	1	5	1	5	1	4	1	7	1	5	1						
2. Profil Nymölle																				
Tiefe in cm	10		30		45		65		85		135		175							
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**						
Illit	53	5	49	5	51	5	54	5	52	5	58	6	66	7						
Wechselschichtminerale	24	2	31	3	21	2	17	2	14	1	14	1	12	1						
Montmorillonit	4	1	3	1	8	1	14	1	20	2	18	2	10	1						
Chlorit	14	1	12	1	13	1	10	1	9	1	7	1	8	1						
Kaolinit	5	1	5	1	7	1	5	1	5	1	3	1	4	1						
3. Profil Roskilde																				
Tiefe in cm	10		35		55		80		130		200		250		350		425		570	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
Illit	62	6	59	6	58	6	55	5	74	7	72	7	72	7	75	7	70	7	75	7
Wechselschichtminerale	22	2	19	2	15	1	11	1	6	1	6	1	8	1	6	1	6	1	10	1
Montmorillonit	3	1	1	1	8	1	19	2	8	1	10	1	9	1	11	1	13	1	7	1
Chlorit	9	1	16	1	12	1	10	1	7	1	8	1	7	1	5	1	6	1	4	1
Kaolinit	4	1	5	1	7	1	5	1	5	1	4	1	4	1	3	1	5	1	4	1

* errechnete Zahlenwerte

** Zehntel

Aus den Berechnungen ergibt sich, daß der Tonmineralgehalt der untersuchten Moräne aus 6 — 7 Zehnteln Illit besteht, während die restlichen 3 — 4 Zehntel von Wechselschichtmineralen, Montmorillonit, Chlorit und Kaolinit gebildet werden.

Bei der Betrachtung der Variation der Gehalte der einzelnen Tonminerale nimmt der Kaolinit eine Sonderstellung ein, da der Gehalt dieses Mineralen bei allen drei Profilen in groben Zügen unveränderlich ist, während bei den übrigen Mineralen eine Abhängigkeit vom pH-Wert beobachtet werden kann.

Bei pH-Werten > 8 ist das Verhältnis zwischen den Mineralen Illit, Wechselschichtminerale, Montmorillonit und Chlorit in groben Zügen unveränderlich. Dort sind Calciumkarbonat und Calciumionen vorhanden, die eine Tonmineralumwandlung weitgehend verhindern. Es kann angenommen werden, daß diese Minerale seit der Ablagerung des Sedimentes keine Umbildung erfahren haben.

Anders ist es dort, wo die pH-Werte < 8 sind und der fortschreitende Austausch der Metallionen gegen Wasserstoffionen [13] zu einer Tonmineralumwandlung führen kann. Diese Umbildung kann wie folgt zusammengefaßt werden :

Illit variiert sehr deutlich mit Wechselschichtmineralen und zwar so, daß bei einer Abnahme von Illit eine Zunahme von Wechselschichtmineralen eintritt und umgekehrt. Es wird angenommen, daß der Illit teilweise sein Kalium verloren hat und damit zum Teil aufweitbar wird. Das Verhältnis, das im obersten Horizont sichtbar ist, rührt sicher von der Zufuhr von Düngemitteln her.

Es ist schwer, die Maxima der Illit-Kurven von Kallerup (Abb. 3-1) und Nymölle (Abb. 3-2) zu erklären. Vielleicht können diese Maxima auf eine Änderung der Permeabilitätsverhältnisse infolge der Tonanreicherung zurückgeführt werden.

Der Montmorillonitgehalt zeigt in Nymölle (Abb. 3-2) und Roskilde (Abb. 3-3) ein Maximum in der Anreicherungszone, während dies in Kallerup (Abb. 3-1) nicht der Fall ist. Vielleicht muß dieses in Kallerup fehlende Montmorillonit-Maximum in Verbindung mit dem im Profil Kallerup mehr fortgeschrittenen Verwitterungszustand gesehen werden.

Der Chloritgehalt steigt, wenn die pH-Werte niedriger werden. Diese Erhöhung des Chloritgehaltes ist vielleicht auf die Mobilisierung von Eisen und Aluminium zurückzuführen [25].

5. Ergebnis der Untersuchung

Aus der Untersuchung ergibt sich, daß der gebildete Bodentyp eine Parabraunerde ist.

Wenn man die drei Profile Kallerup, Nymölle und Roskilde miteinander vergleicht, sieht man, daß soweit es die pH-Werte, Kar-

bonatauswaschung, Tonanreicherung und Umbildung der Tonminerale angeht, Kallerup als ein stärker verwittertes Profil hervortritt. Die pH-Werte in den Profilen Nymölle und Roskilde sind anders als die in Kallerup. Die Grenze der Karbonatauswaschung in Nymölle

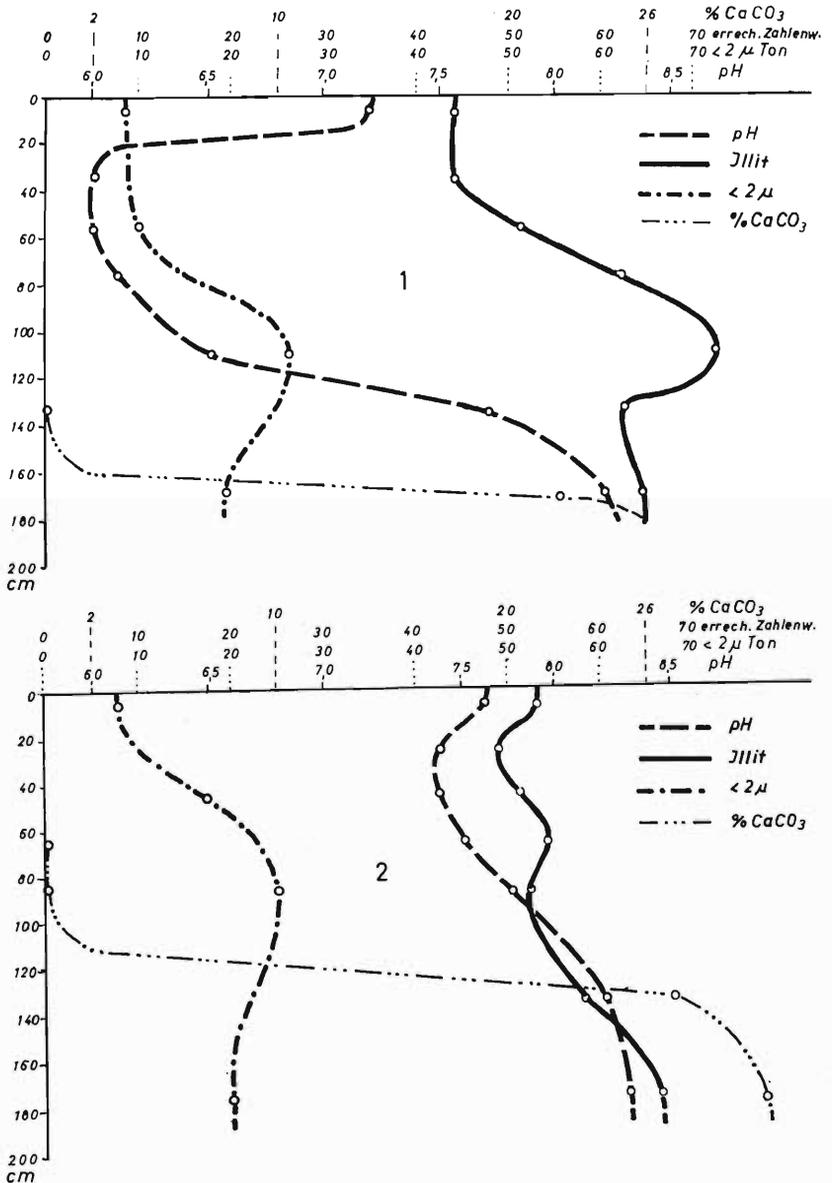


Abb. 4

Übersicht über die Verhältnisse zwischen Tongehalt, pH-Wert, $CaCO_3$ -Gehalt und Illitanteil.

1. Profil Kallerup.

2. Profil Nymölle.

und Roskilde liegt bei ca. 1 m Tiefe, während diese Grenze in Kallerup bei 1,5 m liegt. Das Maximum der Tonanreicherung liegt in Kallerup in einem tieferen Niveau als in Nymölle und Roskilde. Die Umbildung der Tonminerale ist auch in Kallerup weiter fortgeschritten als in Nymölle und Roskilde.

Eine Übersicht über die Verhältnisse zwischen Tongehalt, pH-Wert, CaCO_3 -Gehalt und dem Illitanteil an den Tonmineralen in den Profilen Kallerup und Nymölle ist in Abbildung 4 gegeben.

Von allen sechs bodenbildenden Faktoren (Muttermgestein, Klima, Topographie, Zeit, Vegetation und Dränierung) ist es nur die verschiedene Dränierung, durch die sich die Profile unterscheiden. Für die Profile Nymölle und Roskilde macht die Mächtigkeit der Moräne ca. 6 m aus, während die Mächtigkeit der Moräne in Kallerup nur ca. 3,5 m beträgt. Nach KELLER [15] ist es nicht allein das Vorhandensein des Wassers, das die Hydrolysevorgänge fördert, sondern eine beständige Erneuerung mit frischem Wasser und ein entsprechender Abtransport der Hydrolyseprodukte. Es muß deshalb angenommen werden, daß die geringere Mächtigkeit der Moräne in Kallerup eine schnellere Ableitung des Wassers und der Hydrolyseprodukte verursacht hat und somit in Kallerup heute ein weiter fortgeschrittener Verwitterungszustand als in Nymölle und Roskilde erreicht worden ist.

Die Untersuchung dieser Bodenprofile, die sich nur auf die obersten 2 m beschränkt hat, kann allein nicht die Entwicklung erklären, die hier stattgefunden hat. Erst wenn man die ganze geologische Säule betrachtet, die über dem Grundwasserspiegel liegt, kann man die unterschiedliche Entwicklungstiefe der untersuchten Böden befriedigend erklären. Das Ergebnis unterstreicht somit den engen Zusammenhang, der in der Natur zwischen einer örtlichen Bodenentwicklung und dem allgemeinen geologischen Aufbau der Landschaft besteht.

Den Herren Dr. phil. P. Graff-Petersen und cand. mag. B. Thomsen (Mineralogisk-Geologisk Institut, Kopenhagen) bin ich für ihre Anleitung und Hilfe bei der Tonmineraluntersuchung sowie bei der Schwermineralbestimmung zu großem Dank verpflichtet.

Herr Prof. Dr. Dr. E. Mückenhausen (Institut für Bodenkunde der Universität Bonn) hat das Manuskript durchgelesen und mich mit Bezug auf die Publikation beraten und mir geholfen. Die sprachliche Korrektur wurde von den Herren Landw. Ass. I. Buchmann und Oberass. Dr. H. Beckmann durchgeführt. Fräulein C. Krahnberg hat die Abbildungen gezeichnet. Ihnen allen möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Abrahamsen V., T. W. Böcher & P. Larsen** (1959) : *Plantelivet*. 4. udgave, Haase og Søn, København.
- [2] **Christensen W. & G. Larsen** (1960) : Tungsandsforekomster i Danmark. Danmarks Geol. Unders., III række, nr. 33.
- [3] **Clausen H.** (1932) : Røntgenografiske Undersøgelser af danske Lerarter. Medd. Dansk Geol. Foren. bd. 8.
- [4] **Det danske meteorologiske Institut** (1933) : Danmarks Klima. G. E. Gad, Kbh.
- [5] **Dreimanés A.** (1959) : Measurements of Depth of Carbonate Leaching in Service of Pleistocene Stratigraphy Geol. Fören Förhandl., bd. 81.
- [6] **Flint Foster R.** (1949) : Leaching of Carbonates in Glacial Drift and Loess as a Basis for Age Correlation. *J. Geology*, vol. 57.
- [7] **Goldich S. S.** (1938) : A study in rock weathering. *J. Geol.*, vol. 46.
- [8] **Graff-Petersen P.** (1955) : Lillebættler. En lermineralogisk undersøgelse. Medd. Dansk Geol. Foren. bd. 13, hf. 1.
- [9] **Graff-Petersen P.** (1958) : Lermineralogisk undersøgelser af kvartær-bjærgarterne i Røjle Klint. Medd. Dansk Geol. Foren, bd. 13, hf. 6.
- [10] **Graff-Petersen P.** (1961) : Lermineralogien i de limniske jura-sedimenter på Bornholm, København.
- [11] **Jackson M. L.** (1958) : *Soil Chemical Analysis*, Prentice-Hall, Inc.
- [12] **Jensen E.** (1955) : The Mineralogical Composition of the Fine-Grained Fractions of some Typical Danish Agricultural Soils. 1. Quarts. Royal Vet. and Agricultural College, Yearbook.
- [13] **Jensen Tovborg S.** (1936) : Kalkens omsætning i jordbunden, teoretisk og eksperimentelt belyst. *Tidsskrift for Planteavl*, bd. 41.
- [14] **Jensen Tovborg S. & Betsy Kjær** (1948) : Undersøgelser over Kornstørrelsesfordelingen i en række danske kalk- og mergelforekomster. Royal Veterinary and Agricultural College, Yearbook.
- [15] **Keller W. D.** (1962) : *The Principles of Chemical Weathering*. 2 Edition Lucas Brothers, Columbia, Missouri.
- [16] **Kjær B.** (1960) : Vejledning ved øvelserne på Agrikulturkemisk Laboratorium. De studerendes Råd, Landbohøjskolen, Kbh.
- [17] **Krogh Andersen E. & A. Jensen Tovborg** (1955, 1956 & 1961) : Minerals Present in Sands from Danish Soil and Subsoil I, II and III. Royal Veterinary and Agricultural College, Yearbooks.
- [18] **Magnusson N. H., G. Lundqvist & E. Granlund** (1956) : *Sveriges Geologi*. Tredje upplagan, Svenska Bokförlaget, Stockholm.
- [19] **Marel Van der** (1949) : Mineralogy of a Heath Podzol Profile. *Soil Science*, vol. 67.
- [20] **Milthers V.** (1935) : Nordøstsjælland's Geologi. Danmarks geologiske Undersøgelse, V. række, nr. 3.
- [21] **Pettijohn F. J.** (1957) : *Sedimentary Rocks*. Harper and Brothers, New York.
- [22] **Rosenkrantz A. & H. Wienberg Rasmussen** (1963) : *Danmarks Geologi*. København.
- [23] **Rørdam K.** (1890) : Undersøgelse af mesozoiske Lerarter og Kaolin på Bornholm. Danmarks Geol. Undersøgelse, II række, nr. 1.
- [24] **Rørdam K.** (1894) : Geologisk-agronomiske Undersøgelser. Danmarks Geol. Undersøgelse, II række, nr. 3.
- [25] **Scheffer & Schachtschabel** (1960) : *Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde*. 1. Teil : Bodenkunde. Enke, Stuttgart.

- [26] **Sindowski F. K. H.** (1949) : Heavy Mineral Analysis in Germany. Jour. Sed. Petrology, Vol. 19, No 1.
- [27] **Troels-Smith J.** (1957) : Muldbjerg-bopladsen. Naturens Verden, juli 1957.
- [28] **Unmack A.** (1946) : X-ray investigation of some Danish clays. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskoles Aarskrift 1946.
- [29] **Weyl R.** (1952) : Schwermineraluntersuchungen an Bodenprofilen. Zeit. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. 52 (102) Band.

Studie über Parabraunerden in Dänemark

Zusammenfassung

Die Studie ist eine Untersuchung über die Verwitterung einer dänischen Moräne, die auf Kies und Sand ruht. Drei Profile (Kallerup, Nymölle und Roskilde) sind untersucht worden. Die Untersuchung umfaßt pH-Messung, Karbonatbestimmung, Korngrößenbestimmung, Bestimmung der leichten und schweren Minerale und eine qualitative und quantitative Bestimmung der Tonminerale.

Der gebildete Bodentyp ist eine Parabraunerde. Die Ergebnisse zeigen, daß ein Profil (Kallerup) einen mehr fortgeschrittenen Verwitterungszustand als die zwei anderen Profile (Nymölle und Roskilde) erreicht hat. Da die Moräne in Kallerup eine geringere Mächtigkeit als in Nymölle und Roskilde hat, wird angenommen, daß diese geringere Mächtigkeit eine schnellere Ableitung des Wassers bewirkt hat, wobei die chemischen Verwitterungsvorgänge gefördert worden sind. Deshalb kann man nur die Entwicklung der drei Profile erklären, wenn man die Mächtigkeit der Moränen in Verbindung mit der ganzen geologischen säule, die über dem Grundwasserspiegel liegt, in Betracht zieht.

Etude de sols bruns lessivés (Parabraunerden) au Danemark

Résumé

Cette étude est une recherche sur l'altération d'une moraine danoise, qui repose sur du gravier et du sable. Trois profils (Kallerup, Nymölle et Roskilde) ont été étudiés. Les analyses portent sur : le pH, les carbonates, la granulométrie, les minéraux légers et lourds et les minéraux argileux (qualitativement et quantitativement).

Le type de sol génétique est un sol brun lessivé (*Parabraunerde*). Les analyses démontrent qu'un profil (Kallerup) a atteint un stade d'altération plus avancé que les deux autres (Nymölle et Roskilde). Du fait que la moraine est moins épaisse à Kallerup qu'à Nymölle et à Roskilde, on suppose que cette épaisseur plus faible est cause d'un drainage accéléré, ce qui a activé l'altération chimique. Ainsi l'on ne peut expliquer l'évolution des trois profils, qu'en considérant l'épaisseur de la moraine en rapport avec la totalité des couches géologiques qui surmontent la nappe phréatique.

Studie over Parabraunerden in Denemarken

Samenvatting

Deze studie is een onderzoek over de verwerking van een Deense moraine, die op grint en zand rust. Drie profielen (Kallerup, Nymölle en Roskilde) werden onderzocht. De analyses omvatten : de pH, de karbonaten, de korrelgrootte, de lichte en de zware mineralen en de kleimineralen (kwalitatief en kwantitatief).

Het genetische bodemtype is een *Parabraunerde*. De analyses tonen aan dat een profiel (Kallerup) een verder verweringsstadium bereikt heeft dan de twee andere (Nymölle en Roskilde). Daar de moraine in Kallerup minder dik is dan die in Nymölle en Roskilde, wordt aangenomen dat die geringere dikte een snellere waterafvoer tot gevolg heeft, waarbij de chemische verwerking geactiveerd werd. Aldus kan men slechts de ontwikkeling van de drie profielen verklaren, door de dikte van de moraine te beschouwen in verband met de volledige geologische lagenopvolging, die boven de grondwaterspiegel ligt.

Study on Gray-Brown Podzolic soils (Parabraunerden) in Denmark

Summary

This study is a research on the weathering of a Danish moraine resting on gravel and sand. Three profiles (Kallerup, Nymölle and Roskilde) have been investigated. The analyses comprise : the pH, the carbonates, the particle size distribution, the light and the heavy minerals and the clay minerals (qualitatively and quantitatively).

The genetic soil type is a Gray-Brown Podzolic soil (*Parabraunerde*). The analyses show that one profile (Kallerup) has reached a more advanced stage of weathering than the two other (Nymölle and Roskilde). The moraine of Kallerup being thinner than those of Nymölle and Roskilde the drainage of the thinner moraine is believed to be quicker, resulting in an activation of the chemical weathering processes. Consequently, the development of the three profiles can only be explained when taking into consideration the thickness of the moraine in connection with the complete succession of the geological strata overlying the groundwater table.

SUR LE CALCUL DES DOSES D'IRRIGATION

Gh. A. MARINESCU

1. Introduction et objet de l'étude

L'augmentation de l'humidité initiale d'un sol jusqu'à une valeur optimale, du point de vue de la physiologie, est un problème pratique usuel de l'alimentation en eau des plantes. Cette notion d'humidité optimale a une signification précise dans le cas des plantes aquatiques et semi-aquatiques; dans les autres cas, où le cycle eau-plante se ferme par l'intermédiaire du sol, l'humidité optimale se définit en fonction de ce que le sol peut retenir et offrir, c'est-à-dire se rapporte à la capacité au champ. Celle-ci est la quantité maximum d'eau retenue par le sol, préalablement saturé, après drainage naturel.

On sait que les forces de rétention du sol pour l'eau diminuent en fonction de l'augmentation du taux d'humidité et que pour prélever de l'eau, les plantes doivent vaincre cette force de liaison. Pour que la transpiration végétale reste voisine de la valeur potentielle, il faut que l'irrigation ramène le taux initial d'humidité à la valeur de la capacité au champ avant que le déficit transpiré n'atteigne une valeur critique. Cet approvisionnement s'exprime en volume ou en hauteur d'eau et s'appelle dose d'arrosage, si on considère un seul arrosage, ou dose d'irrigation s'il s'agit de toute la période de végétation et de la quantité totale d'eau supplémentaire donnée.

Du point de vue du technicien, la première question qui surgit est le calcul de la dose d'arrosage. Selon la littérature technique, on peut grouper les méthodes de calcul en trois catégories.

1. La dose d'arrosage est fonction de la différence entre la capacité au champ w_c et un taux minimum d'humidité w_f au niveau de la zone des racines. En ce cas le problème se réduit au calcul de la quantité d'eau nécessaire pour qu'un corps prismatique de sol augmente son taux initial d'humidité d'une valeur déterminée, jusqu'à

Gh. A. Marinescu — Chercheur principal.

Institut de Recherches pour Améliorations Foncières et Pédologie — Bucarest — Roumanie.

la valeur de la capacité au champ. Une des formules proposées est la suivante [9] :

$$N = H^n (w_c - w_f) \quad (1)$$

les divers symboles ayant la signification suivante :

N : la dose d'arrosage, en centimètres,

H : la profondeur de la couche active, qui correspond à la phase de développement des plantes, lors de cet arrosage, en mètres,

n : un exposant, dont la valeur dépend des propriétés du sol et de la technique d'arrosage; pour les valeurs de H inférieures à 1 mètre, n varie de 1 à 1,2,

w_c : capacité au champ, exprimée en pourcentage de volume,

w_f : taux minimum d'humidité, exprimée en pourcentage de volume.

Une formule appliquée fréquemment en Roumanie est la suivante [2, 3] :

$$N = 1,1 H (w_c - w_f) \quad (2)$$

2. La dose se déduit de la consommation d'eau par évapotranspiration, et il en résulte une formule du type suivant [7] :

$$N = ETP - P - q \cdot \Delta t \quad (3)$$

où la signification des symboles est la suivante :

N : la dose d'irrigation,

ETP : l'évapotranspiration potentielle,

P : les précipitations atmosphériques tombées dans la période de temps considérée,

$q \cdot \Delta t$: les apports possibles du sous-sol.

3. Les doses sont obtenues par voie expérimentale à partir de valeurs limites correspondant à des productions optimales [8, 13].

L'objet de notre étude est la vérification expérimentale de la formule (2) couramment utilisée en Roumanie.

2. Technique expérimentale

A ce titre, des recherches expérimentales en champ ont été entreprises à Moara Domneasca, sur un sol argileux (cf. tableau 1).

Durant les deux années étudiées, la surface expérimentale d'environ 500 m² est travaillée de la même façon que les terres agricoles avoisinantes.

La détermination des propriétés physiques (humidité, densité apparente, poids spécifique, porosité) est faite à partir d'un grand nombre d'échantillons non perturbés.

Les valeurs du tableau 1 sont les valeurs moyennes des différents horizons, durant la durée de l'étude. Le poids spécifique réel

Tableau 1

Composition granulométrique et propriétés physiques du sol étudié

Tranche de sol cm	Composition granulométrique %			Densité apparente g/cm ³	Poids spécifique g/cm ³	Porosité %
	Argile 2μ	Limon 2-20μ	Sable 20-2000μ			
0— 7	32	28	40	1,33	2,63	49,43
7— 14	36	30	34	1,42	2,63	46,01
14— 20	33	31	36	1,47	2,64	44,32
25— 30	36	36	28	1,52	2,66	42,86
35— 40	41	35	24	1,58	2,68	41,05
45— 50	46	35	19	1,60	2,69	40,52
55— 60	53	27	20	1,59	2,69	40,89
65— 70	53	31	16	1,59	2,69	40,89
75— 80	52	28	20	1,58	2,69	41,26
85— 90	52	22	26	1,59	2,69	40,89
95—100	50	23	27	1,61	2,70	40,37
105—110	47	31	22	1,65	2,70	38,89
115—120	44	32	24	1,69	2,70	37,41
125—130	42	33	25	1,71	2,70	36,67
135—140	41	32	27	1,71	2,69	36,43
145—150	42	32	26	1,70	2,71	37,27

est déterminé par la méthode du picnomètre en recourant au toluène et à l'eau distillée (les écarts sont de quelques pour-cent en faveur des valeurs obtenues à l'aide de l'eau distillée). Les valeurs obtenues se situent entre 2,63 g/cm³ et 2,71 g/cm³ et sont en accord avec les autres résultats déjà publiés pour ces sols [10]. Les poids spécifiques apparents sont obtenus par dessèchement des échantillons à l'étuve et se situent entre 1,33 g/cm³ et 1,71 g/cm³ (en accord avec d'autres résultats expérimentaux [14] sur sols analogues). On en déduit des porosités qui s'étalent entre 49,43 % et 36,43 %; le sol peut donc être considéré comme relativement dense.

La détermination de la capacité au champ est effectuée sur une parcelle carrée de 4 m² délimitée par un cadre métallique introduit dans le sol sur une profondeur d'environ 20 cm. L'alimentation en eau de cette surface est poursuivie pendant huit jours successifs sous une hauteur d'eau variable (de 14 à 28 cm). Le recours à cette longue durée de submersion (par comparaison avec la méthode usuelle [5]) garantit la saturation — condition préalable obligatoire — sur la profondeur expérimentale de 1,50 m. Par ailleurs la nécessité de recourir à de longues durées d'humectation pour ces types de sol et pour ces profondeurs apparaîtra à la lecture de nos résultats.

A titre de comparaison, on a effectué une autre expérience sur

une colonne cylindrique de sol de 600 mm de diamètre et de même profondeur enserrée dans un tube métallique. Dans l'axe de cette colonne on fixe un tube de 2 1/2" de diamètre perforé sur toute sa surface pour accélérer l'infiltration et réaliser simultanément une alimentation en eau en surface et en profondeur. On pourrait recourir à cette technique d'humectation (ou toute autre similaire) lors des essais sur sols peu perméables, dont l'humectation est difficile et lente.

Après interruption de l'alimentation et infiltration de l'eau de surface, le sol est recouvert de claies grossières en roseaux et en prélaris pour éviter l'évaporation. Durant toute une semaine, on prélève journalièrement des échantillons non perturbés (carottes) aux différents horizons et on les sèche à l'étuve pour en déduire l'humidité journalière. La variation de celle-ci en fonction du temps t présente un caractère variable, déjà signalé dans la littérature [4] pour de tels sols. De cette évolution on déduit la capacité au champ exprimée en volume.

3. Résultats — Vérification expérimentale de la formule de calcul de la dose d'arrosage

La vérification proprement dite a consisté à comparer le profil hydrique après humectation avec le profil correspondant à la capacité au champ. L'humectation des parcelles de sol (avec ou sans délimitation métallique latérale) a été réalisée par arrosage superficiel avec une dose d'eau calculée par la formule (2) appliquée sous une hauteur constante et égale à 2 cm. En vue d'éviter les pertes par évaporation, on a pris les mêmes précautions que celles décrites ci-dessus. Quelque temps après l'infiltration on détermine l'humidité correspondant à chaque horizon pour en déduire le profil hydrique.

On trouvera ci-dessous, trois expériences différentes aboutissant toutes à la même conclusion.

1. La première consiste dans l'arrosage d'une parcelle carrée de 4 m² délimitée par un cadre métallique, pénétrant dans le sol sur quelque 2 cm. La dose est calculée pour une profondeur M de 0,50 m et est égale à 8,7 cm (arrondie à la valeur de 9,00 cm). Le lendemain de l'application on détermine le profil hydrique. Les deux profils hydriques à comparer (fig. 1) coïncident (avec des écarts normaux dus à la non uniformité du sol) jusqu'à la profondeur d'environ 21,8 cm de la surface du sol. Cela signifie que le sol se réhumecte à la valeur de la capacité au champ jusqu'à cette profondeur, malgré une dose calculée pour la rehumectation d'une profondeur de 50 cm. La différence quantitative d'eau qui en résulte

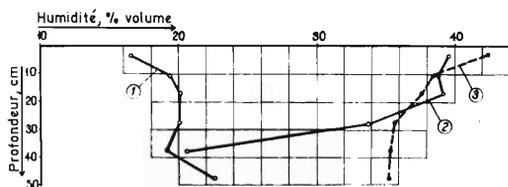


Fig. 1
 Profils hydriques.
 1 : initial.
 2 : après infiltration.
 3 : correspondant à la capacité au champ.

représente une perte, soit par diffusion latérale soit par écoulement en profondeur via des fissures éventuelles cachées.

2. Lors de la deuxième expérience la dose d'eau est calculée par la même formule pour une profondeur $H = 1,50$ m et est de 15,5 cm (arrondie à la valeur de 16,00 cm). Une colonne cylindrique expérimentale de 380 mm de diamètre (obtenue en sculptant une carotte de sol) est délimitée latéralement par un tube métallique sur la profondeur H , l'étanchéité étant réalisée par une enveloppe de plâtre. La dose calculée est appliquée sous une hauteur de 2 cm, maintenue constante par voie hydraulique, avec l'aération intermittente du réservoir d'écoulement, grâce à une petite variation de niveau. L'infiltration de la dose est poursuivie durant 4400 minutes sous une hauteur d'eau constante et durant 2800 minutes sous hauteur variable (de $h = 2$ cm à $h = 0$ cm). Le temps total d'infiltration est donc de 7200 minutes (5 jours). Deux jours après l'infiltration on détermine le profil hydrique de la colonne. La comparaison entre ce profil et celui de la capacité au champ (fig. 2) montre une intersection à environ 82,5 cm au-dessous de la surface du sol. On constate que sur cette profondeur on réalise la rehumectation du sol à une valeur supérieure à la capacité au champ, alors que par calcul on prévoyait $H = 1,50$ m. Les pertes en eau provenant des écoulements latéraux et des fissures étant évi-

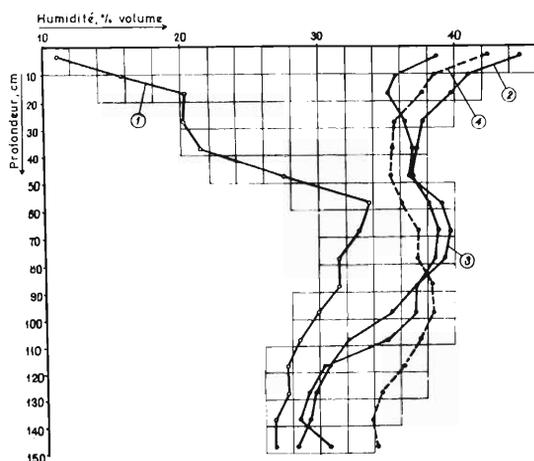


Fig. 2
 Profils hydriques.
 1 : initial.
 2 : après infiltration de la dose d'eau N : 160 mm.
 3 : après infiltration de la pluie $P = 159,0$ mm.
 4 : correspondant à la capacité au champ.

tées, on retrouve presque entièrement infiltrée la dose d'eau appliquée. La différence (environ 1,4 cm de hauteur d'eau) est due à l'évaporation lors de l'alimentation de la colonne lorsque la surface libre de l'eau n'est que partiellement protégée contre l'évaporation.

Le surplus d'eau (par rapport à la capacité au champ) accumulé dans la profondeur de 82,5 cm, est soumis à un processus de redistribution et à l'évaporation.

Mais les résultats d'une autre expérience (fig. 3) prouvent que la redistribution de l'eau dans ce sol est un processus très lent. Comme l'évaporation journalière atteint durant l'été des valeurs élevées, il est raisonnable de considérer que ce surplus d'eau s'évapore avant que le front rehumecté à la valeur de la capacité au champ n'avance sensiblement.

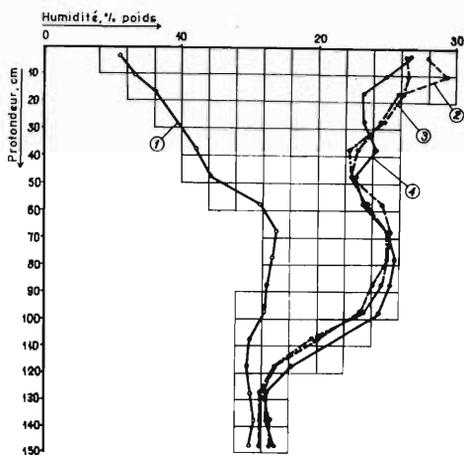


Fig. 3

Profils hydriques de redistribution.

- 1: initial.
- 2: 24 h.
- 3: 48 h.
- 4: 120 h.

Précisons qu'au point de vue des pertes effectives en eau, cette expérience à délimitation latérale de la carotte du sol, ne correspond à aucune situation de la pratique de l'irrigation, où indépendamment de la technique d'arrosage utilisée, les pertes en eau latérales (par rapport au périmètre de la surface arrosée) ne peuvent pas être évitées. Tous les cas pratiques s'assimilent donc au premier exemple. Une situation naturelle se rapproche de la deuxième expérience : celle des pluies d'automne. Cette situation est survenue par hasard durant notre expérience, avec un décalage de 3 jours, ce qui permet de considérer que les expériences sont pratiquement simultanées.

3. Dans le troisième exemple, la quantité d'eau tombée à la suite de cette pluie intermittente totalise 15,9 cm, (à comparer à 16,0 cm

de notre expérience) et la durée d'infiltration a été d'environ 7 jours (à comparer aux 5 jours de notre expérience) sous une charge superficielle nulle. Les résultats obtenus sont très proches et permettent des conclusions raisonnables, à notre avis.

Le profil hydrique moyen, obtenu deux jours après que la pluie a cessé, recoupe le profil correspondant à la capacité au champ (fig. 2) à la profondeur d'environ 84 cm au-dessous de la surface du sol. Il présente un gonflement dans sa partie moyenne (de 47,5 cm à 87,5 cm) et une contraction dans la partie inférieure suivante (de 87,5 cm à 117,5 cm). L'explication est la suivante : dans la région moyenne les couches de sol humectées par la pluie se gonflent, n'étant pas limitées rigidement comme dans le cas de la colonne expérimentale. Après gonflement ces couches retiennent plus d'eau que celles de la colonne, limitée latéralement, de notre deuxième expérience. En comparant les deux profils hydriques on constate en outre que la zone d'accumulation supplémentaire est presque compensée par le manque d'humectation des couches sous-jacentes. Il faut cependant noter qu'au voisinage de la surface, on constate un écart entre les deux profils, dû aux pertes par évaporation, car il n'a pas été possible de protéger tout le champ expérimental. En évitant ces pertes et la possibilité de gonflement des couches, on peut supposer que les deux profils hydriques auraient coïncidé.

Ces expériences démontrent qu'une dose d'arrosage calculée en fonction du déficit d'humidité rapporté à la capacité au champ, n'assure pas la rehumectation jusqu'à la valeur de cette capacité au champ sur la profondeur considérée, pour le type de sol expérimenté. En fait ces sols sont constitués *grosso modo* de deux couches de perméabilités fort différentes, la couche plus perméable de surface correspondant au labour. Une partie de l'eau utile se perd par écoulements latéraux et une autre s'accumule en excès (par rapport à la capacité au champ) sur une certaine profondeur de la couche moins perméable. Ce surplus se transforme ensuite en pertes par évaporation, l'effet de redistribution étant insignifiant. Dès lors le problème de la dose d'irrigation doit être envisagé sous deux aspects :

- a) évaluation du déficit,
- b) temps nécessaire à l'application de la dose et pertes en eau durant le processus de rehumectation.

Si on ne tient compte que du premier aspect, les résultats obtenus peuvent différer fortement de ceux escomptés [15].

Nous proposons ci-après une nouvelle méthode de calcul des doses d'arrosage, applicable aux sols analogues au nôtre, et vérifiée expérimentalement.

4. Nouvelle méthode de calcul de la dose d'arrosage

La méthode est basée sur l'égalité qui doit exister entre l'infiltration cumulée et la quantité nécessaire à rehumecter le sol, sur la profondeur H , jusqu'à la valeur correspondant à la capacité au champ tout en tenant compte des pertes. En incluant les pertes dans la valeur du déficit d'humidité, il faut adopter une valeur de référence différente de la capacité au champ.

Pour le sol argileux étudié la valeur de référence la meilleure s'est avérée la capacité de saturation. C'est ainsi que dans nos expériences, l'infiltration cumulée nécessaire N pour rehumecter le sol à la valeur de la capacité au champ sur la profondeur H correspond au déficit de saturation (déficit en eau rapporté à la capacité de saturation) de cette profondeur H (courbe $N(h)$ fig. 4).

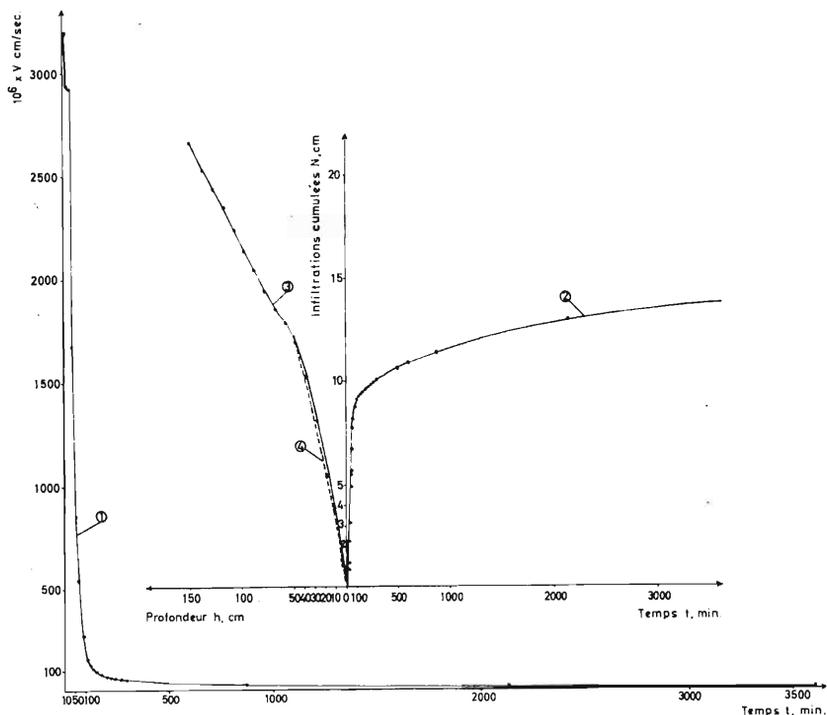


Fig. 4

- 1: courbe $v(t)$.
- 2: courbe $N(t)$.
- 3: courbe $N(h)$ correspondant à la 2^e et la 3^e expérience.
- 4: courbe $N(h)$ correspondant à la 1^{re} expérience.

La méthode implique donc la connaissance de la vitesse d'infiltration $v(t)$, déduite de l'expérience n° 2 (fig. 4). La courbe cu-

mulée de la vitesse d'infiltration fournit une courbe des hauteurs d'infiltration $N(t)$ en fonction du temps t .

Lors de la détermination de $v(t)$ et de $N(t)$ il faut éviter tous les écoulements latéraux. Cette condition ne peut être satisfaite qu'en limitant la colonne de sol par une conduite étanche ou en imperméabilisant la surface latérale de la colonne sur toute sa profondeur. A cet égard, certaines techniques actuelles [1, 5] risquent de fournir des résultats erronés.

Vérifions la méthode de calcul proposée à partir des expériences décrites au chapitre 3.

1. Dans la première expérience, on observe que la dose d'arrosage de 9,00 cm s'infiltré en 32 minutes. Sur la courbe d'infiltration cumulée $N(t)$ ce temps correspond à une hauteur d'infiltration N de 6 cm (cf. fig. 4). On en déduit une valeur h correspondant à 21,2 cm, identique à la valeur expérimentale (21,8 cm).

Pour calculer les conditions de rehumectation du sol à la valeur de la capacité au champ sur une profondeur $H = 0,50$ m, on constate, par voie graphique, qu'il est nécessaire d'appliquer une dose d'eau de 12 cm durant un temps d'infiltration t de 1270 minutes lorsque la surface immergée est délimitée sur toute la profondeur. Dans la pratique il faut ajouter les pertes latérales durant ce temps d'infiltration.

2. Une autre vérification de la méthode se déduit de la deuxième expérience. Sur une profondeur de 82,5 cm, on constate une humectation au moins égale à la valeur de la capacité au champ. La dose effective est de 14,60 cm hauteur d'eau : la hauteur h correspond sur la courbe $N(h)$ à une valeur de N de 14,90 cm et à un temps d'infiltration afférent d'environ 6000 minutes (obtenu par extrapolation). Le temps effectif d'infiltration a été de 7200 minutes (dont 4400 minutes correspondent à la hauteur constante de 2 cm et 2800 minutes correspondent à une hauteur variant de 2 cm à 0 cm). Le temps obtenu par calcul graphique représente une valeur raisonnable probable. Si nous désirons connaître le temps d'alimentation nécessaire pour que la profondeur $H = 1,50$ m se rehumecte « au moins » à la valeur de la capacité au champ (à partir de la même humidité initiale), nous obtenons immédiatement la réponse via la transposition $N(h)$ en $N(t)$: la valeur obtenue par extrapolation est d'environ 15 jours.

3. Le troisième exemple peut aussi être utilisé à titre de vérification. A la profondeur d'humectation h de 84 cm correspond une valeur $N(h)$ de 15,00 cm, et un temps d'infiltration d'environ 6370 minutes (4 1/2 jours). Si on tient compte des intermittences

sans pluie durant les 7 jours et d'une hauteur d'infiltration pratiquement nulle, le temps résultant semble pertinent.

Une des objections concernant l'application de la méthode a trait à la variabilité de la courbe $v(t)$ en fonction de la charge superficielle. On sait que l'influence de cette dernière a été mise en évidence [12]. Dans la pratique, la hauteur d'eau à la surface du sol durant l'irrigation varie de zéro à quelques centimètres et on peut considérer une valeur moyenne raisonnable de 2 cm.

4. Conclusions

1. La formule (2) de calcul de la dose d'arrosage est inapplicable aux sols lourds étudiés.
2. Les méthodes doivent tenir compte de l'aspect dynamique de l'humectation du sol, c'est-à-dire de la vitesse d'infiltration et du temps d'infiltration, caractéristiques de chaque sol. Elles doivent également tenir compte des pertes en eau durant et après l'arrosage.

La méthode proposée consiste à faire correspondre à une courbe d'infiltration cumulée une courbe de déficit hydrique calculée à partir d'une valeur de référence supérieure à la capacité au champ. Pour le sol étudié, cette valeur de référence est la capacité de saturation. La méthode suppose que le surplus infiltré est perdu par suite de l'évaporation et que la redistribution est faible. La méthode néglige la profondeur de sol sous-jacente humectée à une valeur inférieure à la capacité au champ.

On constate que la méthode propose d'associer la notion de dose à un *temps d'arrosage*.

3. Lors de la détermination de la vitesse d'infiltration il faut assurer un écoulement descendant de l'eau unidimensionnel et se méfier des résultats obtenus par les techniques [1, 5] qui ignorent cette condition.
4. Pour la détermination de la capacité au champ, il faut que le temps d'arrosage de la parcelle de sol soit suffisant. On peut le réduire en recourant à une technique proposée, qui pourrait être combinée avec des méthodes actuellement en usage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Astapov S. V.** 1958
Meliorativnoe pocivovedenie (Practicum).
Selhozgiz, Moskva.
- [2] **Botzan M.** 1953
Contributii la o metoda de determinare a regimului de irigatie.
Com. Acad. R. P. R., tome III, n° 9-10, 309-315.
- [3] **Botzan M.** 1962
Culturi irigate.
Agro-silvica, Bucuresti.
- [4] **Burrows W. C. & Don Kirkham** 1958
Measurement of field capacity with a neutronmeter.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 22 : 103-105.
- [5] **Canarache A.** 1964
Determinarea proprietatilor în legatura cu apa. In : Metode de cercetare a solului.
Ed. Acad. RPR, Bucuresti.
- [6] **Hallaire M.** 1961
Irrigation et utilisation des réserves naturelles.
Ann. agron., 12 (I), 87-97.
- [7] **Israelsen W. O.** 1955
Irrigation principles and practices.
John Willey, New York.
- [8] **Kostiakov A. N.** 1951
Bazele amelioratiei.
vol. I, I.D.T., Bucuresti (trad. du russe).
- [9] **Obrejanu Gr. et coll.** 1962
Caracterizarea agropedologica a sectorului dintre Olt si Dimbovita.
Analele Sectiei de pedologie, I.C.C.A.; 30.
- [10] **Philip J. R.** 1958
The theory of infiltration : 6.
Soil Sci., 85 : 278-286.
- [11] **Rolley P.** 1953
Améliorations agricoles — Irrigations.
Librairie T. B. Bailliere & Fils, Paris.
- [12] **Tyler L. E., T. F. Riecken & T. S. Allen** 1962
Properties and genesis of soils developed in very firm till in north-eastern Iowa.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26 : 275-281.
- [13] **Unceanschi L. & Silvia Renea** 1959
Tehnica irigatiei pe brazde simple la porumb în conditiile terasei Brailei.
Com. Acad. R.P.R., tome IX, n° 8, 837-844.

Sur le calcul des doses d'irrigation

Résumé

Le besoin en eau des plantes se calcule d'habitude soit par rapport à la capacité au champ, soit par rapport à l'évapotranspiration potentielle et s'exprime par conséquent en volume (ou en hauteur) d'eau.

L'objet de l'étude est la vérification expérimentale de la formule (2), dans laquelle intervient la différence entre la capacité au champ et l'humidité initiale du sol sur la profondeur envisagée. Les résultats expérimentaux prouvent que sur le sol argileux, sur lequel ont été effectuées les expériences (constitué d'une couche arable perméable reposant sur une couche imperméable), la formule est inapplicable. Elle néglige les pertes en eau dues aux écoulements latéraux hors du périmètre arrosé et les phénomènes d'accumulation à des teneurs supérieures à la capacité au champ. Cette eau accumulée est plutôt soumise à une forte évaporation qu'à une faible redistribution après infiltration. En raison de cet aspect dynamique de la rehumectation du sol, on propose une nouvelle méthode de calcul de la dose d'infiltration fondée sur la vitesse d'infiltration et sur le temps d'infiltration correspondant. La méthode tient compte des pertes en calculant le déficit hydrique à partir d'une valeur de référence supérieure à la capacité au champ. La méthode est vérifiée expérimentalement.

A propos de la détermination de la vitesse d'infiltration, on attire l'attention de s'assurer d'un écoulement unidimensionnel et, en conséquence, d'utiliser une technique adéquate.

Quant à la détermination de la capacité au champ de sols lourds, on signale une technique plus rapide que la technique de référence, toujours très lente.

Over de berekening van de irrigatiedosissen

Samenvatting

De waterbehoefte van de planten wordt gewoonlijk berekend hetzij t.o.v. de veldcapaciteit, hetzij t.o.v. de potentiële evapotranspiratie; ze wordt bijgevolg in volume (of hoogte) water uitgedrukt.

Het objekt van deze studie is de proefondervindelijke verifikatie van de formule (2), in dewelke het verschil tussen de veldcapaciteit en het aanvankelijk vochtgehalte van de grond over de beschouwde diepte wordt uitgedrukt. De proefondervindelijke resultaten bewijzen dat de formule toepasselijk is op de kleigrond (bestaande uit een doorlatende bouwvoor rustend op een ondoorlatende laag), waarop de proeven werden uitgevoerd. Ze houdt geen rekening met de waterverliezen die te wijten zijn aan de afvloeï naar de buitenzijde van de besproeide perimeter en aan het feit dat watergehalten die hoger zijn dan de veldcapaciteit worden vastgehouden. Dat geaccumuleerde water wordt op zijn beurt eerder aan een sterke verdamping dan aan een zwakke herverdeling na infiltratie onderworpen. Ten gevolge van dat dynamisch aspekt van de herbevochtiging van de grond, wordt een nieuwe methode voorgesteld om de irrigatiedosis te berekenen gebaseerd op de infiltratiesnelheid en op de overeenkomende infiltratietijd. De methode houdt rekening met de verliezen door het waterdeficiet te berekenen uitgaande van een referentiewaarde die hoger is dan de veldcapaciteit. De methode wordt proefondervindelijk geverifieerd.

Voor wat de bepaling van de infiltratiesnelheid betreft, wordt de aandacht

getrokken op het feit dat een unidimensionele afvloeï moet verzekerd zijn en dat bijgevolg een aangepaste techniek moet gebruikt worden.

Voor de bepaling van de veldcapaciteit van zware gronden wordt een techniek gesignaleerd die vlugger is dan de steeds zeer trage referentie-techniek.

On the calculation of the irrigation doses

Summary

The need of water of the plants is usually calculated either in connection with the field capacity or with the potential evapotranspiration; consequently it is expressed in water volume (or height).

The aim of this study is the experimental verification of the formula (2), in which the difference between the field capacity and the initial water content of the soil over the considered depth is figured. The experimental results prove that the formula can be applied on the clayey soil (consisting of a permeable plow layer on a impermeable layer), on which the experiences have been carried out. The formula neglects the water losses due to the lateral flow out of the sprinkled perimeter and the accumulation of a water content higher than that of the field capacity. This accumulated water is rather submitted to a strong evaporation than to a weak redistribution after infiltration. Due to this dynamic aspect of the remoistening of the soil, a new method to calculate the irrigation dosis based on the infiltration speed and on the correspondant infiltration time is proposed. The method takes into account the losses by calculating the hydric deficit from a reference value that is higher than the field capacity. The method is tested in an experimental way.

As for the determination of the infiltration speed, the attention is drawn to the necessity of an unidimensionnal flow and consequently of utilizing an adequate technique.

For the determination of the field capacity of heavy soils, a more rapid technique than the reference one, which is always slow, is mentioned.

Über die Berechnung der Irrigationsdosisen

Zusammenfassung

Der Wasserbedarf der Pflanzen wird üblich entweder nach der Feldkapazität oder nach der potenziellen Evapotranspiration berechnet; sie wird also im Wasservolumen (oder Wasserhöhe) ausgedrückt.

Die Absicht dieser Untersuchung ist die experimentelle Bestätigung der Formel (2), in welcher die Differenz zwischen der Feldkapazität und der anfänglichen Feuchtigkeit des Bodens in der betreffenden Tiefe dargestellt wird. Die experimentellen Untersuchungen beweisen, daß die Formel auf dem tonigen Boden (eine durchlässige Krume über einer undurchlässigen Schicht), auf dem die Versuche ausgeführt wurden, zutrifft. Sie vernachlässigt die Wasserverluste infolge des lateralen Abflusses außerhalb des besprühten Umkreises und die Tatsache, daß Wassermengen, die höher sind als die Feld-

kapazität, festgelegt werden. Dieses akkumulierte Wasser wird eher einer starken Evaporation als einer schwachen Wiederverteilung nach der Infiltration ausgesetzt. Infolge dieses dynamischen Aspektes der Wiederbefeuchtung des Bodens, wird eine neue Methode zur Berechnung der Irrigationsmenge auf Grund der Infiltrationsgeschwindigkeit und der übereinstimmenden Infiltrationszeit vorgeschlagen. Die Methode nimmt Rücksicht auf die Verluste durch das Wasserdefizit zu berechnen auf Grund eines Referenzwertes der höher ist als die Feldkapazität. Die Methode wird experimentell überprüft.

Hinsichtlich der Bestimmung der Infiltrationsgeschwindigkeit wird darauf hingewiesen, daß ein unidimensioneller Abfluß gesichert sein soll und daß infolgedessen eine angepasste Technik befolgt werden muß.

Was der Bestimmung der Feldkapazität schwerer Böden betrifft, wird eine Technik, die schneller ist als die immer sehr träge Referenztechnik, erwähnt.



TERRA ROSSA EN BULGARIE

T. BOYADJIEV

Introduction

Le nom italien indiquant des sols rouges méditerranéens — terra rossa — a été employé pour la première fois en Bulgarie en 1913 par N. POUCHKAROV [12]. En 1943, on trouve cette dénomination dans les œuvres de V. KOJNOV [9]. Par la suite, plusieurs auteurs ont été d'avis qu'il n'y aurait pas de terra rossa en Bulgarie, ceci sur base des conditions climatiques [17].

Nous avons cependant découvert récemment [2, 3], dans la région montagneuse de Strandja (fig. 1), un sol rouge, qui correspond à la définition de la terra rossa. Du fait que ce sol s'y trouve en dehors de la zone méditerranéenne typique et qu'il n'avait pas été signalé jusqu'à présent sur le territoire bulgare, nous croyons qu'il serait intéressant d'en présenter les caractéristiques et de le comparer à la terra rossa des pays méditerranéens typiques.

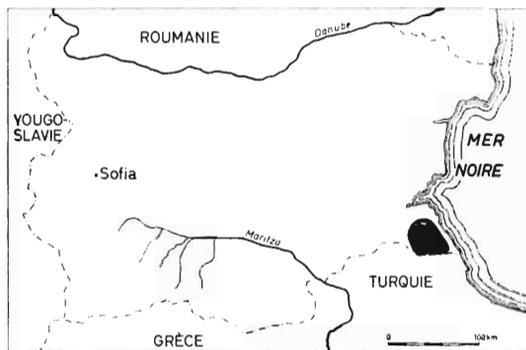


Fig. 1

La région de Strandja dans le sud-est de la Bulgarie.

La terra rossa est considérée soit comme un sol terrigène rouge sur roche calcaire, soit comme un dépôt d'altération de calcaire; il est très répandu dans les régions méditerranéennes.

KUBIENA [10] définit la terra rossa comme suit: « Zumeist humusarmer, ursprünglich entkalkter, lebhaft zinnoberrot, dunkel-

Todor Boyadjiev — Ing. agr., Lic. cartogr. des sols.
Institut de Pédologie N. Pouchkarov — Sofia — Bulgarie.

ziegelrot bis braunrot gefärbter, schlammstoffreicher Boden, der Eisenhydroxyde in Form von wasserarmen Verbindungen enthält, u.zw. vorwiegend in Gestalt von Konkretionen und von flockig-krümeligen bis feinkörnigen, das ganze Gefüge durchsetzenden Ausscheidungen ».

D'après la « 7th Approximation » [18, 19, 20] les sols du type terra rossa sont classés dans le grand groupe des rhodustalfs. Ils sont caractérisés e.a. par un horizon argilique ayant des couleurs situées dans des « hues » plus rouges que 5 YR, à « values » humides inférieures à 4 et à « values » à l'état sec ne dépassant pas de plus d'une unité les « values »(*) à l'état humide et ayant une capacité d'échange cationique supérieure à 40 méq. par 100 g d'argile. Ces sols se sont développés sous un climat méditerranéen où au cours de l'année les sols sont généralement secs pendant une période de plus de 90 jours, sans que les périodes de sécheresse consécutive ne dépassent cependant 60 jours (sous-ordre des ustalfs). D'après la profondeur de la roche on distingue deux sous-groupes : le typique et le lithique. Comme ces sols appartiennent à l'ordre des alfisols, ce sont en outre des sols minéraux sans horizon spodique ou oxique, sans épipédon mollique et ayant une saturation en bases (somme des cations) supérieure à 35 % à 1,25 m au-dessous du sommet de l'horizon argilique ou immédiatement au-dessus du contact lithique.

La définition de D'HOORE [7] des sols rouges méditerranéens correspond à peu près à celle des rhodustalfs. La couleur de l'horizon B est brun-rouge à rouge (5 YR ou plus rouge). Sur les faces des agrégats de l'horizon B les revêtements argileux sont souvent épais et continus. La saturation cationique du complexe minéral de l'horizon B est généralement supérieure à 60 % et peut atteindre 90 %. Le pH est proche de la neutralité. « Les horizons A et B sont décarbonatés. La structure de l'horizon B est polyédrique ou prismatique. La fraction argileuse est constituée de minéraux à réseau 2 : 1 avec présence de minéraux à réseau 1 : 1. La profondeur du profil n'excède généralement pas 100 cm. La transition entre l'horizon humifère et l'horizon sous-jacent est nette ».

Les caractéristiques morphologiques de la terra rossa se manifestent sous l'influence du climat ou de la roche-mère ou des deux ensemble. D'après CIRIC & ALEXANDROVIC [4] le facteur principal pour sa formation est la présence dans la roche-mère de matériaux rubéfiés à rapport $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ inférieur à 2, qui se sont accumulés après la dissolution du carbonate de calcium, donnant ainsi nais-

(*) Hue, value : termes empruntés aux « Munsell Soil Color Charts » (Baltimore, U.S.A.).

sance à la terra rossa. Dans ce cas le climat a peu d'importance pour la formation, mais influence l'évolution ultérieure du sol.

D'après REIFENBERG (cité dans DURAND) [8] l'acide silicique joue un rôle essentiel dans la formation de la terra rossa en tant que colloïde protecteur, qui favorise le mouvement du fer de bas en haut dans un milieu alcalin sous des conditions climatiques méditerranéennes.

D'après RIJKOV [13] le résidu insoluble se trouvant dans le calcaire provient du matériau terrigène qui a été apporté dans la mer sous forme de colloïde (sol) ou en solution et qui s'y est coagulé, précipité et recristallisé. Ce résidu est réparti de façon régulière et diffuse dans le calcaire et se compose généralement d'hydroxydes, kaolinite, hématite, diaspore, etc. Par suite de l'oxydation et de la transformation de Fe^{++} en Fe^{+++} , les débris résiduels du calcaire prennent une couleur rouge sous climat méditerranéen, se déplacent et remplissent les crevasses dans le calcaire, pour s'y accumuler sous forme de poches. Cette accumulation est nommée terra rossa.

Selon TAVERNIER [16] la « terra rossa a un profil avec un horizon éluvial et un horizon B textural ayant une séquence des horizons comparable à celle du sol brun lessivé ». Sous le climat méditerranéen typique, les sols bruns semblent évoluer avec l'âge vers des sols rouges.

DZENS [5] considère que les meilleures conditions pour la formation de la terra rossa se trouvent là où le calcaire est riche en matériaux rouges. Peu importe l'origine de ces matériaux : ils peuvent dater de la formation même du calcaire ou il peut s'agir d'un enrichissement secondaire.

WERNER (cité dans CIRIC [4]) a calculé que 30 à 40 000 ans sont nécessaires pour la formation de 30 cm de terra fusca sur un calcaire qui contient 7 % de débris insolubles. Il en conclut que l'âge absolu des sols sur calcaire est toujours très grand, ce qui ne signifie pas nécessairement qu'ils soient toujours des sols relictés. D'après POLINOV [11] la terra rossa en Crimée est très ancienne mais pas relicté, car les conditions climatiques actuelles en Crimée permettraient sa formation.

Selon DURAND [8] la terra rossa est une formation rouge fossile des pays karstiques qui donne naissance à un sol actuel caractéristique du climat local. La terra rossa est « l'équivalent des latérites du plateau dues à l'accumulation relative des éléments absorbés par l'argile dont la nature est d'ailleurs la même dans les deux types de sols ». Elle a subi au moins deux cycles de pédogenèse : le premier leur a enlevé surtout de la silice et des carbonates alcalino-terreux; le deuxième, plus récent, leur a enlevé surtout du

fer; le dernier cycle, qui se poursuit encore de nos jours, peut masquer la pédogenèse initiale.

Conditions physico-géographiques et bio-climatiques

La terra rossa typique en Bulgarie se trouve dans la région de Strandja, une chaîne de montagnes basses, à surface légèrement ondulée et profondément découpée par les rivières, qui occupe la partie sud-est du pays et qui se continue sur le territoire turque. Le climat y est méditerranéen continental, mais au sud de la rivière Veleka, où se trouve la terra rossa qui fait l'objet de cette étude, le climat actuel est bien typiquement méditerranéen [14]. Les précipitations moyennes annuelles y sont de 800 à 950 mm. Pendant le mois de décembre les précipitations sont 5 à 7 fois plus fortes que celles du mois d'août. La température moyenne annuelle est de 10,5 à 12°C; pendant la période à température de plus de 10°C, la somme de la température est d'environ 3500°C.

La végétation dominante dans la montagne de Strandja est une forêt mixte à chêne (*Quercus sessiliflora*) et à hêtre (*Fagus orientalis*). On y trouve des espèces sub-méditerranéennes, méditerranéennes et d'origine kolchido-pontique. De toutes les espèces végétales 46,8 % accusent une influence méditerranéenne. D'après N. STOYANOV [15] la végétation a un caractère relicté, parce que la région de Strandja n'a pas été submergée pendant le Tertiaire; elle se trouvait très loin des zones glaciaires pendant le Pléistocène et les conditions climatiques y ont été favorables pour le type de végétation existante.

La composition des cendres de chêne dans la région où est situé le profil est représentée dans le tableau 1. Elle montre une très haute teneur en CaO et K₂O, et une haute teneur en Fe₂O₃ en comparaison avec des échantillons provenant d'autres régions.

La roche-mère est un calcaire marbreux, d'âge jurassique, contenant 3,95 % Si₂O + R₂O₃, dus à la présence de minéraux primaires et secondaires dans le calcaire même. Comme minéraux primaires on y trouve du quartz, des plagioclases, du zircon, de l'épidote et de la hornblende; les minéraux secondaires sont l'illite, l'halloysite et la calcédoine.

Tableau 1

Composition chimique des cendres de chêne (*Quercus ceris*) en %

Echantillon	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Parties au-dessus du sol (feuilles et branches)	3,12	2,19	0,28	2,47	38,21	3,32	18,09	5,72
Racines	3,07	0,80	1,43	2,23	54,64	2,87	3,64	3,94

Etude d'un profil de terra rossa

Profil 756

Localisation : 2-4 km au nord-ouest de la ville de M. Tyrnovo et 100 m de la route M. Tyrnovo-Bourgas.

Dates : 18 octobre 1962, 14 novembre 1965.

Classification : terra rossa (sol rouge méditerranéen sur calcaire, tcerventcea, rhodustalf).

Végétation : chênaie (*Quercus sessiflora*, *Q. ceris*).

Roche-mère : calcaire marbreux jurassique; en surface on observe des phénomènes de karst.

Position géomorphologique : région montagneuse de Strandja.

Altitude : environ 350 m.

Relief : subnormal.

Pente simple : quasi nulle

 complexe : faiblement ondulée.

Erosion : pas d'érosion actuelle.

Drainage : légèrement excessif.

Pierrosité : assez bien de débris rocheux.

Activité biologique : assez intense dans les premiers 25 cm; peu de racines jusqu'à 50 cm.

Données climatiques :

Mois	Précipitation (mm)	Température (°C)(*)
Janvier	114	2,4
Février	102	2,0
Mars	77	4,6
Avril	61	8,6
Mai	64	13,3
Juin	74	18,1
Juillet	44	20,8
Août	23	20,6
Septembre	64	17,6
Octobre	84	13,3
Novembre	121	9,2
Décembre	108	4,6
Année	987	11,1

(*) Calculée d'après les données de température de la station Mitchourin (près de la Mer Noire), située à 11 m d'altitude et à 55 km à l'est du profil étudié.

Description

A₁₁ 0-2 cm

Argile limoneuse — Brun rougeâtre (5 YR 3.5/4) à l'état sec, brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3-4) à l'état humide, brun foncé (7.5 YR 3/2) à l'état pétri humide — Peu dur (sec), adhésif, plastique, extrêmement ferme — Structure polyédrique subangulaire fine et moyenne, moyennement développée — Fortement enraciné — Limite inférieure abrupte et régulière.

A₁₂ 2-8 cm

Argile limoneuse — Brun rougeâtre (5 YR 4/4) à l'état sec, brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4) à l'état humide et pétri humide (5 YR 3.5/4) — Peu dur (sec), adhésif, plastique, très ferme — Structure polyédrique angulaire fine et moyenne, moyennement développée — Très poreux — Racines nombreuses, quelques trous de lombrics, ayant des revêtements argileux minces et discontinus — Limite inférieure distincte et régulière.

B₂₁ 8-25 cm

Argile très lourde — Rouge foncé (2.5 YR 3.5/6) à l'état sec, humide (2.5 YR 3/6) et pétri humide (2.5 YR 3/6.5) — Peu dur (sec), adhésif, plastique, friable — Structure polyédrique angulaire fine et moyenne, moyennement développée — Très poreux — Quelques trous de lombrics, bien enraciné — Revêtements d'argile minces et discontinus — Quelques petits grains de quartz délavés et fragments de calcaire de 10-15 cm avec arêtes arrondies et recouvertes d'une pellicule rougeâtre; au contact de ces fragments l'argile est calcaire — Limite inférieure diffuse et régulière.

B₂₂ 25-50 cm

Argile très lourde — Rouge (2.5 YR 4/6) à l'état sec, rouge foncé (2.5 YR 3/6) à l'état humide et pétri humide (2.5 YR 3.5/6.5) — Peu dur (sec), adhésif, plastique, friable — Structure polyédrique angulaire, fine, moyenne et grossière, moyennement développée, quelques agrégats arrondis de 1-1,5 cm de diamètre — Très poreux — Peu de racines — Revêtements d'argile bien visibles — Limite inférieure abrupte et très irrégulière.

R +50 cm

Calcaire dur fracturé en fragments à arêtes arrondies par dissolution et recouvertes d'une pellicule brunâtre — Pénétration d'argile dans les crevasses et les fentes.

Le profil est assez rouge et sa couleur (« hue » et « value ») à l'état sec et humide satisfait aux critères de la « 7th Approximation » pour le rhodustalf. L'horizon B textural est bien prononcé.

Données analytiques — Discussion des tableaux 2 à 8

Tableau 2 — La teneur en argile augmente fortement dans les parties moyenne et basse du profil. La teneur en humus est assez élevée dans tous les horizons, mais surtout dans l'horizon A (0-8 cm). La réaction est légèrement acide à neutre. Il y a une haute capacité d'échange et la saturation en bases augmente en profondeur.

Tableau 2

Données analytiques générales

Hor.	Prof. échant. cm	Humus (Tiurin) %	N (Kjeldahl) %	C/N	CEC (Mehlich) meq./ 100 g	V %	pH		Composition granulom. %		
							H_2O	KCl (5:1)	2 μ	2-50 μ	50 μ - 2 mm
A ₁	0-1	17,53	0,686	14,8	—	47,1	6,8	6,4	—	—	—
	1-8	6,98	0,306	13,2	31	47,1	6,0	5,4	37,6	54,9	7,5
B ₂	8-15	3,21	0,180	10,3	29	42,1	5,5	4,6	64,2	32,1	3,7
	17-27	2,45	0,142	10,0	37	61,1	6,3	5,4	64,2	34,0	1,8
	35-45	2,18	0,140	9,0	—	—	—	—	—	—	—

Tableau 3 — La composition chimique totale du sol montre une différenciation bien prononcée en profondeur. La teneur en silice est plus haute dans les horizons superficiels, tandis que celle en sesquioxides augmente en profondeur. La teneur en calcium est importante dans l'horizon A₀, suite à l'accumulation biologique.

L'analyse totale de la fraction colloïdale montre que la teneur en aluminium ne change pas en profondeur, mais que celle du fer augmente dans l'horizon B₂ d'environ 4 %. Par contre la teneur en SiO₂ diminue. L'accumulation du fer dans la fraction colloïdale de l'horizon B₂ se reflète dans le rapport molaire SiO₂/Fe₂O₃.

Tableau 3

Composition chimique totale du sol, de la roche calcaire et de la fraction colloïdale

Prof. échant. cm	Eau pyrosco- pique	Perte par calcination	en % de la partie non organique						Fraction colloïdale < 0,001 mm		
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃
0-1	9,34	37,59	59,40	8,25	21,19	29,44	5,19	1,62	—	—	—
1-8	5,45	15,17	63,00	7,77	20,09	27,86	1,98	1,46	—	—	—
17-27	7,44	12,48	49,68	11,99	28,53	40,52	1,96	1,52	—	—	—
	0,45	0,69	2,34	0,09	1,52	1,61	53,53	1,29	2,52	2,61	6,96
0-1	—	—	48,28	10,27	36,95	47,22	0,25	1,63	1,89	2,22	12,51
1-8	—	—	48,10	10,44	37,33	47,77	0,39	1,56	1,86	2,19	12,30
17-27	—	—	45,94	14,05	37,40	51,45	0,27	1,23	1,69	2,09	8,73

Tableau 4 — Lorsqu'on calcule l'appauvrissement et l'accumulation en Si, Al, Fe, Ca et Mg dans le sol, exprimés en % de la teneur des oxydes correspondants dans la roche-mère, on constate que l'accumulation du fer est la plus importante, suivie par celle du silice et de l'aluminium. Les horizons A sont enrichis en Si et appauvris en Fe et Al, tandis que dans la partie moyenne du profil c'est le contraire. L'accumulation de Si dans le sol par rapport à la roche-mère est bien plus grande que le déplacement de Si dans le profil.

Tableau 4

Bilan du Si, Al, Fe, Ca et Mg (exprimés en oxyde)

Hor.	Prof. échant.	Appauvrissement (—) et accumulation dans le sol exprimés en % de la teneur dans la roche-mère				
		<i>cm</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>CaO</i>
A ₁	0—1	1554	808	5870	—94	—58
	1—8	1658	762	5500	—97	—82
B ₂	17—27	1286	1119	8540	—97	—73

Tableau 5 — Dans ce cas il est intéressant de connaître la forme sous laquelle se trouve le fer. Les formes les plus mobiles du fer extraites avec de faibles dissolvants (0,2 N HCl, 1 N H₂SO₄-2 h) sont en quantité moindre que celles extraites avec de forts dissolvants (méthode de Deb) ou par une action continue (28 jours) de 1 N H₂SO₄. Il en est de même pour l'aluminium qui possède une plus grande stabilité que le fer. D'autre part on constate une augmentation de la forme plus stable des sesquioxydes dans l'horizon B. Il s'agit évidemment d'une plus forte cristallisation des composés de fer et d'aluminium et/ou pénétration dans le réseau cristallin de minéraux argileux.

Tableau 6 — Typiques pour le profil étudié sont le très haut pourcentage de carbone résiduel et la dominance de l'acide fulvique ($C_{ac.h.}/C_{ac.f.} = 0,3-0,6$). La substance humique est généralement liée au calcium (fraction I). La quantité d'acide fulvique et surtout d'acide humique liée aux sesquioxydes (fraction II) est minime, ce qui peut s'expliquer par la faible teneur en fer le plus mobile. D'autre part l'augmentation de la fraction II de l'acide fulvique dans l'horizon B indique une accumulation des sesquioxydes dans cette partie du profil, sous forme de complexes d'organo-minéraux. Ceci est en accord avec la plus faible densité optique de l'acide humique, ce qui ressort du rapport $E_4/E_6 > 4$ (fig. 2). On sait que l'acide humique avec une densité très faible possède un très haut degré d'hydrophilie, mobilité et tendance pour la formation de composés

Hor.	Prof. échant.	0,2 N HCl		1,0 N H ₂ SO ₄										Méthode Tamm		Méthode Deb
				2 heures		1 jour		6 jours		15 jours		28 jours				
		cm	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
A ₁	0-1	0,02	0,40	0,10	0,30	0,30	0,49	0,73	0,73	1,28	1,02	1,74	1,47	0,66	0,48	3,50
		0,3	1,9	1,2	1,4	3,6	2,3	8,9	3,4	15,5	4,8	21,1	6,9	8,0	2,3	42,4
	1-8	0,04	0,47	0,15	0,41	0,42	0,62	1,04	0,93	1,70	1,19	2,24	1,85	0,74	0,52	4,80
		0,5	2,3	1,9	2,0	5,4	3,1	13,0	4,6	21,9	5,9	28,8	9,2	9,5	2,5	62,4
B ₂	17-27	0,02	0,74	0,12	0,58	0,46	1,04	1,46	1,54	2,74	2,00	3,68	3,10	0,91	0,89	6,75
		0,2	2,6	1,0	2,0	3,8	3,7	12,2	5,4	22,8	7,0	30,6	10,9	7,6	2,6	56,3

Numérateur : % en fer et en aluminium libres.

Dénominateur : même quantité en % du fer et aluminium totaux.

Tableau 6 — Composition de l'humus

Hor.	Prof. échant.	C org. % du	Substance organique extraite			Acide humique			Acide fulvique			C résiduel	C _{ac.h} C _{ac.f}	Acide humique extrait au 0,1 N NaOH		E ₄ E ₆	
			poids du sol	par l'alcool et le benzol	lors de la décalcification	lors de l'hydrolyse	Fraction			Fraction				C org. total %	acide hum. %		
							I	II	I+II	I	II						I+II
A ₁	0-1	9,94	0,27	0,47	0,58	1,46	0,22	1,68	2,23	0,62	2,85	4,09	0,59	0,16	3,7		
		100,0	2,7	4,7	5,8	14,7	2,2	16,9	22,4	6,24	28,7	41,20	1,61	9,52	5,0		
	1-8	3,60	0,12	0,25	0,08	0,48	0,07	0,55	1,39	0,31	1,70	0,90	0,32	0,07			
	100,0	3,3	7,0	2,2	13,3	1,9	15,3	38,6	8,6	47,2	25,0	1,94	12,72				
B ₂	17-27	1,33	0,04	0,09	0,06	0,17	0,04	0,21	0,24	0,13	0,37	0,56	0,57	0,03	4,4		
		100,0	3,0	6,8	4,5	18,8	3,1	15,7	18,1	9,8	27,8	42,0	2,26	14,28			

Numérateur : teneur en C dans différents groupes de matière organique en % de poids du sol séché à l'air.

Dénominateur : même quantité en % du C organique total.

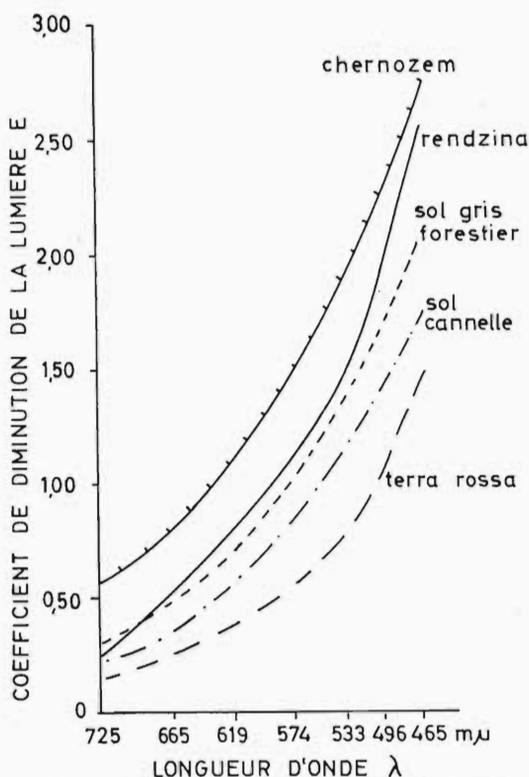


Fig. 2

Densité optique de l'acide humique.

avec les cations polyvalents (chélates). D'après la fig. 2, la densité optique de l'acide humique dans la terra rossa est essentiellement différente de celle des autres types de sol en Bulgarie.

Tableau 7 — L'étude micromorphologique confirme les constatations qui ont été faites jusqu'à présent. Le plasma a une couleur rouge brunâtre avec des plages plus jaunâtres; il est instable avec de nombreuses séparations du type mo-ma-skel-vosepic; le mouvement d'argile est très bien marqué dans l'horizon B sous la forme de cutans et striotubules. Des caractéristiques du type glaebules (nodules, concrétions etc.) ne sont pas abondantes. Les minéraux primaires sont généralement de petits grains arrondis de quartz et de feldspaths; certains minéraux sont transformés en papules. Les minéraux lourds sont généralement représentés par le grenat, l'épidote, la hornblende verte et opaque.

Les analyses aux rayons X et thermique différentielle et l'étude au microscope électronique montrent une présence de kaolinite, illite, quartz, oxyde et hydroxyde de fer. Les minéraux argileux ne changent pas qualitativement et quantitativement en profondeur. Ces composés minéralogiques concordent avec le rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ pour la fraction colloïdale.

Tableau 7

Minéraux lourds (en %)

Hor.	Prof. échant. cm	Opaque	Tourmaline	Zircon	Rutile	Titanite	Andalousite	Staurolite	Sillimanite	Grenat	Zoisite	Epidote	Enstatite	Augite	Hornblende brune	Hornblende verte	Altérite	Corindon
A ₁	0-1	19	1	2	1	2	3			48		21				18	2	
	1-8	24	2	5	1	4	9			47	2	19		1		9	4	
B ₂	8-15	49	2			1	5	1		60		14			1	10	5	1
	17-27	14	3	4			4	2	1	54		12	4			4	12	

Tableau 8 — La terra rossa de Strandja est semblable à celle de Grèce, de Yougoslavie et d'Algérie et possède toutes les caractéristiques nécessaires à ce type de sol. La différence est que la terra rossa en Bulgarie est un peu plus acide, plus désaturée en bases et plus humifère. D'après la « 7th Approximation » on peut classer le profil étudié comme rhodustalf lithique.

Tableau 8

Comparaison des sols du type terra rossa en différents pays

Caractéristiques	Algérie	Grèce	Yougoslavie	Bulgarie	
SiO ₂ /R ₂ O ₃ {	sol	1,2-1,4	2,6-4,4	2,8-4,3	
	fract. coll.	—	—	1,7-1,8	
	roche-mère	5,82	2,0-4,0	1,3-2,3	2,5
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ {	sol	1,4-1,8	3,2-5,5	3,5-5,4	3,0-5,3
	roche-mère	7,5	7,1	1,9-3,2	2,6
Minéraux argileux	kaolinite illite	kaolinite illite quartz	kaolinite vermiculite	kaolinite illite quartz	
Fe ₂ O ₃ libre (Deb) (%)	—	2,0-4,0	5,0-7,5	4,8-6,8	
Cations échang. (méq./100 g)	—	33-35	23-34	29-37	
Saturation en bases (%)	—	—	58-73	42-61	
pH (H ₂ O)	7,3-8,1	6,9-7,3	6,2-6,9	5,5-6,3	
Humus en surface (%)	2,1-4,1	1,8-4,5	3,0-3,3	1,8-8,0	
Couleur du B _t	brun rougeâtre	2,5 YR4/6	2,5 YR 4/4	2,5 YR 4/6	

Les analyses et les descriptions micro- et macromorphologiques mettent en évidence une perte en fer de l'horizon superficiel, une diminution du pH et de la saturation en bases dans la partie supé-

rieure de l'horizon B et un revêtement argileux très prononcé. Ceci démontre que sous l'influence de la pédogenèse, les sols actuels évoluent vers des sols décalcifiés, désaturés et lessivés avec formation d'un horizon argilique riche en fer. Cette évolution s'est réalisée en partie sous l'influence de l'acide fulvique et humique.

D'autre part, par rapport à la roche-mère, le sol est appauvri en calcium et en magnésium et enrichi en silicium, aluminium et surtout en fer. Ces données s'accordent avec celles de la composition de la partie minérale dissoute dans l'eau de drainage de la région étudiée (tableau 9). Les eaux sont bien minéralisées, riches en HCO_3 , Ca, Na + K, Si et Mg, tandis que la teneur en fer est minime. Ceci démontre que l'évolution du sol dans la région est en liaison avec la migration du carbonate de calcium et magnésium et de silice dissout, tandis que les sesquioxides restent fixés par l'argile de néoformation résultant en une accumulation relative [6].

Tableau 9

Analyse des eaux de drainage (mg/l) de la rivière Veleca

Année	Ca	Mg	Na+K	HCO_3	SO_4	Cl	Somme	Si	Fe
1953	36,8	14,1	21,8	202,3	12,6	11,7	305,2	9,8	0,39
1954	34,9	10,6	15,7	172,8	8,7	9,5	253,5	8,5	1,1
1957	31,6	5,4	17,2	142,8	5,4	9,4	208,0	4,2	3,3
1958	30,8	6,3	25,7	154,5	10,7	10,8	245,5	15,1	2,5

Ces processus se sont déroulés pendant une période précédant l'époque géologique actuelle, mais cela n'est pas une raison pour considérer la terra rossa comme un sol relicté, vu que pour sa formation des conditions pédogénétiques nouvelles n'ont pas été nécessaires.

Conclusion

Les sols de la région montagneuse de Strandja du type terra rossa (synonymes : sol rouge méditerranéen sur calcaire, rhodustalf et partiellement tcervnitcea) possèdent toutes les caractéristiques nécessaires à ce type de sol et sont semblables à ceux des régions méditerranéennes typiques.

La terra rossa en Bulgarie est un sol ancien, mais elle n'est pas un sol relicté. Sa formation est liée à la migration du carbonate de calcium et de magnésium et à l'accumulation relative des sesquioxides. Les processus actuels vont en direction de la décalcification, désaturation et lessivage.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Antipov-Karatov I. & I. G. Tchurupa.**
Sur le rôle de la roche-mère dans la pédogenèse.
Recueil « Recherche dans le domaine de genèse du sol ». Moscou, 1963
(en russe).
- [2] **Boyadjiev T.**
Discussion. Soils of southeastern Europe.
Sofia, 1964 (en russe).
- [3] **Boyadjiev T.**
Les sols développés sur des calcaires en Bulgarie.
VIII^e Congrès Int. de la Sc. du Sol. Bucarest, 1964.
- [4] **Ciric M. & D. Alexandrovic.**
An observation on the genesis of terra rossa.
Belgrade, 1959 (en yougoslave).
- [5] **Dzens & N. N. Litovskaj.**
Le sol rouge — terra rossa.
La Nature, n° 2. Moscou, 1941 (en russe).
- [6] **D'Hoore J. L.**
L'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux.
Publ. de l'INEAC, série scient. n° 62. 1954.
- [7] **D'Hoore J. L.**
La carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000. Mémoire explicatif.
Commission de coopération technique en Afrique, Publication 93. Lagos,
1964.
- [8] **Durand J. H.**
Les sols rouges et les croûtes en Algérie.
Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural. Birmandreis, Alger,
1959.
- [9] **Kojnov V.**
Les sols dans le canton de Radomir.
Recueil de l'Académie des Sciences de Bulgarie, vol. 2. Sofia, 1943 (en
bulgare).
- [10] **Kubiëna W. L.**
Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas.
Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Institut für Bodenkunde,
Madrid, 1953.
- [11] **Polinov B. B.**
Les sols dans les régions de l'URSS avec climat méditerranéen et humide
subtropical.
Les travaux choisis. Editions de l'Académie des Sciences de l'URSS.
Moscou, 1956 (en russe).
- [12] **Pouchkarov N.**
Esquisse géologique-pédologique de la plaine de Sofia.
Sofia, 1913 (en bulgare).
- [13] **Rijikov D. V.**
Sur l'altération des calcaires.
Les travaux de l'Institut Géologique, série 42. Sverdlovsk, 1959 (en russe).
- [14] **Sabev L. & S. Stanev.**
Les régions climatiques en Bulgarie et leur climat.
Bulletin of the Institute of Hydrology and Meteorology, vol. V. Sofia,
1959 (en bulgare).

- [15] **Stoyanov.**
Manuel de géographie végétale.
Sofia, 1960 (en bulgare).
- [16] **Tavernier R.**
Sur quelques sols des régions méditerranéennes.
Pédologie VII. Gand, 1957.
- [17] **XXX.**
Les sols en Bulgarie. Moscou, 1959 (en russe).
- [18] **XXX.**
Soil Classification. A Comprehensive System — 7th Approximation.
Dept. of Agriculture. Washington, 1960.
- [19] **XXX.**
Soil Survey — Classification and Correlation — New classification system.
Washington, 1964.
- [20] **XXX.**
Key to Orders, Suborders & Great Soil Groups.
Revised April 18, 1966. West Regional Technical Service Centre. Soil
Conservation Service, USDA. Portland, Oregon, 1966.

Terra rossa en Bulgarie

Résumé

Selon la plupart des pédologues bulgares il n'y aurait pas de terra rossa en Bulgarie, étant donné que les conditions climatiques sont défavorables pour sa formation.

L'auteur a cependant découvert dans la région montagneuse de Strandja un sol rouge, qui possède toutes les caractéristiques pour le classer parmi les terra rossa* (synonymes : sol rouge méditerranéen sur calcaire, rhodustalf et partiellement tcervenitcea). Il en discute la macro- et la micromorphologie, la composition chimique totale de la roche-mère, du sol et de la fraction colloïdale, les formes mobiles du fer et de l'aluminium (extraites avec différents dissolvants), les formes et la composition de l'humus, la composition minéralogique (minéraux primaires et minéraux argileux).

La terra rossa de la Bulgarie est semblable à celle des régions méditerranéennes typiques. La seule différence est que la terra rossa de Strandja est un peu plus acide, moins saturée en bases et plus humifère. C'est un sol ancien, mais pas relicté. Sa formation est caractérisée par la migration du carbonate de calcium et de magnésium et par l'accumulation relative des sesquioxides. Les processus actuels vont en direction de la décalcification, la désaturation et le lessivage.

Terra rossa in Bulgarije

Samenvatting

Volgens de meeste Bulgaarse bodemkundigen zou er in Bulgarije geen terra rossa bestaan, daar het klimaat de vorming ervan niet zou mogelijk maken.

De auteur heeft nochtans in het berggebied van Strandja een rode bodem gevonden, die alle nodige kenmerken bezit om als terra rossa geklasseerd te worden (synoniemen: rode mediterrane bodem op kalksteen, rhodustalf en ten dele tcervenitcea). Hij bespreekt de macro- en micromorfologie, de scheikundige samenstelling van het moedergesteente, van de bodem en van de colloïdale fractie, de mobiele vormen van het ijzer en van het aluminium (geëxtraheerd met verschillende oplosmiddelen), de vormen en samenstelling van de humus, de mineralogie (primaire mineralen en kleimineralen).

De terra rossa van Bulgarije lijkt sterk op die van de typisch mediterrane gebieden. Het enige verschil is dat zij wat zuurder, minder verzadigd in basen en humusrijker is. Het is een oude maar geen relict bodem. Haar vorming wordt gekenmerkt door de migratie van calcium- en magnesiumcarbonaat en door de relatieve aanrijking van sesquioxiden. De huidige ontwikkeling gaat in de richting van een ontkalking, desaturatie en uitloging.

Terra rossa in Bulgaria

Summary

According to the majority of the Bulgarian soil scientists the terra rossa would not occur in Bulgaria, due to the fact that the climate is not adequate for its formation.

In the mountain area of Strandja however the author has found a red soil that has all the characteristics of terra rossa (synonyms: red mediterranean soil on limestone, Rhodustalf, partly *tervenitcea*). He discusses its macro- and micromorphology, the total chemical composition of the parent rock, the soil and the colloidal fraction, the mobile forms of iron and aluminum (extracted by different solvents), the forms and the composition of the humus, the mineralogy (primary minerals and clay minerals).

The terra rossa of Bulgaria is very similar to that of the typical mediterranean areas. Its only differences are a little more acidity, a lesser saturation and a greater richness in humus. It is an old but not a relict soil. Its formation is characterized by the migration of calcium- and magnesium carbonate and by an accumulation of sesquioxides. The actual evolution tends to a decalcification, desaturation and leaching.

Terra rossa in Bulgarien

Zusammenfassung

Nach den meisten bulgarischen Bodenkundlern soll es in Bulgarien keine Terra rossa geben, weil die klimatischen Bedingungen ihre Bildung nicht ermöglichen.

Der Autor hat jedoch im Bergland von Strandja einen roten Boden gefunden, der alle notwendigen Merkmale besitzt, um als Terra rossa klassiert zu werden (Synonyme: roter mediterraner Boden aus Kalkstein, Rhodustalf, zum Teil *Tervenitcea*). Er behandelt die Makro- und Mikromorphologie, die chemische Zusammensetzung des Muttergesteins, des Bodens und der feinen Fraktion, die beweglichen Formen des Eisens und des Aluminiums (mit verschiedenen Extraktionsmittel extrahiert), die Formen und Zusammensetzung des Humus und die Mineralogie (primäre Minerale, Tonminerale).

Die Terra rossa Bulgariens ist derjenigen der typischen mediterranen Gebiete sehr ähnlich. Der einzige Unterschied besteht darin, daß sie etwas saurer, weniger gesättigt und humusreicher ist. Ihre Bildung wird durch die Migration des Calcium- und des Magnesiumkarbonats und durch die relative Anreicherung der Hydroxyde gekennzeichnet. Die heutige Entwicklung geht in Richtung einer Entkalkung, Entsättigung und Lessivierung.

STUDY OF SOIL STRUCTURE AND SOIL PHYSICAL FERTILITY ON LARGE MECHANIZED FARMS

3rd COMMUNICATION

CORRELATION BETWEEN CROP YIELDS IN A TOPOSEQUENCE OF THE BELGIAN LOESS-LOAM LANDSCAPE AND THE SOIL WATER ECONOMY DURING THE YEARS 1964 & 1965

L. DE LEENHEER, M. DE BOODT & E. ROBBERECHTS

In an agricultural practice where chemical fertilizers are amply applied and selected seeds are used, the limiting factor in yields is often to be found in the interrelationship between the physical properties of the soil and the climatological conditions.

Physical factors can be assessed in different ways, but their choice to study the correlation with crop yields should be appropriate to the region and the prevailing climate. Therefore, in this study made on dry loess-loam deposits in eastern Belgium, the soil water economy (based on the variation in soil moisture content with time) has been selected as a good soil fertility factor; the authors believe it to be a good indicator, integrating soil physical properties and climatological weather conditions. However, it is not the intention to consider water economy alone as other growth parameters, such as the air economy, might be involved especially in a very wet year like 1965.

The sole consideration of physical conditions of the soil cannot be sufficient to get an insight into yield variations, as plant production is after all a conversion of energy into dry matter; therefore solar radiation during the vegetation period must also be considered.

L. De Leenheer, Dr. sc., Professor.

M. De Boodt, Dr. agr., Professor.

E. Robberechts, Agr. eng., Assistant.

Faculty of Agronomy — Ghent - Belgium.

CONTENTS

1. Characterisation of water and air economy in the soil
 11. Gravimetric or radio-active determination of the soil moisture content
 12. Determination of the plant available water
 121. Preliminary determination of the pF-curve
 122. Field capacity as a laboratory determination versus field capacity as a field reality
 123. Determination of the actual field capacity by a graphic correction of the laboratory data
 124. Calculation of the plant available water
 13. Determination of the non-available water
 14. Determination of the water-free pores or available air
2. Characterisation of climatological conditions in respect to plant growth
 21. Determination of the potential evapotranspiration (ET_p)
 22. Wheat production and potential evapotranspiration rate
 23. Crop production and insolation
3. An integration of soil physical factors and climatological conditions
4. Summary and conclusions

Résumé — Samenvatting — Zusammenfassung

1. CHARACTERISATION OF WATER AND AIR ECONOMY IN THE SOIL

When attempting to characterise water economy during a vegetation period, the first requirement is to find a suitable method for the determination at regular intervals of the soil moisture content throughout the profile and to interpret the results in terms of water availability for plant growth.

11. Gravimetric or radio-active determination of the soil moisture content

As it was decided that the soil moisture profile should be determined every fortnight during the growing season, it was logical to check the quick radio-active determination against the more elaborate method of taking soil samples with an auger at different depths and a subsequent determination of the moisture content by drying the samples in an oven at 105°C. However, the latter method — called gravimetric determination — is considered to be the right one. Consequently the standard deviation of this method was first studied.

On a small surface of 1 m² and at a depth of 60 cm on the plateau of the loess-loam toposequence, 50 soil samples were taken with an auger. The moisture content was determined gravimetrically taking 10 g of each sample(*). For a mean water content of 15.1 weight percent the standard deviation was 0.4.

To determine the standard deviation of the neutron scattering method (with a Berthold neutron moisture meter) the readings were done in the same auger hole, but at different time intervals.

(*) The gravimetric moisture determination of soil profile samples is made as follows: with an auger a ± 50 g soil sample is taken from a given depth (samples taken in duplicate from 2 borings) and put into a 30 cm³ bottle. The bottle (with a tightly closing plastic snap cap) must be filled completely to avoid water evaporation and subsequent condensation on the bottle wall. Transportation to the laboratory is made in adapted wooden boxes. In the laboratory a 10 g sample is taken by pushing a cork-gimlet into the soil-containing bottle. The cork-gimlet is then withdrawn and easily emptied with a pencil over a calibrated metal sample dish (sold with the electrical oven described below). The inside diameter of the cork-gimlet being 12 mm and the useful height of the bottle being 6 cm, only small corrections are to be made for taking exactly 10 g soil samples. These samples are dried at 105°C for 1 to 1 1/2 hour (depending on the clay content of the soil) in a semi-automatic electrical oven, type « Brabender » (Duisburg, Germany, F. R.). The oven is equipped with a warm-air blower, a special revolving table for 10 calibrated sample dishes and a built-in balance, allowing a direct reading of the percentage moisture loss.

The readings made at the different depths were in fact paired observations, the neutron source being lowered for the first series of countings and raised for the second series. The standard deviation obtained this way (on the basis of the difference between the paired observations) was 0.7 for a mean water content of 34.0 volume percent.

To increase the reliability of the gravimetric method it was decided to take 2 samples per horizon in the deeper layers of the profile, while for the first and second horizon (the variability being larger) three samples per horizon were considered to be satisfactory.

As far as the standard deviation is concerned, the comparison of the 2 methods allows the conclusion that preference must be given to the gravimetric method of soil moisture determination. Another phenomenon however confirms our preference for the gravimetric method of determination. In freshly bored holes the neutron moisture determinations yielded good results when compared to the gravimetric method, while in old holes (when the access tube remained on the spot during several weeks) poor results were obtained. The neutron moisture readings were lower during a drying period, but markedly higher at the beginning of a rainy period.

As can be seen in table 1, the radio-active moisture measurements made in an old auger hole were, at the end of a 5 months « drier » period and to a depth of 1 meter, about 5.5 % lower than the actual water content according to the gravimetric reference method. At the beginning of a rainy period however the moisture content values obtained by neutron scattering in an old auger hole were about 12 % higher than those found by gravimetric determination in two loam soil profiles (12 volume % being the average difference for the whole profile, as well in the soil type of the plateau as in the soil type of the depression; tables 1 and 2).

The explanation is the following :

1) after some time the soil does not longer fit tightly around the access tube, due to a drying out of the soil which causes a widening of the hole and hence the geometry of the measurement is lost;

2) along the access tube preferential drainage or infiltration may occur; as a result the soil in the immediate vicinity of the access tube will be drier or wetter than in the more remote places of the soil layer, depending on the weather conditions.

Therefore good neutron moisture determinations should be made in freshly bored holes. However, if one has to make the measurements in old auger holes, the readings can be corrected by calculation taking into account reference values previously obtained (DE BOODT, MOERMAN & DE BOEVER, 1966).

Table 1

Difference between the moisture content as determined in a freshly drilled and in an old auger hole after a drying period. Comparison between data from neutron moisture measurements and gravimetric determinations (oven drying at 105°C)

Depth in cm	Freshly drilled auger hole with tight-fitting access tube			Old auger hole with the access tube remaining 5 months on the spot		
	Moisture % per volume as derived from			Moisture % per volume as derived from		
	Neutron moisture measurements	Gravimetric determination (reference method)	Difference in %	Neutron moisture measurements	Gravimetric determination (reference method)	Difference in %
30	34.5	34.40	+0.3	34.1	36.35	-6.2
45	34.8	35.08	-0.8	33.8	36.25	-6.8
60	35.1	34.52	+1.7	35.5	36.62	-3.1
90	36.6	36.36	+0.7	34.5	36.62	-5.8
120	39.0	38.66	+0.9	38.6	38.20	+1.0
150	39.2	38.84	+0.9	37.0	36.12	+2.4
180	39.5	40.10	-1.5	37.4	37.45	-0.1
Mean difference :			+0.3 %	Mean difference :		
				0-100 cm : -5.5 %		
				100-200 cm : +1.1 %		

Table 2

Difference between the moisture content as determined in an old auger hole (5 months) with the neutron moisture meter and gravimetric determinations at the beginning of a rainy period in two soil profiles (plateau and depression) of a gently undulating loam landscape

Depth in cm	Soil profile in depression			Soil profile on plateau		
	Moisture % per volume as derived from			Moisture % per volume as derived from		
	Neutron moisture measurements (old auger hole)	Gravimetric determination (freshly bored samples)	Difference in %	Neutron moisture measurements (old auger hole)	Gravimetric determination (freshly bored samples)	Difference in %
30	38.0	37.38	+ 1.7	42.6	35.55	+19.8
45	37.4	34.45	+ 8.6	39.8	35.59	+11.8
60	38.5	33.46	+15.1	41.9	34.87	+20.2
90	40.8	34.76	+17.4	39.8	35.39	+12.5
120	42.5	38.65	+10.0	40.8	35.96	+13.5
150	43.0	37.98	+13.2	35.7	35.77	- 0.2
180	42.9	39.22	+ 9.4	36.6	31.47	+16.3
Mean difference :			+10.8 %	Mean difference : +13.4 %		

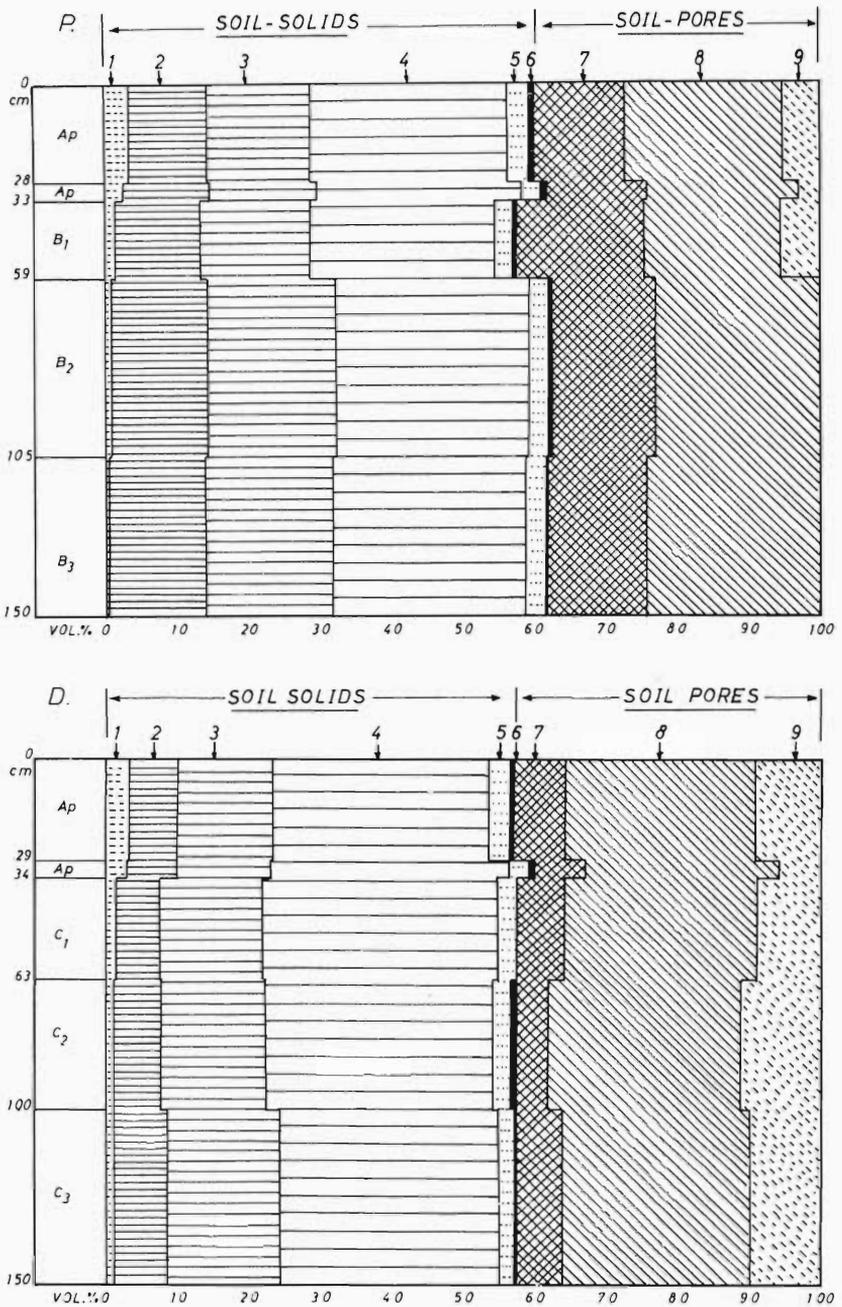


Fig. 1

Volumetric distribution of soil solid components and of soil pores in 2 soil profiles. The 2 profiles are located on the plateau (P) and in the dry depression (D) of the toposequence of a large experimental field in the Belgian loess-loam area (field « Grande Terre », Juprelle).

1 : humus.

2, 3, 4, 5 : grain size fractions, respectively 0-2, 2-20, 20-50 and >50 μ .

6 : CaCO₃.

7, 8, 9 : soil pore groups, subdivided in respectively : the non-available water retention pores, the water retention pores and the drainage pores.

All the soil moisture data given in this paper correspond to samples obtained by borings at respectively 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 and 180 cm depth, followed by gravimetric moisture determination, the replica of the samples being as stated above.

12. Determination of the plant available water

121. Preliminary determination of the pF curve

In order to interpret the data of the moisture profiles on the different soil types of the loess-loam toposequence, the pF curves of the soil in the different layers of the profiles should be known. Therefore on each of the 4 large fields selected for our experiments the most representative spots have been studied for the 3 soil types (plateau, slope and depression). On these spots profile descriptions were made and undisturbed cylindrical samples from each horizon, with the wanted number of replica, were taken. Furthermore disturbed samples were collected to determine the soil characteristics. The results of such a soil profile characterisation are shown as a volumetric distribution of both the soil solid components and the soil pores (fig. 1).

The pF curves were obtained using the membrane and porous-plate apparatus according to RICHARDS (1944), at suctions or pressures respectively of 10 cm - and 100 cm - suction for the determination of the aeration porosity and the slow drainage porosity, and of 1/3 and 15 atmosphere-pressure for the determination of field capacity and wilting point. So in fig. 2 and 3 the changes with depth are given for the wilting point, the field capacity (corresponding to laboratory data) and the total porosity, together with changes in water content with depth (moisture profiles) at different moments of the growing period. The field capacity deduced from laboratory data is drawn on these figures in a dotted line (F.C. lab.).

122. Field capacity as a laboratory determination versus field capacity as a field reality

As is illustrated in fig. 2, all moisture profiles found in 1965 on the plateau soil type show lower values in the B horizons than the field capacity as determined in the laboratory. This however is impossible because 1965 has been such a wet year that the plateau soil profile has certainly been on its « real » field capacity for some period. According to the definition of « field capacity » this period should occur :

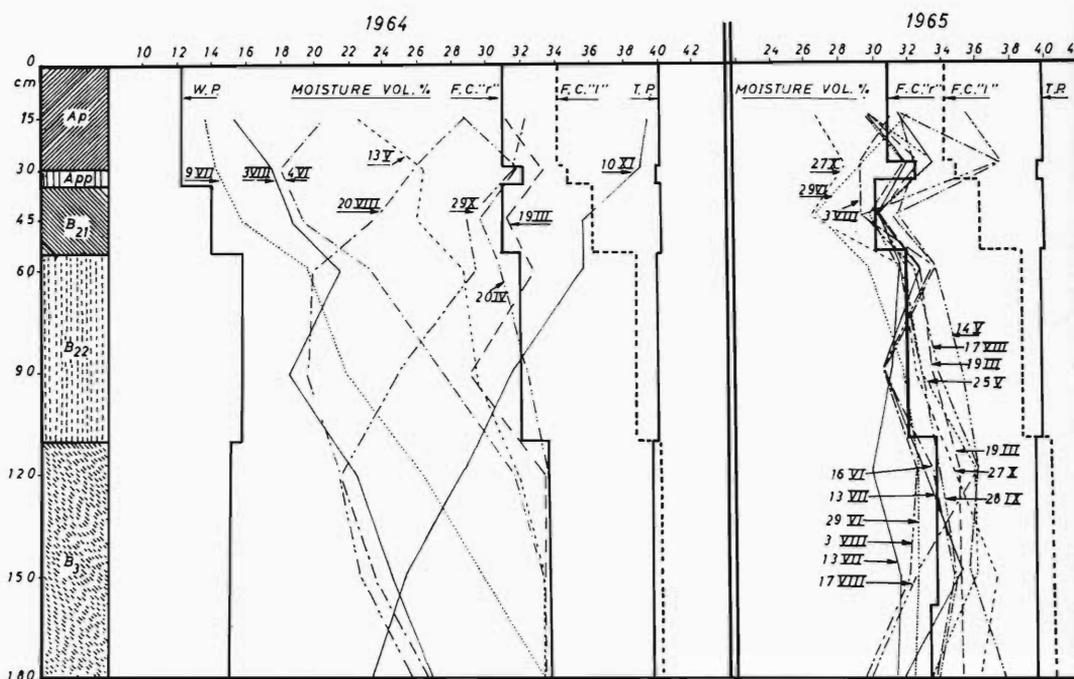


Fig. 2

Moisture profiles in the soil type on the plateau in 1964 and 1965 (soil characteristics given in fig. 1).

W.P.: water content (vol. %) at wilting point (for each horizon).

F.C. «r»: water content (vol. %) at the «real» (in situ) field capacity.

F.C. «l»: water content (vol. %) at field capacity (laboratory determination).

T.P.: total porosity.

9 VII, 3 VIII, etc.: data of moisture determination (July 9th, August 3rd, etc.).

- after a rainy period, assuming that the amount of rain is sufficient to saturate the actual field capacity,
- long enough after the rainy period, to ascertain that all the drainage water has percolated,
- assuming that there is no vegetation, so there is no transpiration by plants,
- assuming that the meteorological circumstances are such that water loss by evaporation at the soil surface is minimal.

The 3 moisture profiles or hydric profiles respectively obtained on Sept. 10, Sept. 28 and Oct. 27 entirely satisfy the conditions mentioned above (fig. 4):

- the very high rainfall in July and August having been far

1964

1965

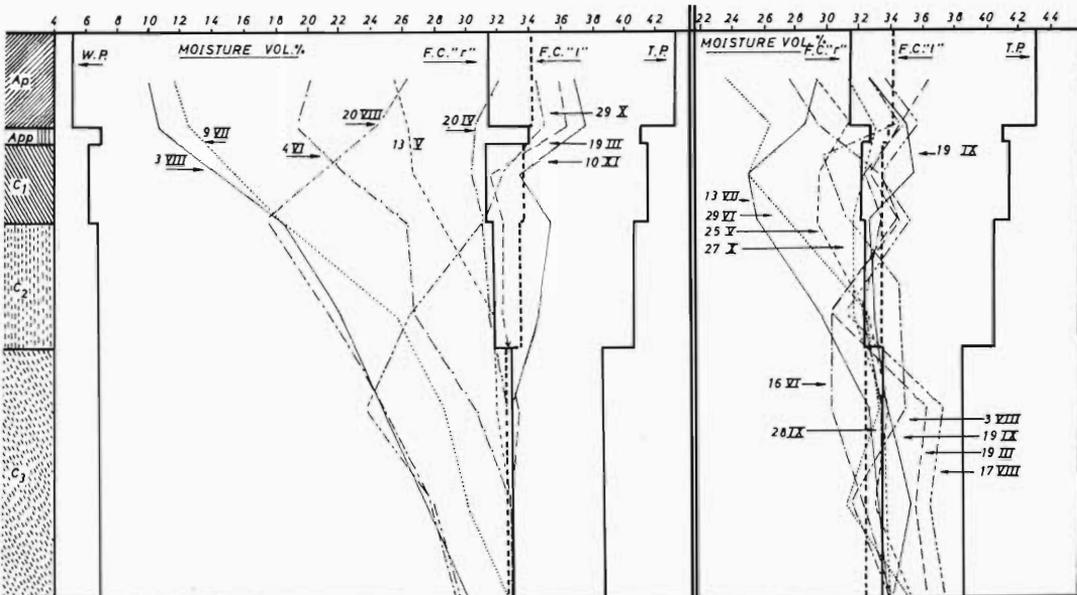


Fig. 3

Moisture profiles in the colluvial soil type of the same experimental field as fig. 2 in 1964 and 1965. Compare with fig. 2.

W.P.: water content (vol. %) at wilting point (for each horizon).

F.C. « r »: water content (vol. %) at the « real » (in situ) field capacity.

F.C. « l »: water content (vol. %) at field capacity (laboratory determination).

T.P.: total porosity.

9 VII, 3 VIII, etc.: data of moisture determination (July 9th, August 3rd, etc.).

above the potential evapotranspiration (fig. 10) ascertained a water saturation,

- the cereals having been harvested and no green manure having been grown on this part of the field, the transpiration by plants was minimal,
- the soil having been freshly plowed, the capillary conductivity in the arable layer and hence the evaporation were reduced to a minimum.

Moreover:

- the changes in the 3 hydric profiles were very low, although the observation period extended over 7 weeks; this proves an equilibrium of the actual field capacity over the whole profile depth,
- the rainfall during the observation period having been exceptionally low (far below the potential evapotranspiration), no percolation of drainable water took place.

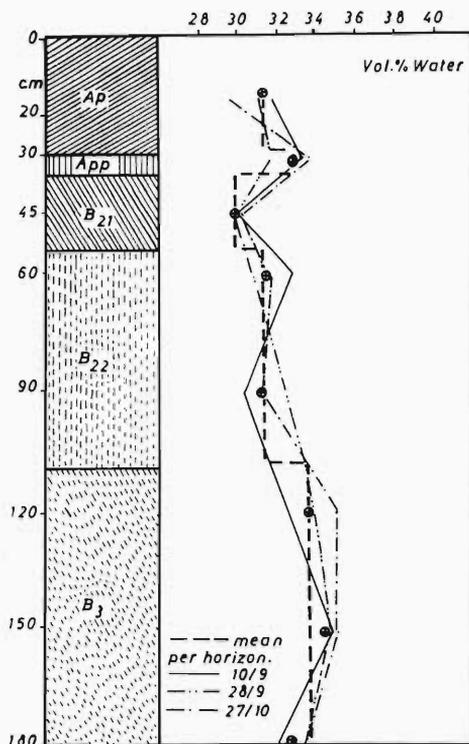


Fig. 4

Deduction of the «real» (in situ) field capacity of the different horizons of a given soil profile. The field capacity of each horizon represents the mean value of 3 moisture profiles obtained under nearly ideal conditions.

For these reasons the mean values of the 3 hydric profiles have been taken as the actual field capacity of the profile; for the arable layer however the moisture content on October 27 was neglected, the drying out of the soil being evident. The small variations of water content on the same day in the different profile horizons are a normal consequence of the changes in soil composition with depth.

As can be observed in fig. 2 and 3 (data of 1964) the water content below 150 cm depth often corresponds to the «real» F.C.

The difference between the field capacity as observed in the field on the one hand and in the laboratory on the other hand can be explained by the fact that the subsoil samples «in situ» are less or not subject to volume changes with changing moisture content, which is always the case with the soil samples in the laboratory. As can be seen also in fig. 2 and 3 and in table 3, the subsoil samples with the highest clay content (plateau soil type) show the greatest difference between the field and the laboratory data. This means that in the laboratory, when dealing with subsoil samples, an extra pressure in the porous-plate apparatus should

(theoretically) be applied, to replace the extra pressure « in situ » from the soil layers above.

Table 3

Discrepancy between the field capacity in a loam soil (Juprelle, 1965) as laboratory determination (1/3 atm) and the real capacity observed in the field (fig. 3)

Soil profile on the plateau				
Horizon	% Clay content	Field capacity		
		« lab. »	« real »	difference
Ap	19.1	34.3	31.3	9.6 %
Aps	20.5	34.9	33.0	5 %
B ₂₁	24.0	36.2	30.0	20 %
B ₂₂	24.0	38.7	31.5	23 %
B ₃	23.3	41.4	34.0	22 %
Soil profile in the depression				
Horizon	% Clay content	Field capacity		
		« lab. »	« real »	difference
Ap	12.0	34.3	32.5	5.5 %
Aps	11.3	34.0	32.5	5 %
C ₁	10.1	33.6	32.0	3 %
C ₂	10.3	33.5	32.0	3 %
C ₃	11.5	32.6	33.5	-3 %
Ap = plough layer		Aps = plough sole		

123. *Determination of the « real » field capacity by a graphic correction of the laboratory data*

The grain size distribution of a sediment is characterised by a curve, which can be represented by a straight line on log-probability paper (probability graph paper, KRUMBEIN & PETTICHOHN, 1938). According to our experience, this is true for eolian loess-loam in Belgium(*), as illustrated in fig. 5: the 2 nearly straight lines represent the average grain size distribution of 429 sandy loam(**) samples and of 307 loam(**) samples, all taken in a relatively small but homogeneous sedimentation area (East-Flanders).

(*) This however is not true for the fine eolian sand of Northern Belgium (publication under preparation by DE LEENHEER & VAN RUYMBEKE).

(**) The terms « sandy loam » and « loam » as used here do not correspond to the identical terms as used in the U.S.A. The corresponding terms in the U.S.A. would rather be « silt loam » and « silt ».

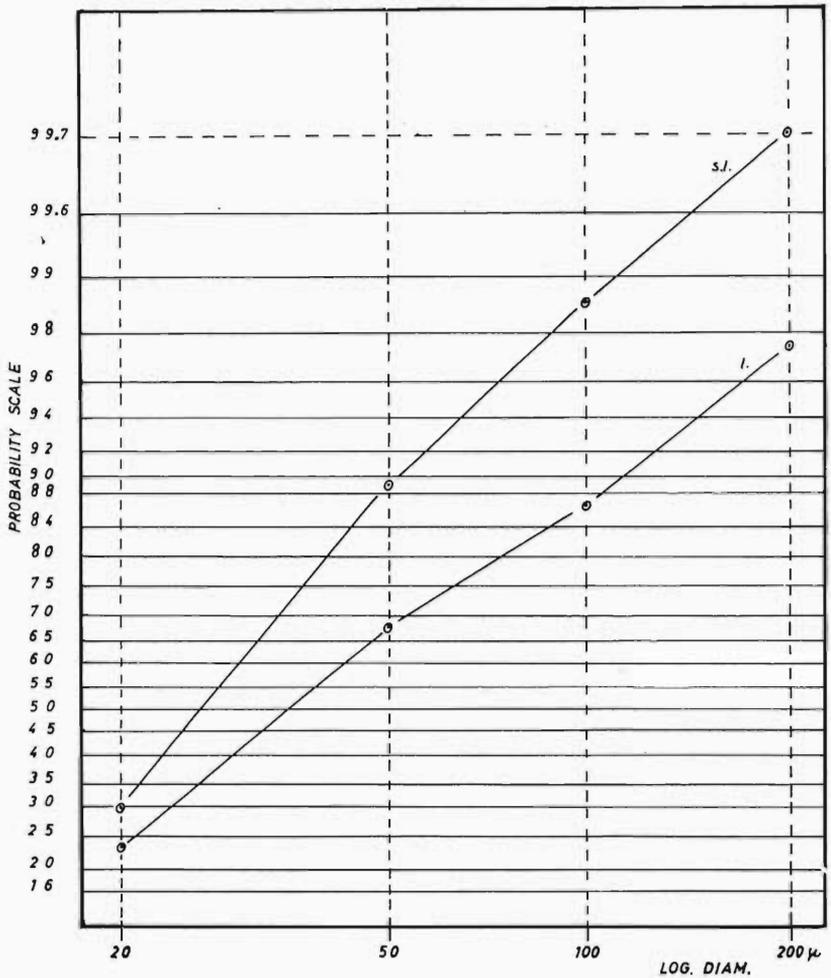


Fig. 5

The average grain size distribution of sandy loam (s.l.) and loam (l.) in Belgium (these soil textures almost correspond to the terms « silt loam » and « silt » as used in the U.S.A.) can be represented by a straight line on probability graph paper. This however is not true for the fine eolian sand of Northern Belgium.

If the loam *grain* size distribution can be represented as a straight line on log-probability paper, it is logical that this should also be true for the *pore* size distribution of the same material, assuming that an (almost) single grain structure can be expected, as is the case for loam subsoil samples.

Fig. 6 represents this distribution, the pore sizes being expressed

as logarithmic values by the pF curve data; the subsoil samples of the more or less compact plough-sole (A_{ps}) and of the deeper B horizons (B_{21} and B_{22}) belong to the same profile (plateau soil type). If the influence of soil structure factors becomes more important, as in the arable layer (horizon A_p), the structural pore size distribution (at pF values 1, 2 and 2.5) is no longer in straight line with the very fine pores (pF 4.2) (fig. 6).

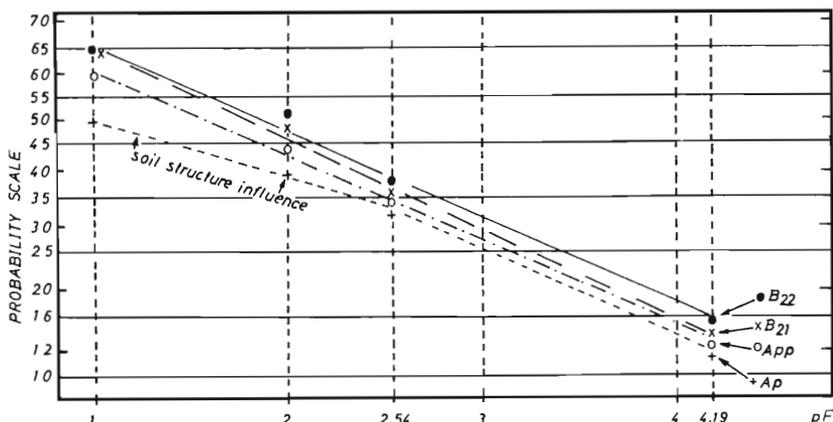


Fig. 6

The pore size distribution (assuming a single grain structure) of a silty eolian sediment (or subsoil) can be represented by a straight line on probability graph paper. A deviation from the straight line shows the influence of soil structure factors (see the sample of the arable layer of the same profile as the subsoil samples).

The problem now consists in finding a procedure to correct the water content at field capacity as determined in the laboratory in order to get the real field capacity. The correction needed is already experimentally known (table 3). We only want to determine the extra pressure that has to be applied in the porous-plate apparatus to replace the extra pressure in the field of the soil layers above the sample.

This extra pressure, however, cannot be calculated, as it is not only partly a function of the weight of the soil layers above, but much more a function of the clay content (this content being the most important factor of the swelling by moistening) (table 3). The probability chart helps us to find graphically the extra pressure needed. Knowing the exact moisture content which corresponds to the actual field capacity, it is easy to read the corresponding extra pressure needed to find the true field capacity in the laboratory. Fig. 7 shows how to make the corrections. For the soil profile on the plateau the extra pressure needed (above the

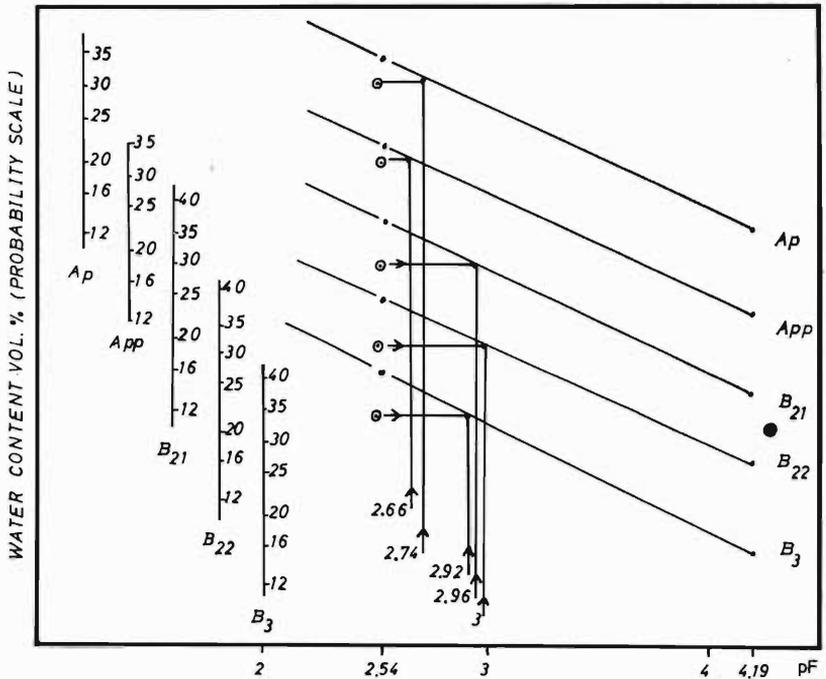


Fig. 7

Graphical determination of the extra pressure needed to find the « real » field capacity of subsoil samples.

The centered circles indicate the « real » water content at field capacity of the soil horizon « in situ » : e.g. 30 % in horizon B₂₁.

To find this water content in the laboratory the suction on the soil sample must be increased to pF value 2.96.

For the subsoil samples of the profile studied the corresponding average pF value is 2.96 (average of the 3 subsoil horizons) instead of 2.54.

theoretical 1/3 atm value) varies with the depth of the layers and the clay content from 100 to 700 millibars; for the colluvial soil type (with a rather low clay content) the extra pressure needed is much lower : only 0 to 200 millibars.

124. Calculation of the plant available water

To calculate the amount of plant available water, the difference (on a volume basis) should be made between the water content at wilting point and at (actual) field capacity. Thus it is evident (fig. 2 and 3) that the amount of available water of the colluvial soil is much greater than on the plateau soil. From studies made in 1964 (DE LEENHEER, 1965) we know already that in these soils

the water depletion under the influence of the suction of roots goes at least to a depth of 180 cm (see also fig. 2 and 3, left hand part). The overall amount of available water per profile in the soil types on the plateau and in the depression is shown in fig. 8 and 9. In these figures all data are given as volumes expressed in mm height of water (which means also mm of rainfall). For the calculation, one has to consider the height of each horizon and to know that one volume percent of water corresponds to a water layer of 1 mm (1 mm rainfall) per unit area (cm^2) and per height of 10 cm of the horizon.

13. Determination of the non-available water

The volume of non-available water is also represented in fig. 8 and 9 in mm rain (height of water layer); it is calculated from the volume % water which is left in a soil sample after the equilibrium is reached with a 15 atm-pressure in the pressure membrane apparatus.

The 15 atm-value is considered to represent the true wilting point. Even during the dry summer of 1964 this value has never been exceeded (fig. 2 and 3). The agreement between field and laboratory observation is logical as the wilting point is a function of the properties of the solid soil material and less of the aggregation factors. It is striking to see that there is such a large difference in wilting points between the colluvial soil profile and the soil on the plateau. This explains the great difference in available water content in both soil profiles.

14. Determination of the water-free pores or available air

To calculate the amount of water-free pores the bulk density must be known. Therefore large ring samples 2 cm in height and 7.8 cm in diameter are taken in 6 replica for the first 2, and in 4 replica for the following horizons, until a total depth of 180 cm is reached. The weight of the soil in the ring is used to calculate the bulk density of the soil in situ. Therefore the loss in weight on drying the soil sample at 105°C should be known. The total porosity is deduced from the difference between the particle and the bulk density, the particle density being equal to 2.65 minus 0.02 for each percent of organic matter in the sample (DE LEENHEER *et al.*, 1960). The volume of water-free pores is calculated as the difference between the total porosity minus the volume percent of the water at field capacity. The available air is expressed in the same way as the

21. Determination of the potential evapotranspiration (ET_p)

In 1965 the solarimeter equipment needed for the measurement of global radiation was not yet installed; the insolation was measured with a Campbell-Stokes heliograph. The potential evapotranspiration ET_p during the growing period was therefore calculated according to the Turc formula (TURC, 1961).

In fig. 10 the potential evapotranspiration according to TURC for both the years 1964 and 1965 is given, together with the rainfall. This picture reflects quite well the difference in climatological conditions in 1964 and 1965, the first being a very dry, the second a very wet year.

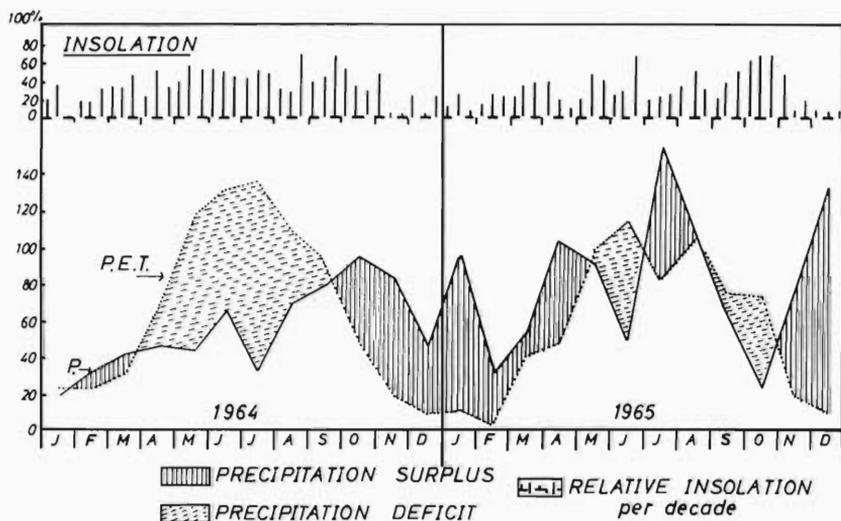


Fig. 10

Insolation per decade (in % of the maximum), rainfall (P) in mm and potential evapotranspiration (ET_p, according to Turc) in 1964 and 1965, as measured on the agro-meteorological station near the experimental field.

22. Wheat production and potential evapotranspiration rate

In 1964 the rainfall deficit versus the ET_p for the months of April, May, June, July and August was respectively —22, —73, —67, —101, —39 mm(*).

This means that for the whole growing period of the wheat until

(*) These figures are much higher than the ones (—8 to —36 mm) considered by ASLYNG (1965) in Denmark as being desirable for a high wheat production. It stresses the influence of the physical conditions of the soil; those would be quite different in the neighbourhood of Copenhagen from those in the Eastern part of Belgium.

its ripening (end of July) the deficit totalled 263 mm. On the other hand, the amount of water taken up by the crop during the same period from the plateau soil and the colluvial soil, as calculated from the moisture profiles (fig. 8 and 9), reached respectively 204 and 229 mm. From these data it can be concluded that the wheat was growing nearly at its potential evapotranspiration rate. Thus a high yield could be expected (fig. 11).

The same calculations being made for 1965, the monthly rainfall excess (+) or deficit (—) in April, May, June, July and August was respectively +5.5, —7.5, —6.3, +74.0, +5.2 mm. The water balance for the growing period of the wheat (until the end of July) closed with an excess of +5.7 mm. The calculated amount of water, however, taken up by the crop from the plateau soil and the colluvial soil (as deduced from the moisture profiles) was respectively 97 and 99 mm. This is too high to match the water balance. The only possible explanation is a water percolation of nearly 100 mm through the profile.

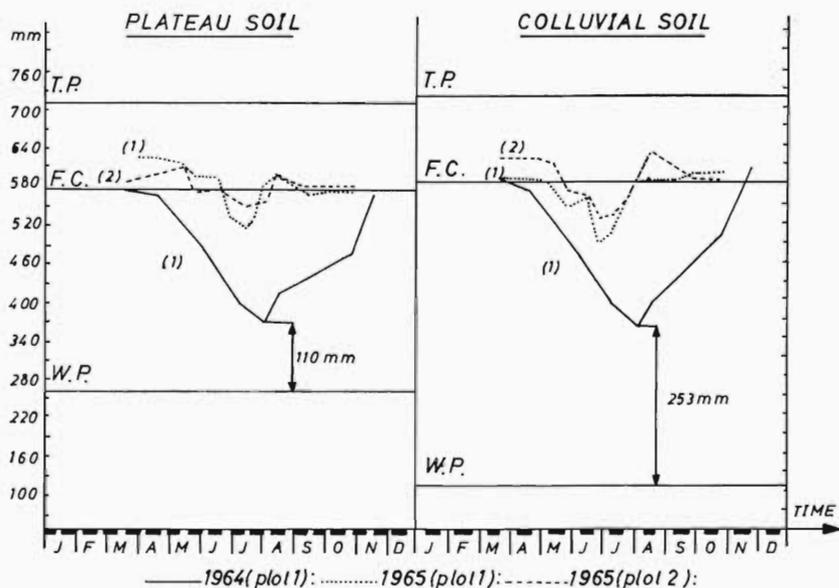


Fig. 11

Variation in moisture content of 2 soil profiles (0-180 cm) in 1964 and 1965. The 2 soil profiles are the plateau soil and the colluvial soil which occur on the same experimental field as the one represented in fig. 8 and 9. Crop: winter wheat (variety Marchal).

23. Crop production and insolation

In several cases the differences between precipitation and poten-

tial evapotranspiration do not reflect the weather factor in respect to crop production. The relative insolation in percentages of the total possible insolation should then be taken into account, especially for the flowering and ripening period of the wheat and the ripening period of the sugar-beet. The insolation data are given at the top of fig. 10. As may be observed the insolation as determined according to Campbell Stokes was high in June and July 1964, thus predicting a good wheat harvest. In 1965 the radiation as a whole was very low, but it was high during the months of August, September and October; this means a last-minute yield improvement of the sugar content. In 1965 the sugar produced in the beets during those 3 months lay about 10 % higher than the average production over the same 3 months during the last 10 years(*). In the autumn of 1965 the influence of high insolation on the sugar production was undoubtedly one of the reasons why no correlation could be found between yield and rainfall deficit expressed as the difference between precipitation and potential evapotranspiration. The differences of sugar-beet yields in 1964 and 1965 are illustrated in table 4.

Table 4

Sugar-beet yields in kg/ha, field of « Grande Terre », Juprelle, Belgium

	Plateau soil		Colluvial soil	
	1964	1965	1964	1965
Roots	66,000	51,000	55,000	49,000
Sugar content	18.5%	17.7%	18.3%	16.4%
Leaves	27,000	51,000	27,000	50,000
Sugar production	12,210	9,027	10,065	8,036

3. AN INTEGRATION OF SOIL PHYSICAL FACTORS AND CLIMATOLOGICAL CONDITIONS

The water balance and other climatological information studied are to be considered as different features of the complex problem of the relationship soil-climate-yield. To find out what parameters or group of parameters are the most involved in the production of dry matter, one should try to use integrated factors of soil physical parameters and climatological conditions. Therefore a correlation study was made between the yields and the amount of water taken from the soil during the vegetation period. The justification for choosing water depletion as a parameter is due to the fact that it

(*) Information received from the Belgian Institute for the Improvement of Sugar-beets (Tienen).

is the result not only of evaporation but also of active transpiration by the plant. This is not the case when considering the potential evapotranspiration values alone (LEHANE & STAPLE 1965).

It should also be observed that in certain years the water depletion in soils with a deep water table(*) allows a rather good estimate of the water used by the crop (the % of interception water used by the plants is neglected). This was the case in 1964 : during the whole vegetation period the moisture content of the soil was below field capacity so no water percolated the soil profile. Hence all water depletion in the profiles was caused by plant growth (fig. 11).

The total water depletion was calculated by the integration of the area between the field capacity (horizontal line F.C., fig. 11) and the moisture curve during the growing period of the wheat. Each point of the curve represents the total water content in the soil profile (0-180 cm) at a given moment (e.g. the hydric profiles of fig. 2 and 3).

This was done for the two soil types (with one plot in 1964 and two plots in 1965); the results are shown on the abscissa in fig. 12, while the yields are put on the ordinate. The trend is evident and leads to the idea that grain production in the Belgian loam region

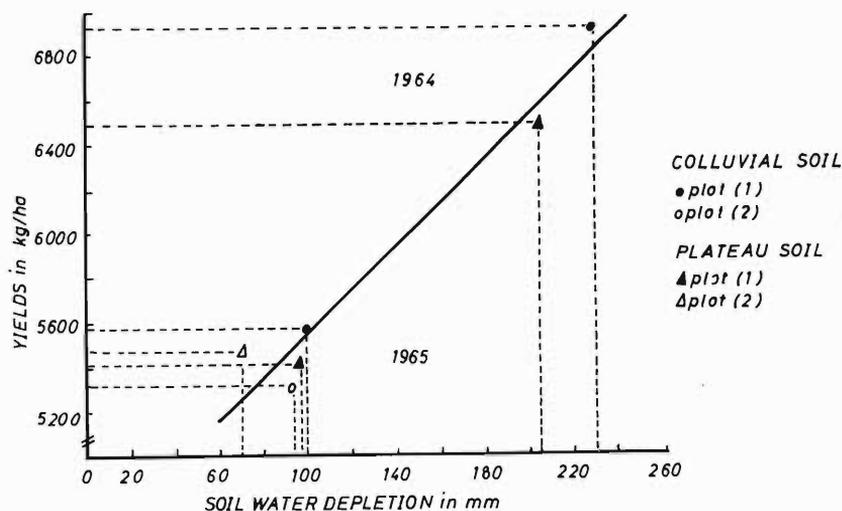


Fig. 12

Correlation between water depletion in the soil and yield of winter wheat (variety Marchal) in 1964 and 1965.

(*) It is assumed that the influence of capillary rise (from the water table) on the water balance is zero.

could be estimated a short time before harvest by calculating the water depletion in the soil. This method however does not allow to predict sugar-beet productions, as no correlation could be found between the yield and the quantity of water taken up from the profile.

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

It is supposed that in a leading agricultural region, where chemical fertilizers are amply applied and where selected seeds are used, the limiting factor in crop production is often to be found in the interrelationship between soil physical properties and climatological conditions.

First it is studied how the moisture profiles in a toposequence in the dry loess-loam region of Belgium can be assessed. Therefore the neutron-moisture method was compared with the gravimetric determination (oven drying at 105°C) of samples taken with an auger at depths varying from 0 to 180 cm; the sampling took place every fortnight during the vegetation period in 1964 and 1965, on two different soil types, i.e. a plateau soil and a colluvial soil in a gently undulating landscape.

The conclusion is that the neutron-moisture meter yields good results only when the determinations are made in freshly bored auger holes. The original idea to leave the access tube on the spot in order to save time and to make the readings always at exactly the same place was abandoned. Indeed, the hole in which the access tube fitted tightly when fresh became larger with time thus giving poor results. The preferential path-way for drainage or infiltration of the water along the access tube after a rainy period increases the measurement error. However, if the measurements are made in old auger holes corrections can be calculated, assuming that some reference values are available.

When the data from soil-moisture profiles are combined with the laboratory determination of total porosity, field capacity and wilting point, the following conclusions can be drawn.

1) Below the plow layer the field capacity as determined in the laboratory (at 1/3 atmosphere pressure) does not correspond with the field capacity as observed in the field; the reason is that a soil « in situ » in the deeper horizon does almost not swell nor shrink under the influence of soil moisture changes, while the sample in the porous-plate apparatus does. The discrepancy between « field capacity » as a field or as a laboratory notion is function both of the weight of the horizons above the place of sampling and of the clay content of the soil sample.

To obtain the correct determination for samples of the plateau soil type, the pressure in the apparatus had to be increased up to 1 atmosphere (pF 3), while for the colluvial soil type the needed extra soil pressure above 1/3 atmosphere was smaller (fig. 7).

2) In the colluvial soil profile the quantity of available water is much larger than in the plateau soil profile, mainly because the wilting point in the former is much lower.

3) In the region studied even in a very wet year as 1965, the available air never is a limiting factor for plant growth.

The differences between the potential evapotranspiration — calculated with the formula of TURC — and the precipitation during the two years of observation show a satisfactory correlation with the wheat yields.

For some crops the correlation between climatological conditions and crop yields can be improved by taking into account the relative insolation. This is particularly true for sugar-beets.

In order to find an integrated factor between soil physical conditions and climate, the calculation of the quantity of water taken up from the soil profile by the crop is proposed. The dry loam toposequence in Belgium seems to confirm this idea, especially in those years (1964) when from the beginning of the crop growth (in the spring) until harvest time the moisture content in the soil profile is always below field capacity. Under such circumstances no vertical water percolation occurs and the depletion of the soil moisture must be a consequence of water uptake by the plants. This method also gave satisfaction in 1965, the quantity of water taken up from the profile correlating well with wheat production, but failed for sugar-beet yields. The method proposed has the advantage that an estimate of the grain production can be made a short time before harvest.

The justification for using this parameter (water depletion) is due to the fact that it is the result not only of evaporation but also of active transpiration by the plant. This is not the case if only the potential evapotranspiration is taken into consideration. The whole of this study will take 12 years (i.e. 4 replica of a 3 years-rotation).

Research supported by the Belgian institute « IRSIA »
(Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture, Bruxelles).

REFERENCES

- Aslyng H. C.** 1965.
Weather, water balance and plant production at Copenhagen 1955-1964.
Royal Veterinary and Agricultural College. Copenhagen, Yearbook 1966,
1-21.
- De Boodt M., P. Moerman & J. De Boever** 1966.
Comparative study of the water balance in the aerated zones with radio-
active methods and weighable lysimeter.
Symposium on water in the unsaturated zone. Wageningen (Netherlands)
19-25 June 1966. In press : Unesco. Paris.
- De Leenheer L. et al.** 1960.
Monografie der Zeepolders.
Verhandeling 2. *Pédologie*, Gent, 1-416.
- De Leenheer L.** 1965.
Etude de la structure et de la fertilité physique du sol sur grandes fermes
mécanisées.
Pédologie, Gand, 15, 84-109.
- Krumbein W. C. & F. J. Pettijohn** 1938.
Manual of sedimentary petrography.
Appleton Century Crofts, New York.
- Lehane J. J. & W. J. Staple** 1965.
Influence of soil texture, depth of soil moisture storage and rainfall
distribution on wheat yields in southwestern Saskatchewan.
Canadian Journal of Soil Science, 45, 207-219.
- Richards L. A.** 1947.
Pressure membrane apparatus. Construction and use.
Agricultural Engineering, 28, 451.
- Turc L.** 1961.
Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle.
(Formule climatique simplifiée et mise à jour).
Annales agronomiques, 12, 13-50.
-

Etude de la structure et de la fertilité physique des sols sur grandes fermes mécanisées

3^e Note : Corrélation entre les rendements dans une toposéquence de la région limoneuse belge et l'économie en eau du sol au cours des années 1964 et 1965

Résumé

Cette étude constitue un essai de corrélation entre le rendement du sol et son économie en eau au cours de la période de croissance.

Au préalable les auteurs attirent l'attention sur le fait, qu'en ce moment du moins, l'étude de la variation de l'humidité dans un profil pédologique en fonction du temps se fait d'une façon plus exacte par la méthode gravimétrique que par la technique de diffusion de neutrons (tabl. 1 et 2).

Comme seconde remarque préliminaire, il est souligné que l'interprétation de la variation d'humidité dans un profil de sol suppose la connaissance de la capacité au champ et du point de flétrissement de chaque horizon du profil, mais que la détermination au laboratoire de cette capacité au champ des horizons inférieurs à la couche arable ne répond pas à la réalité et requiert d'abord une correction. La correction tient compte du « gonflement empêché » du sous-sol (par suite du poids des couches supérieures la fixation d'une quantité d'eau ne s'accompagne pas du gonflement qui se produit en surface) (fig. 7).

Moyennant ces données préalables il devient possible de traduire les variations de l'humidité du sol en fonction du temps (fig. 2 et 3) en une économie en eau utile pour le système racinaire. Les auteurs estiment que cette économie en eau utile se traduit de façon satisfaisante par la quantité totale d'eau que la plante parvient à puiser de la réserve d'eau capillaire du profil au cours de sa période de croissance (fig. 11).

Cette quantité totale d'eau puisée de la réserve du sol en compensation « du déficit de pluie » a pu être corrélée avec le rendement de froment en 1964 et 1965 (fig. 12). Pour les betteraves sucrières cependant ce paramètre dynamique de la fertilité physique du sol ne donne pas entièrement satisfaction, car l'insolation exerce une influence importante sur la production de sucre.

Studie van de bodemstructuur en van de fysische bodemvruchtbaarheid op grote gemechaniseerde bedrijven

3de Nota : Correlatie tussen de oogstbrenghsten in een toposequentie van het Belgische loessleem-landschap en de waterhuishouding van de bodem tijdens de jaren 1964 en 1965

Samenvatting

In deze studie wordt een poging ondernomen om de bodemproductie te correleren met de waterhuishouding tijdens de vegetatieperiode.

Voorafgaandelijk wordt er op gewezen dat, op dit moment althans, de studie van de vochtvariatie in het bodemprofiel in functie van de tijd nauwkeuriger geschieden kan met de gravimetrische methode dan met de radio-actieve vochtmeting (tab. 1 en 2).

Als tweede voorafgaandelijke opmerking wordt onderlijnd, dat de interpretatie van de vochtvariatie in een bodemprofiel de kennis veronderstelt van de veldcapaciteit en van het verwelkingspunt voor iedere bodemhorizont van het profiel, doch dat de laboratoriumbepaling van deze veldcapaciteit voor

de horizonten beneden de bouwvoor niet aan de realiteit beantwoordt. Er moet voor die horizonten een correctie worden aangebracht, waarbij rekening gehouden wordt met de «verhinderde zwelling» in de ondergrond (fig. 7) (normaal moet wateropname met een zwelling gepaard gaan, wat in de ondergrond door de druk van de bovenliggende lagen niet mogelijk is).

Eenmaal zover kunnen de gegevens van de vochtvariatie in functie van de tijd (fig. 2 en 3) omgezet worden in nuttige waterhuishouding voor het wortelstelsel. Als weergave voor deze nuttige waterhuishouding werd het totaal vochtgehalte gekozen dat door de plant tijdens haar vegetatieperiode uit de capillaire vochtreserve van het doorwortelde bodemprofiel wordt geput (fig. 11).

Deze globale wateropname uit de bodemreserve, in compensatie van het regendeficit, werd gecorreleerd met de tarwe-productie in 1964 en 1965 (fig. 12). Voor suikerbieten echter schenkt deze dynamische parameter van de fysische bodemvruchtbaarheid geen volle bevrediging, daar de insolatie een belangrijke invloed heeft op de suikerproductie.

Untersuchung der Bodenstruktur und der physikalischen Bodenfruchtbarkeit in großen mechanisierten Betrieben

3. Notiz: Vergleich zwischen den Ernteerträgen in einer Toposequenz der belgischen Lößlehmlandschaft und dem Wasserhaushalt des Bodens im Laufe der Jahre 1964 und 1965

Zusammenfassung

Diese Untersuchung stellt einen Versuch dar die Bodenproduktivität mit dem Wasserhaushalt des Bodens während der Vegetationsperiode zu korrelieren.

Zuvor muß aber darauf aufmerksam gemacht werden, daß im Moment jedenfalls, die Untersuchung der Feuchtigkeitsvariationen im Bodenprofil als Funktion der Zeit genauer mit der gravimetrischen Methode als mit der Technik der Neutronendiffusion durchgeführt werden kann (Tab. 1 und 2).

Als zweite Vorbemerkung wird betont, daß für die Interpretation der Feuchtigkeitschwankungen im Bodenprofil die Feldkapazität und der Welkepunkt der einzelnen Bodenhorizonte bekannt sein müssen, daß aber auch die Bestimmung im Laboratorium dieser Feldkapazität für die tieferen Bodenhorizonte nicht der Realität entspricht und korrigiert werden muß. Wegen des Druckes der obenliegenden Bodenschichten tritt bei Wasseraufnahme keine Quellung im Untergrund ein und die Korrektur berücksichtigt diese Quellungsverhinderung (Abb. 7).

Die Ergebnisse der zeitlichen Feuchtigkeitsvariationen (Abb. 2 und 3) werden anschließend als nutzbarer Wasserhaushalt für die Pflanze umgerechnet. Als Ausdruck dieses nutzbaren Wasserhaushaltes haben die Autoren die gesamte Wassermenge, welche durch die Pflanze während der Vegetationsperiode aus der kapillaren Feuchtigkeitsreserve des Bodenprofils aufgenommen wurde, gewählt (Abb. 11).

Diese gesamte Wassermenge, die aus der kapillaren Bodenreserve und als Kompensation des Regendefizits aufgenommen wurde, konnte mit den Ernteerträgen für Weizen, 1964 und 1965, korreliert werden (Abb. 12). Für Zuckerrüben aber ist dieser dynamische Parameter der physikalischen Bodenfruchtbarkeit nicht befriedigend, weil die Insolation auf die Zuckerproduktion durch die Pflanze einen zu großen Einfluß hat.

PRÉLÈVEMENTS DE PROFILS SUR ACÉTATE DE POLYVINYLE

J. DE HEINZELIN

Plusieurs méthodes ont été proposées pour le prélèvement de profils de sols ou de roches meubles (voir bibliographie). Toutes s'inspirent du même principe, la formation de films flexibles emprisonnant les grains minéraux et servant ainsi de support détachable. Autrement dit on pèle la coupe préparée dont on présente la face inversée. Ce sont les « Lackfilme » ou films plastiques.

Les méthodes diffèrent essentiellement par la nature du film plastique et chacune a des avantages et inconvénients. Par exemple, les supports qui nécessitent des solvants organiques présentent par là des difficultés de manipulation et un certain coût. Certains supports deviennent cassants. Le latex de caoutchouc est d'application aisée mais vire au brun et perd ses qualités adhésives par vieillissement.

Une série d'expériences entreprise depuis 1957 m'a permis de vérifier les qualités techniques et le bon comportement au vieillissement de certaines émulsions d'acétate de polyvinyle.

Nature des émulsions

Les dispersions de polymères d'acétate de polyvinyle s'obtiennent par polymérisation de monomère émulsionné dans l'eau, à l'aide d'émulsifiants ou de colloïdes protecteurs.

Par évaporation du milieu dispersant, l'eau, les particules à propriétés plastiques entrent en contact et il se produit une fusion homogène par fluage à froid. Le phénomène étant irréversible, le film obtenu est insoluble dans l'eau. Il subsiste toutefois une perméabilité et un pouvoir gonflant limités.

Prof. Dr. J. de Heinzelin
Université de l'Etat à Gand.

Les propriétés plastiques et mécaniques des films obtenus dépendent de nombreux facteurs, parmi lesquels :

- a) particules homopolymères (un seul monomère) ou copolymères (plusieurs monomères différents),
- b) degré de polymérisation = dimensions des particules, particules de $0,2 \mu$: dispersions fines, particules de quelques μ : dispersions grossières, particules de dimensions variables : dispersions mixtes,
- c) type de colloïde protecteur,
- d) agent plastifiant destiné à augmenter la souplesse, la fluidité, l'élasticité du film après séchage,
- e) présence de solvants organiques, charge, etc.,
- f) température : au-dessous d'une certaine température, le « point blanc », il se forme une couche blanche pulvérulante au lieu d'un film; l'addition de plastifiants et de solvants permet de diminuer le point blanc sous 0°C .

De nombreux types d'émulsions sont aujourd'hui produits industriellement pour peintures, liants, colles, textiles, etc.

Nous avons expérimenté sur plusieurs années les produits de Hoechst et Rhone-Poulenc, respectivement dénommés Mowilith et Rhodopas.

C'est chez l'un comme chez l'autre le même type d'émulsion qui a donné les meilleurs résultats, respectivement Mowilith DCO2 et Rhodopas 5425. Les caractères fondamentaux sont les suivants : dispersions homopolymères mixtes de $0,5-3 \mu$ ou $1-2 \mu$, émulsionnant organique, 10 % de phtalate de butyle plastifiant.

Opérations sur le terrain

Le profil est d'abord convenablement aplani et lissé, galets et blocs sont laissés légèrement en relief. Le profil peut être légèrement humide, mais de son exposition au vent et de son orientation dépend un séchage plus ou moins rapide. Pluie et gel rendent l'opération impossible; la température doit être de préférence supérieure à 10°C .

L'émulsion livrée à 55-60 % d'extrait sec est très visqueuse (environ 100 poises). L'addition de 2-4 % d'eau réduit déjà la viscosité de moitié.

On effectuera d'abord une première imprégnation de la paroi à l'aide d'une dispersion très fluide de manière à assurer une pénétration facile et homogène. L'application peut se faire par aspersion à la brosse ou par vaporisation.

Dès qu'une première pellicule de surface est formée, on peut appliquer une deuxième couche plus concentrée. Lorsque celle-ci est déjà relativement ferme, on applique un drap de coton léger ou de la gaze, que l'on colle de haut en bas à l'aide de la même émulsion.

Après séchage, on détache le film de son support en commençant par le bas. L'opération est facilitée par l'application d'une latte à la partie supérieure, servant de support. Pour le transport, le film est roulé autour d'un bâton en intercalant des feuilles de papier. Les blocs et galets qui sont restés accrochés à la paroi sont recueillis pour être collés par après.

Les limons, limons sableux, sables et graviers fins sont extrêmement faciles à prélever. Le prélèvement de sédiments très grossiers ou très fins est plus délicat.

Par temps sec et ensoleillé, toute l'opération dure quelques heures seulement. Par temps humide et froid, le séchage peut durer plusieurs jours et le profil doit être protégé.

Deux hommes peuvent manipuler des surfaces de 2×3 m. Par addition de profils successifs, on peut en fait prélever des surfaces illimitées.

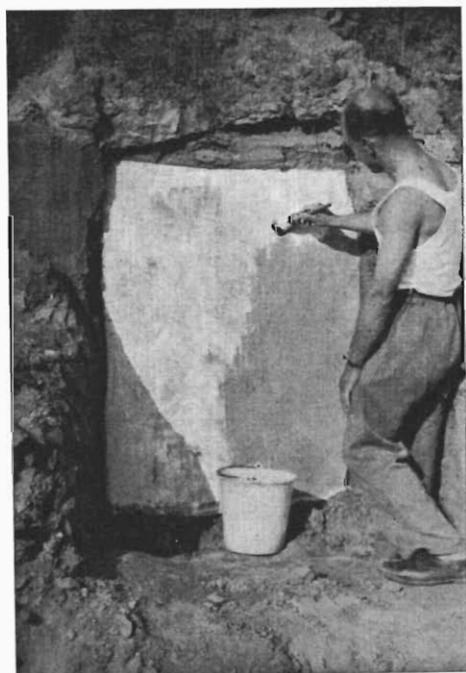


Photo 1

Prélèvement d'un profil dans les limons à la carrière du Clypot (Neufvilles-lez-Soignies).

Pour le besoin de la démonstration, de l'exposition ou de la décoration intérieure, les films sont collés sur Unalut ou Multiplex à l'aide de la même émulsion. Il n'est pas recommandé d'y appliquer un vernis superficiel (Bedacryl p.ex.) lequel risque de modifier les tonalités et l'aspect général.

Le film obtenu est tout-à-fait incolore et transparent. Appliqué en dispersion très diluée et à plusieurs reprises, il protège efficacement des coupes en place pour autant qu'elles soient à l'abri des grosses intempéries.

Prix de revient

Il est extrêmement bas, de l'ordre de 25 F/kg d'émulsion à 60 % d'extrait sec, convenant pour un à plusieurs mètres carrés de profils.

BIBLIOGRAPHIE

Dollar A. T. J., 1944.

Cellulose acetate mounts for rock and mineral fragments.
Nature, **66**, 2, 283-287.

Ford B. J., 1965.

A new technique for mounting museum specimens.
Museums Journal, **64**, 78-82.

Fuehrer O. F. von, 1947.

Latex in science and art.
Museums News, april 1, 1947.

Hoechst A. G., 1960.

Mowilith.

Hospers J., 1950.

Over het conserveren van bodemprofielen.
Geol. en Mijnbouw, **12**, 155-157.

Shorer P. H. T., 1964.

Soil-section transfers: a method for the transfer of an archaeological soil section onto a flexible rubber backing.
Conservation, I.I.C., **9**, 2, 74-77.

Stahl E., 1958.

The embedding of loose sediments in plastics.
Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, XXXVIII, Paleont. 18.

Voigt E., 1949.

Die Anwendung der Lackfilmmethode bei der Bergung geologischer und bodenkundlicher Profile.
Mitt. Geol. Staatsinstitut Hamburg, **19**, 111-129.

Werner A. E., 1964.

New materials in the conservation of antiquities.
Museums Journal, **64**, 5-16.

Prélèvements de profils sur acétate de polyvinyle

Résumé

Le prélèvement de profils de sols ou de roches meubles (« Lackfilme ») est facilité par l'emploi de certaines émulsions d'acétate de polyvinyle, comme le Mowilith DCO2 et le Rhodopas 5425. Les films sont incolores, transparents, flexibles et stables. Le prix de revient est très bas.

Het maken van bodemmonolithen met polyvinylacetaat

Samenvatting

Het maken van dunne bodem- of sedimentmonolithen wordt vergemakkelijkt door het gebruik van bepaalde emulsies van polyvinylacetaat, zoals Mowilith DCO2 en Rhodopas 5425. De filmen zijn kleurloos, doorzichtig, buigzaam en bestendig. De kostprijs is zeer laag.

The making of monoliths with polyvinyl acetate

Summary

The making of monoliths of profiles of soils or of loose sediments is very easy when using some emulsions of polyvinyl acetate, e.g. Mowilith DCO2 and Rhodopas 5425. The films are colorless, transparent, flexible and durable. The cost price is very low.

Die Herstellung von Bodenmonolithen mittels Polyvinylazetat

Zusammenfassung

Die Herstellung von Lackfilmen von Bodenprofilen oder von Lockersedimenten wird durch die Benutzung von bestimmten Emulsionen von Polyvinylazetat, z.B. Mowilith DCO2 und Rhodopas 5425, erleichtert. Die Filme sind farblos, durchsichtig, biegsam und beständig. Die Kosten sind sehr niedrig.

Die pleistoäne Klima- und Landschaftsentwicklung der nördlichen Po-Ebene im Lichte bodengeographischer Untersuchungen

Otto FRÄNZLE

Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz.

Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse.

Steiner Verlag GMBH, Wiesbaden, 1965.

Jaargang 1965, nr. 8, blz. 333-474, 31 fig., 1 tab., 1 kaart.

Prijs: 14 DM.

In het eerste gedeelte van deze publikatie behandelt de auteur de bodem-morfologie van recente en fossiele bodems op löss, solifluxiemateriaal, glaciale en fluvioglaciale afzettingen van Würm-, Riss- en Mindelouderdom in de noordelijke Povlakte. Een veertigtal profielen en coupes, verspreid tussen de streek van Turijn en het gebied van het Gardameer, worden beschreven. Hierbij wordt de nadruk gelegd op de regionale differentiatie en op de stratigrafische positie van de bodemprofielen. Zo b.v. komt de auteur tot het besluit dat in de huidige topografie op lössachtig moedermateriaal *grey brown podzolic soils* en *psudogleyen* in het westen en *brown forest soils* in het oosten van het studiegebied overwegend voorkomen. Voor de Würmijstijd wordt een drieledige indeling voorgesteld: Jungwürm, overeenstemmend met wat in Noordwest Europa als Tardiglaciaal wordt aangezien, Mittelwürm, met aan de top een sterke profielontwikkeling door de auteur met het Pandorf Interstadiaal gelijkgesteld, Altwürm, aan de top enkel gekenmerkt door een zwakke bodemvorming. In deze schaal ontbreekt het equivalent van het Würm III (löss récent III). Men kan zich dan ook afvragen of de lokale eolische zanden, die door Fränze als Midden-Dryas worden beschouwd, en de lössen, die volgens hem met de maximale uitbreiding van de gletschers zouden overeenstemmen en toch tot de Onder-Dryas worden gerekend, best niet respectievelijk met het Tardiglaciaal en het Würm III hadden kunnen gelijkgesteld worden. Ook het Riss zou volgens Fränze in twee stadia kunnen onderverdeeld worden. Bodems ontwikkeld op materiaal van Mindelouderdom zijn gekenmerkt door hun grote diepte (5-6 m) en hun intense verweringsgraad.

In het tweede deel komt de auteur, door vergelijking van de bodem-morfologie van de fossiele bodems met die van recente bodems ontwikkeld in diverse klimaatsomstandigheden, tot het besluit dat voor de Povlakte de temperatuur gedurende het Riss-Würminterglaciaal gemiddeld 2-3°C en de jaarlijkse neerslag gemiddeld 300 mm hoger waren dan heden. Het klimaat zou voor deze periode in de Povlakte overeenkomen met het huidige klimaat van Zuid-Kaukasus. Paleobotanische studies zouden trouwens deze conclusie bevestigen. Gedurende het Mindel-Rissinterglaciaal zouden de wintertemperaturen tot 5-6°C, de zomertemperaturen tot 3-4°C hoger geweest zijn dan de huidige, terwijl de neerslaghoeveelheid ongeveer met die van het Riss-Würminterglaciaal zou overeenstemmen. Tijdens de twee interglacialen zou het klimaat van de Povlakte dus warmer doch ook vochtiger geweest zijn dan het huidige. Over de temperatuurschommelingen gedurende de Würmijstijd zelf komt de auteur tot minder preciese conclusies: het voorkomen van

permafrostverschijnenselen zou er evenwel op wijzen dat in de koudste periodes (nl. in het Jungwürm) de gemiddelde jaarlijkse temperatuur lager was dan -2°C .

Deze studie kan in ieder geval als baanbrekend werk gelden in de bodemgeografie, de paleopedologie en de kwartairstratigrafie van een gebied, waar tot op heden deze problemen slechts sporadisch werden behandeld.

R. Maréchal.

Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde

Die Bodenkarte 1 : 25 000

Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung

Redaction F. KOHL

Herausgegeben von der Bundesanstalt für Bodenforschung und den
Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland —
Hannover, 1965.

134 S., 14 Abb., 14 Taf.

Preis : DM 6 (bei Abnahme von mehr als 10 Stück DM 4,50).

Die Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Geologischen Landesämter der Bundesrepublik Deutschland hat mehr als 10 Jahre unermüdlich an diesen Richtlinien für die Gestaltung eines einheitlichen Bodenkartenwerkes i.M. 1 : 25 000 gearbeitet. Viel Erfahrung, Fachkenntnis, Fleiß, Geduld und Koordinationsbereitschaft waren notwendig, um zu diesen Richtlinien zu kommen, die nun bei allen Geologischen Landesämtern als verbindlich für das Bodenkartenwerk i.M. 1 : 25 000 gelten. Das ist von größtem Wert und erscheint um so bedeutsamer, weil die bodenkundliche Landesaufnahme im Hoheitsbereich der Länder liegt, und somit könnte jedes Land seine Bodenkarten nach eigenem Ermessen gestalten. Die vorliegende Kartieranleitung, in welcher die Erfahrungen aller Geologischen Landesämter verarbeitet sind, gestattet in Zukunft die Herstellung eines einheitlichen Bodenkartenwerkes.

Die Anleitung und Richtlinien zur Herstellung einer Bodenkarte i.M. 1 : 25 000 enthält folgende Abschnitte :

Vorbereitung der Kartierung,
Technische Durchführung der Kartierung,
Ansprache, Einteilung und Darstellung der Bodenmerkmale,
Oberflächengestaltung und Erosion (Darstellung),
Bildung und Darstellung der Bodeneinheiten,
Das Kartenblatt und die Legende,
Die Erläuterungen,
Anhang mit Tafeln und Schrifttums-Auswahl.

Diese Richtlinien geben nicht nur die Gewähr für ein prinzipiell gleiches Kartenbild und gleiche Legende, sondern es wird auch der Boden bei der Feldarbeit (Kartenaufnahme) nach gleichen Grundsätzen und mit gleichen Fachausdrücken beschrieben. Somit werden auch die Erläuterungen im Prinzip gleich sein. Das erleichtert den Vergleich und die Lesbarkeit von Karten und Erläuterungen.

E. Mückenhausen (Bonn).

Lehrbuch der Bodenkunde

6. Auflage

Fritz SCHEFFER — Paul SCHACHTSCHABEL

Ferdinand Enke Verlag — Stuttgart, 1966.

XV+473 p., 114 fig., 84 tabl., 1 pl. en coul.

Prix : broché 49 DM, relié 54 DM.

La 6^e édition du manuel classique de Scheffer et Schachtschabel, professeurs de réputation mondiale, mérite amplement la spécification de « édition révisée et complétée ». Le livre est passé de 332 à 473 pages, environ 500 nouvelles publications ont été ajoutées à la liste déjà longue des ouvrages consultés : ces chiffres, plus éloquentes que tout commentaire, prouvent l'effort considérable que les auteurs ont fait pour améliorer leur manuel, qui comptait déjà parmi les meilleurs du genre. Notons quelques unes des nouveautés les plus marquantes par rapport à la 5^e édition : méthodes d'analyse les plus importantes, concepts nouveaux sur la capacité d'échange cationique et le comportement de la matière organique, l'importance de la structure et des facteurs qui la conditionnent, révision du chapitre sur la genèse et la classification des sols (e.a. ajoute de la classification américaine, 7^e Approximation).

Le livre se termine par un index alphabétique; nous regrettons cependant qu'il ne contient pas un registre des auteurs (soit à la fin du livre, soit après chaque chapitre), ce qui faciliterait les recherches bibliographiques.

Conclusion : un manuel à recommander sans aucune réserve.

J. Ameryckx.

Review of research on laterites

R. MAIGNIEN

UNESCO, Natural Resources Research IV, Paris 1966.

148 pages, 16 illustrations, 15,5×24 cm.

Prix : \$ 5.00 ou 17,50 FF.

L'auteur nous présente une synthèse des travaux réalisés dans le domaine des sols tropicaux et des latérites.

Après avoir donné un aperçu de l'histoire du concept « latérite », il examine systématiquement les problèmes les plus importants de la latérisation, notamment :

- les caractéristiques morphologiques et analytiques des latérites,
- la distribution globale des latérites et les relations avec les conditions du milieu,
- l'origine des latérites,
- la classification des latérites,
- l'utilisation des latérites.

Le travail de R. Maignien répond au désir d'un grand nombre de chercheurs et de techniciens, de disposer d'un travail de synthèse, aussi complet que possible, sur les sols tropicaux.

Quelque deux cent cinquante références bibliographiques mentionnent les ouvrages les plus importants, qui peuvent donner au lecteur des renseignements plus détaillés sur les divers aspects des problèmes en relations avec les sols tropicaux et les latérites.

C. Sys.

FAO

THE FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

invites applications from experts in the field of Soil Fertility Experimentation and research for assignment to Rome, Italy.

Duties : Supervising worldwide Freedom from Hunger Campaign field programs in soil fertility, marketing and development studies, fertilizer distribution pilot schemes and studies in close cooperation with the fertilizer industry on matters concerning the FFHC program.

Qualifications : University degree in soil science or related subjects and seven years' experience in the field of soil fertility experimentation and research. An excellent knowledge of either English or French or Spanish.

Emoluments : Gross salary within the range of US \$ 13,900 — 18,630 plus liberal cost of living, family allowances, and other benefits.

Send curriculum vitae to : Chief, Recruitment Section, FAO Headquarters, Via delle Terme di Caracalla, Rome, Italy. *Quote LA — 2 — 66.*

P. Avril	
Vocation des terrains dans le cadre du développement économique et rural du Rif occidental au Maroc	143
A. J. Herbillon, R. Frankart & L. Vielvoye	
Evolution des fractions argileuses dans une toposéquence du Burundi Comparaison avec les caractères morphologiques des horizons B .	167
Alb. Fobian	
Studie über Parabraunerden in Dänemark	183
Gh. A. Marinescu	
Sur le calcul des doses d'irrigation	199
T. Boyadjiev	
Terra rossa en Bulgarie	213
L. De Leenheer, M. De Boodt & E. Robberechts	
Study of soil structure and soil physical fertility on large mecha- nized farms 3 rd Communication Correlation between crop yields in a toposequence of the Belgian löss-loam landscape and the soil water economy during the years 1964 & 1965	229
J. de Heinzelin	
Prélèvements de profils sur acétate de polyvinyle	255
Comptes rendus — Boekbesprekingen	260
Communication — Mededeling	263
