

Jan BURACZYŃSKI

Caractéristiques lithologiques des loess d'Achenheim (France)

Charakterystyka litologiczna lessów Achenheim (Francja)

Литологическая характеристика лёссов Ахенхейм (Франция)

INTRODUCTION

Le travail présente les résultats des recherches faites en 1973—1975 sur le terrain de l'Alsace. Il fait part de l'étude des loess du Fossé rhénan (Buraczyński, 1978).

L'étude concerne les profils loessiques d'Achenheim et s'occupe des loess diversifiés à l'égard typologique et stratigraphique dans les profils d'Achenheim 1 et 2.

L'analyse des profils de loess qui contiennent quelques niveaux des paléosols avait pour but une caractéristique détaillée des indices lithologiques qui pourraient être mis en valeur dans les recherches stratigraphiques et paléogéographiques du pléistocène.

Les recherches du loess du Fossé rhénan ont une longue histoire. Elle date depuis l'étude de Schumacher (1890, 1914). Il a établi que les loess dans le Fossé rhénan forment deux grandes séries qu'il a caractérisées selon leur aspect lithologique, archéologique et faunique. Ensuite les traits lithologiques des loess de l'Alsace ont été présentés par Dubois (1931). Les traits physico-chimiques des sols développés au sommet des loess ont été étudiés par Franc de Ferrière (1937). Wernert (1957) a élaboré la stratigraphie classique des loess d'Achenheim à la base des recherches fauniques et archéologiques, et Puiségur (1965) en se fondant sur la malacofaune.

Au cours des dernières années une animation des recherches des loess de l'Alsace a eu lieu. Rassai (1971) a élaborée la lithologie des loess

du profil Hangenbieten et Buraczyński (1971) a présenté les résultats des analyses de la composition minéralogique et chimique des loess d'Achenheim. Une large description de beaucoup de nouveaux profils loessiques d'Alsace est présentée dans la monographie des loess du Fossé rhénan (Buraczyński, 1978).

De même, d'intéressants travaux de recherches concernant la lithologie et stratigraphie des loess ainsi que des paléosols fait-on du côté Est du Rhin sur le Plateau de Bade (Bronger, 1966, 1970; Khodary-Eissa, 1968).

CARACTÉRISTIQUES DE LA LOESSIÈRE

Les coupes des briqueteries d'Achenheim sont situées à 8 km à l'Ouest de Strasbourg. L'une, définie dans ce travail „Achenheim 1”, appartient à la Briqueterie Hurst & C^{ie}, l'autre — „Achenheim 2” — à la briqueterie Sundhauser Est & Canal.

Ces coupes sont situées sur l'escarpement de la haute terrasse de Hangenbieten-Mundolsheim, limitée du côté S par la vallée de la Bruche. Au Nord des coupes, le petit vallon du Muhlbach, débouchant à Achenheim, entaille cette terrasse. Sur ce terrain, nous avons étudié les profils loessiques suivants: Achenheim 1 a—b, Achenheim 1c ainsi qu'Achenheim 2 sur le versant de la vallée de la Bruche. La situation de ces profils est indiquée sur la coupe (fig. 1).

Profil Achenheim 1 a—b

L'altitude moyenne 165 m. Le profil 1a a été levé sur la paroi W—E de 16,4 m sur de profondeur en tenant compte des gradins; la partie inférieure du profil 1b jusqu'à 21,7 m a été levée dans une excavation située à 100 m de la paroi (fig. 2).

- 0,0— 0,1 Horizon d'humus (A_1) du sol contemporain, argilo-limoneux, brun-gris (HCl+).
- 0,1— 0,3 Horizon B_1 de sol brun, argilo-limoneux, brun-gris, transition graduelle (HCl+).
- 0,3— 0,5 Horizon B_2 de sol brun, argilo-limoneux, brun-jaune tacheté de jaune, avec carbonates dispersés en de petits canaux, transition graduelle (HCl+).
- 0,5— 2,5 Loess limoneux, poreux, non stratifié, beige avec de nombreuses concrétions tubulaires (postracines), et à concrétions de carbonate isolées $\varnothing$ 1—2 cm (HCl+).
- 2,5— 2,9 Loess limoneux beige-gris cendré à taches grises indiquant des processus de gléyification (HCl+).
- 2,9— 3,4 Loess stratifié, gléyifié, à strates irrégulières, gris cendré et beige. Des agglomérations plus importantes de Fe_2O_3 sous forme de taches de rouille, d'infiltrations et de straticules discontinues. Transition indistincte (HCl+).

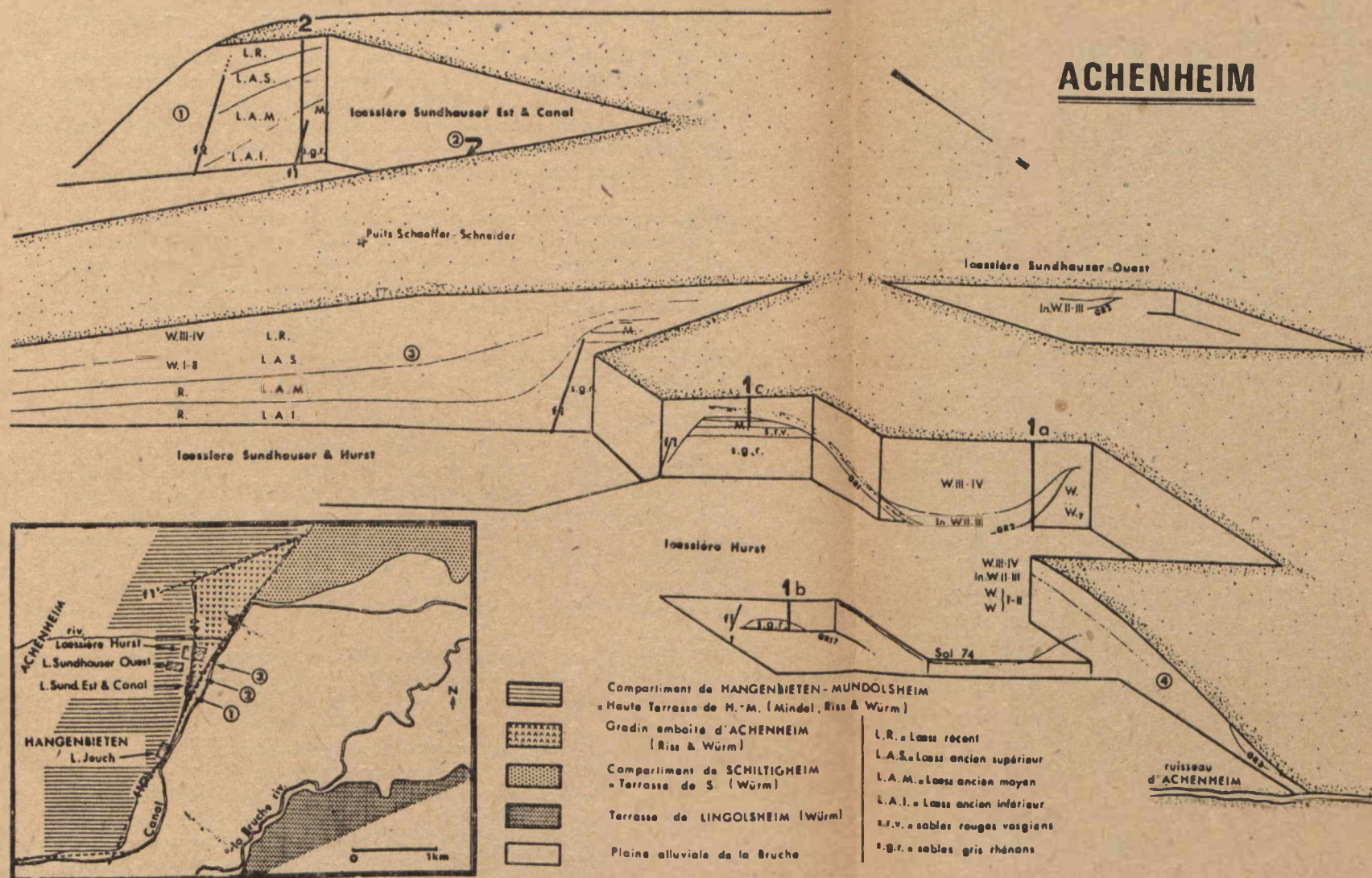
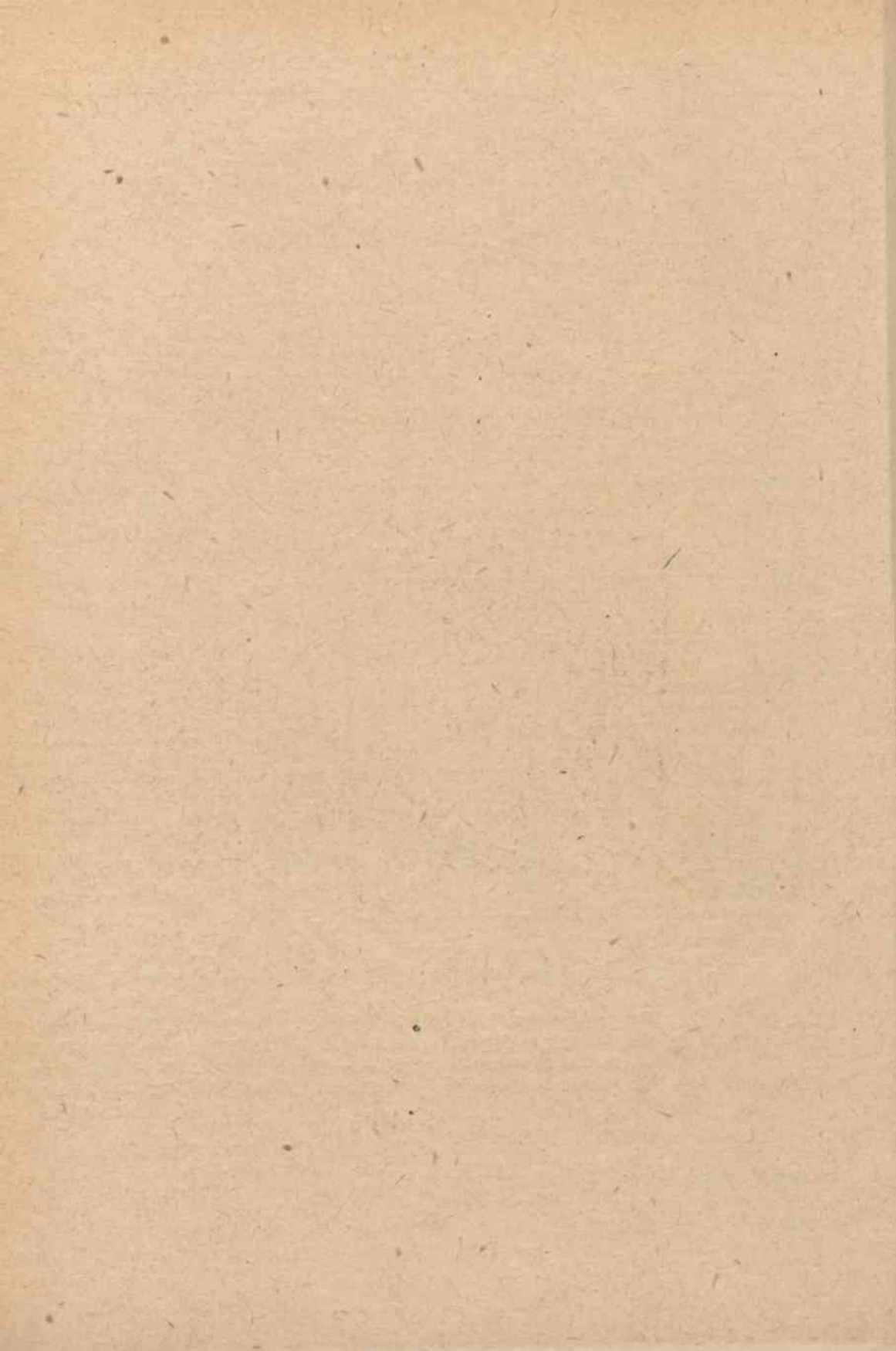


Fig. 1. Vue en perspective des différentes coupes du gisement d'Achenheim d'après A. Thévenin 1976. Situation des profils étudiés 1a, 1b, 1c, 2

Blokdiagram profilu lessowych Achenheim (według A. Thévenin 1976); 1 — terasa Hangenbieten-Mundolsheim (Mindel, Riss, Würm), 2 — stopień Achenheim (Riss, Würm), 3 — terasa Schiltigheim (Würm), 4 — terasa Lingolsheim (Würm), 5 — terasa zalewowa Bruche; LR — less młodszy, LAS — less starszy górny, LAM — less starszy środkowy, LAI — less starszy dolny, Srv — piaski czerwone wogeskie, Sgr — piaski szare reńskie; 1a, 1b, 1c, 2 — położenie profili szczegółowo badanych



- 3,4— 4,5 Loess d'argile forte, brun-beige à lamination fine régulière. Dans toute la couche, des concrétions de carbonates et de fines concrétions de manganèse sont dispersées. Des mollusques isolés (HCl+).
- 4,5— 7,0 Loess limoneux, poreux, de couleur beige, avec des pseudomycélia dans les fissures, de menues concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm ainsi que des concrétions de manganèse. Faune abondante de mollusques, un bois de renne (HCl+).
- 7,0— 9,7 Loess argileux brun, avec des pseudomycélia dans les fissures, des carbonates dans de petits canaux (postracines) et des concrétions fines de manganèse (HCl+). En dessous de la couche (9,3—9,7) se trouvent de nombreuses taches noires à diamètre d'un cm, et des charbons de bois (?).
- 9,7—10,1 Limon stratifié, brun et beige avec des taupinières. Colluvions de loess et du sol situé plus bas (HCl+).
- 10,1—10,3 Horizon d'humus argileux, en traînées, brun-gris; en dessous de la couche, il y a des grains ronds de calcite ϕ 1—2 mm (HCl+). Le profil de 10 m à côté a conservé son sol et se présente comme suit: 10,0—10,5 horizon d'humus alluvionné, gris, stratifié (HCl+faible), 10,5—11,0 horizon d'humus (A₁) gris avec de petits charbons, transition brusque (HCl-).
- 10,3—12,0 Horizon B de sol brun, argile forte couleur chocolat à structure grumeleuse (HCl+faible). L'horizon est coupé en travers par de petits canaux de traces de racines de diamètre 1—2 cm et de longueur jusqu'à 1,6 m remplis par de l'humus ou de loess.
- 12,0—12,8 Loess jaune-brun argileux à faune de mollusques, au sommet une couche de concrétions de carbonates ϕ 2—3 cm (HCl+).
- 12,8—13,4 Loess stratifiée jaune, avec une couche de concrétions de carbonates ϕ 3—5 cm (HCl+).
- 13,4—14,1 Limon argileux, stratifié en strates brunes et jaunes; de nombreuses taches noires d'humus (teneur en humus de 0,3%) et de fines concrétions de manganèse dispersées. De menues concrétions de carbonates. Colluvions d'un horizon d'humus détruit (HCl+faible).
- 14,1—15,7 Horizon B de sol brun, argile forte couleur chocolat à structure grumeleuse, à pellicules horizontales de limon jaune. Dans la couche 14,8—15,7 il y a beaucoup de petits charbons (teneur en humus 0,7%). Wernert appelle cet horizon „Grand Ravinement II”.
- 15,7—17,0 Argile limoneuse, brun-gris, au sommet faiblement gléyifiée. Sur la surface, une couche de sable grossier; des concrétions ferro-manganésiques (HCl+faible).
- 17,0—19,0 Loess limoneux, poreux, jaunes lités. En dessous un horizon de grandes concrétions de carbonates ϕ 5—20 cm (HCl+).
- 19,0—21,7 Limon argileux, brun foncé. Dans toute la couche, beaucoup de concrétions de manganèse. Au sommet la couche est coupé par l'érosion l'inclinaison de 5° vers la vallée de la Bruche. D'après Wernert (1957) c'est là le „Grand Ravinement I”.
- 21,7—24,0 Alluvions sableuses, sables gris rhénans (HCl+).

Profil Achenheim 1 c

L'altitude moyenne 170 m. Le profil est situé 250 m au S du profil 1 a—b, sur la paroi W—E (fig. 1, 2).

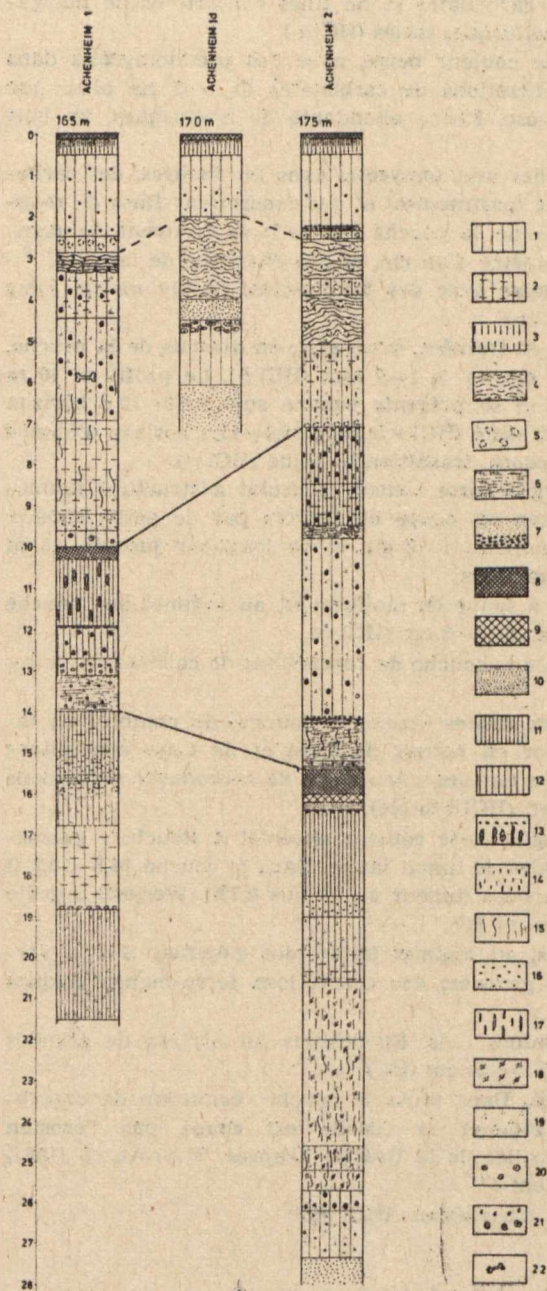


Fig. 2. Coupes lithologiques des loess d'Achenheim. Lithologie: 1 — loess, 2 — loess lité, 3 — argile, loess décalcifié, 4 — loess de solifluxion, 5 — loess gléyifié, 6 — colluvions, 7 — sables et graviers fluviaux; Sol: 8 — tchernoziom, 9 — humus, 10 — horizon lessivé, 11 — sol brun, horizon B_{t1} , 12 — sol brun, horizon B_{t2} , 13 — concrétions de carbonates (petite et grande), 14 — concrétions de carbonates tubulaires post-racines, 15 — pseudomycelia, 16 — charbons, 17 — ancien réseau de racines, 18 — taches rouilles des concrétions ferro-manganésiques, 19 — fines concrétions noires ferro-manganésiques, 20 — taupinière, 21 — faune de mollusques, 22 — bois de renne

Profile litologiczne lessów Achenheim. Osady: 1 — less bezstrukturalny, 2 — less smugowany, 3 — glina, less odwapniony, 4 — less soliflukcyjny, 5 — less oglejony, 6 — deluwia lessowe, 7 — piaski i żwiry terasowe; Gleby: 8 — czarnoziem, 9 — humus, 10 — poziom lessivé, 11 — poziom brunatnienia B_{t1} , 12 — poziom brunatnienia B_{t2} , 13 — konkrecje węglanowe (małe i duże), 14 — konkrecje węglanowe rurkowe, 15 — pseudomycelia, 16 — węgielki drzewne, 17 — kanaliki pokorzeniowe wypełnione lessem, 18 — plamy rdzawe konkrecji żelazisto-manganowych, 19 — drobne konkrecje czarne żelazisto-manganowe, 20 — kretowiny, 21 — fauna ślimaków, 22 — kość

Tab. 1. Granulométrie et calcimétrie des profils de loess Achenheim (valeurs moyennes et extrêmes)

Granulometria i zawartość węglanów w profilach lessowych Achenheim (wartości średnie i skrajne)

Serie de loess	Nombre d'échan- tillons	G r a n u l o m e t r i e en mm							Median Md	Teneur en carbonates %
		1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01- -0,005	0,005		
ACHENHEIM - 1										
VII	15	$\frac{0,8}{0,3-2,0}$	$\frac{0,5}{0,1-0,9}$	$\frac{0,3}{0,1-0,8}$	$\frac{34,9}{31,2-38,4}$	$\frac{40,7}{39,2-52,9}$	$\frac{4,4}{2,4-6,7}$	$\frac{11,7}{8,6-19,0}$	$\frac{0,038}{0,036-0,040}$	$\frac{27,4}{6,2-36,0}$
VI	8	$\frac{1,0}{0,3-1,7}$	$\frac{0,6}{0,2-0,9}$	$\frac{0,5}{0,2-0,8}$	$\frac{33,8}{31,9-35,5}$	$\frac{45,6}{41,9-50,6}$	$\frac{5,2}{4,1-7,1}$	$\frac{13,3}{9,0-17,3}$	$\frac{0,037}{0,035-0,039}$	$\frac{28,5}{22,8-34,4}$
V	26	$\frac{1,1}{0,5-1,9}$	$\frac{0,8}{0,4-1,2}$	$\frac{0,7}{0,5-1,1}$	$\frac{33,3}{31,0-35,2}$	$\frac{43,2}{39,9-46,8}$	$\frac{5,1}{4,0-6,9}$	$\frac{15,7}{10,9-19,2}$	$\frac{0,037}{0,035-0,040}$	$\frac{24,7}{19,8-30,9}$
IV	18	$\frac{0,7}{0,2-1,4}$	$\frac{0,6}{0,2-1,0}$	$\frac{0,7}{0,4-1,1}$	$\frac{34,2}{29,6-46,8}$	$\frac{38,7}{33,3-44,7}$	$\frac{4,5}{3,2-5,8}$	$\frac{20,0}{12,9-28,0}$	$\frac{0,036}{0,030-0,048}$	$\frac{8,3}{0,0-20,9}$
III	12	$\frac{0,3}{0,1-1,9}$	$\frac{0,7}{0,3-1,5}$	$\frac{0,8}{0,6-1,1}$	$\frac{31,9}{23,9-36,0}$	$\frac{35,8}{32,4-41,0}$	$\frac{4,3}{2,8-5,6}$	$\frac{26,1}{15,3-29,9}$	$\frac{0,031}{0,025-0,039}$	$\frac{3,4}{0,0-18,0}$
II	3	$\frac{1,7}{0,2-4,5}$	$\frac{1,7}{0,6-3,8}$	$\frac{1,1}{0,5-2,3}$	$\frac{36,9}{29,4-45,7}$	$\frac{29,6}{22,8-39,3}$	$\frac{4,2}{2,7-5,4}$	$\frac{24,9}{24,5-25,4}$	$\frac{0,040}{0,031-0,044}$	$\frac{5,3}{0,0-3,0}$
I	4	$\frac{0,8}{0,6-1,1}$	$\frac{5,1}{3,8-7,6}$	$\frac{3,8}{2,8-4,3}$	$\frac{32,3}{29,1-35,0}$	$\frac{32,1}{27,5-36,0}$	$\frac{4,1}{3,5-5,8}$	$\frac{21,7}{18,3-26,6}$	$\frac{0,040}{0,036-0,043}$	$\frac{0,2}{0,0-2,0}$
ACHENHEIM - 2										
VII	12	$\frac{0,7}{0,3-1,5}$	$\frac{0,6}{0,2-0,9}$	$\frac{0,5}{0,3-0,8}$	$\frac{36,7}{34,3-40,8}$	$\frac{46,2}{39,2-53,8}$	$\frac{4,4}{2,3-6,7}$	$\frac{10,1}{6,9-19,0}$	$\frac{0,040}{0,036-0,043}$	$\frac{27,1}{6,2-36,0}$
VI	18	$\frac{0,4}{0,2-1,0}$	$\frac{0,6}{0,2-1,2}$	$\frac{0,7}{0,2-1,9}$	$\frac{39,5}{28,8-44,4}$	$\frac{47,1}{41,0-58,6}$	$\frac{4,1}{1,9-5,8}$	$\frac{7,5}{2,4-11,2}$	$\frac{0,042}{0,037-0,046}$	$\frac{29,3}{22,5-34,3}$
V	9	$\frac{0,5}{2,6-9,0}$	$\frac{2,8}{2,0-3,9}$	$\frac{2,5}{1,3-3,4}$	$\frac{41,9}{34,0-46,3}$	$\frac{30,6}{28,1-32,6}$	$\frac{5,2}{4,5-6,6}$	$\frac{12,3}{10,1-17,2}$	$\frac{0,052}{0,046-0,055}$	$\frac{28,9}{24,1-32,8}$
IV	25	$\frac{1,5}{0,4-2,8}$	$\frac{1,4}{0,4-3,4}$	$\frac{1,3}{0,5-2,8}$	$\frac{35,7}{31,5-42,1}$	$\frac{36,8}{22,2-43,0}$	$\frac{5,0}{2,5-7,8}$	$\frac{18,4}{5,4-31,2}$	$\frac{0,038}{0,032-0,047}$	$\frac{25,4}{9,3-35,7}$
III	19	$\frac{0,6}{0,2-1,4}$	$\frac{1,0}{0,6-1,8}$	$\frac{1,4}{0,7-2,4}$	$\frac{33,1}{28,2-56,8}$	$\frac{30,1}{15,4-36,7}$	$\frac{4,1}{2,6-5,8}$	$\frac{29,6}{22,1-34,4}$	$\frac{0,031}{0,024-0,057}$	$\frac{6,7}{0,4-24,4}$
II	8	$\frac{1,0}{0,3-2,3}$	$\frac{1,3}{0,7-2,0}$	$\frac{1,6}{0,8-2,7}$	$\frac{28,0}{25,4-30,2}$	$\frac{28,8}{20,7-32,9}$	$\frac{3,8}{3,2-4,9}$	$\frac{35,3}{30,6-44,0}$	$\frac{0,024}{0,015-0,028}$	$\frac{1,1}{0,6-2,8}$
I	4	$\frac{0,7}{0,3-1,1}$	$\frac{1,3}{0,9-1,7}$	$\frac{1,6}{1,2-1,8}$	$\frac{33,2}{31,3-36,5}$	$\frac{32,9}{31,8-34,6}$	$\frac{5,0}{4,0-5,7}$	$\frac{25,2}{20,5-28,7}$	$\frac{0,034}{0,029-0,039}$	$\frac{7,4}{0,0-15,6}$
	1	0,2	39,5	38,6	20,3	0,7	0,4	0,3	0,209	23,2
ACHENHEIM - 3										
VII	2	$\frac{0,4}{0,4}$	$\frac{0,4}{0,3-0,5}$	$\frac{0,3}{0,2-0,4}$	$\frac{36,9}{36,7-37,1}$	$\frac{45,3}{43,2-47,5}$	$\frac{4,2}{3,6-4,8}$	$\frac{12,4}{10,9-14,0}$	$\frac{0,039}{0,039}$	$\frac{29,2}{28,4-30,0}$
VI	6	$\frac{0,5}{0,2-0,9}$	$\frac{0,4}{0,2-0,5}$	$\frac{0,4}{0,2-0,5}$	$\frac{34,9}{31,6-38,2}$	$\frac{43,8}{37,6-50,6}$	$\frac{4,5}{2,7-6,1}$	$\frac{15,4}{9,4-23,6}$	$\frac{0,037}{0,032-0,040}$	$\frac{24,7}{17,0-30,4}$
V	2	$\frac{0,4}{0,2-0,7}$	$\frac{0,4}{0,4}$	$\frac{1,0}{0,5-1,5}$	$\frac{35,4}{32,1-38,8}$	$\frac{38,8}{36,8-40,8}$	$\frac{4,6}{3,5-5,8}$	$\frac{19,5}{18,8-19,7}$	$\frac{0,037}{0,034-0,040}$	$\frac{18,5}{18,3-18,7}$

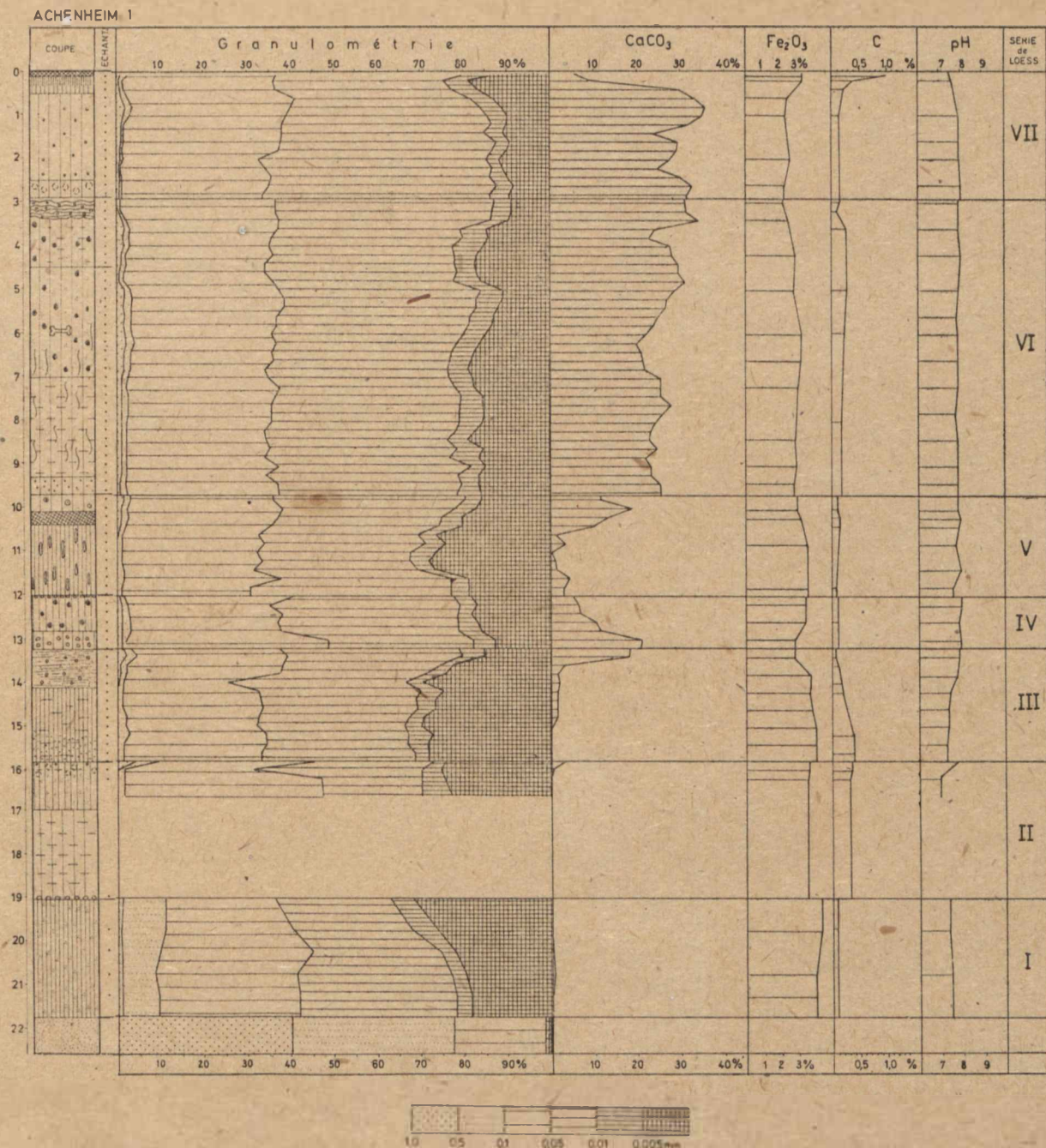


Fig. 3. Granulométrie, calcimétrie et teneur en fer libre, en carbone organique et pH des loess d'Achenheim

Granulometria, węglany, zawartość wolnego żelaza, węgla organicznego i pH w lessach Achenheim 1

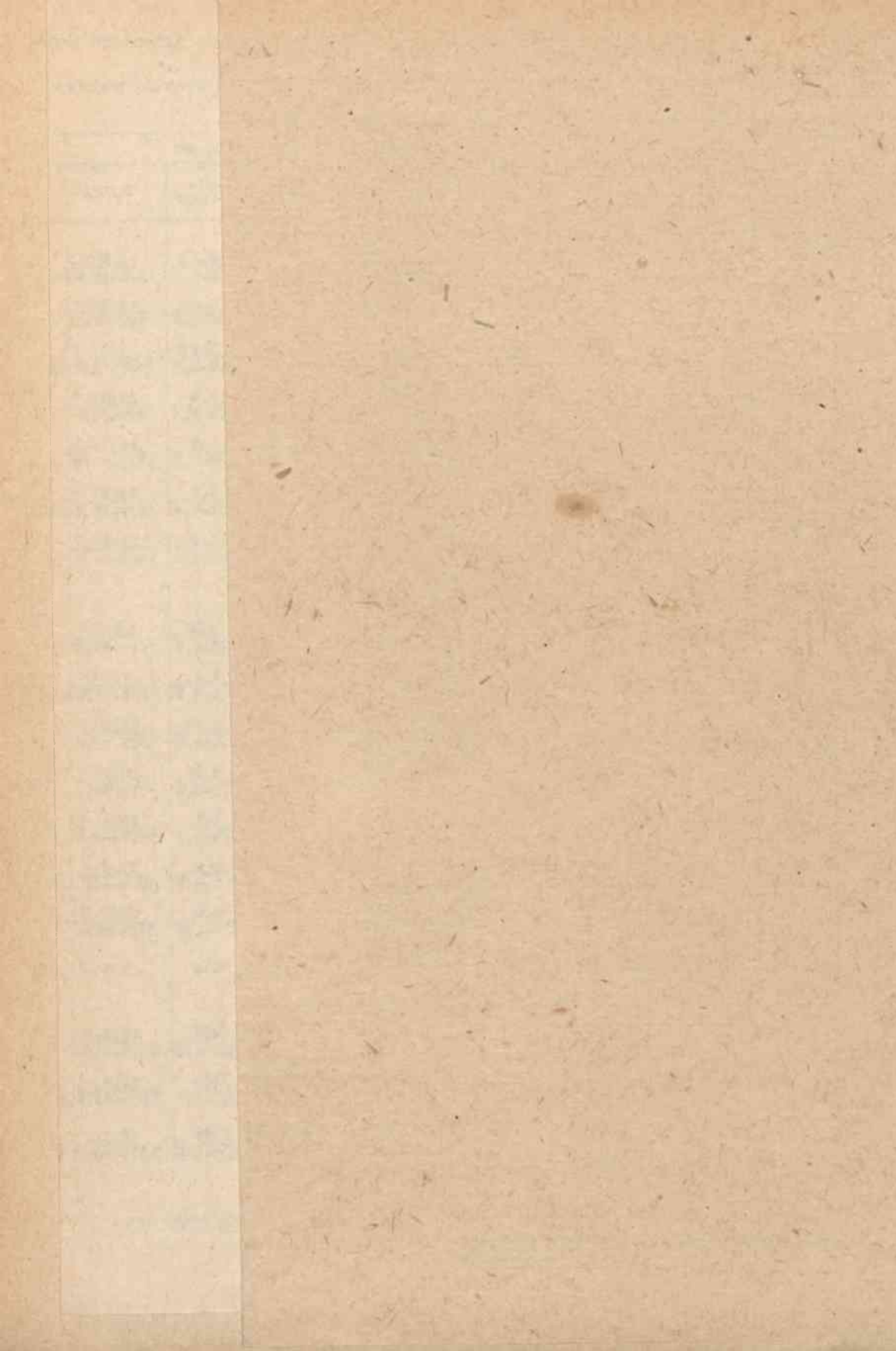
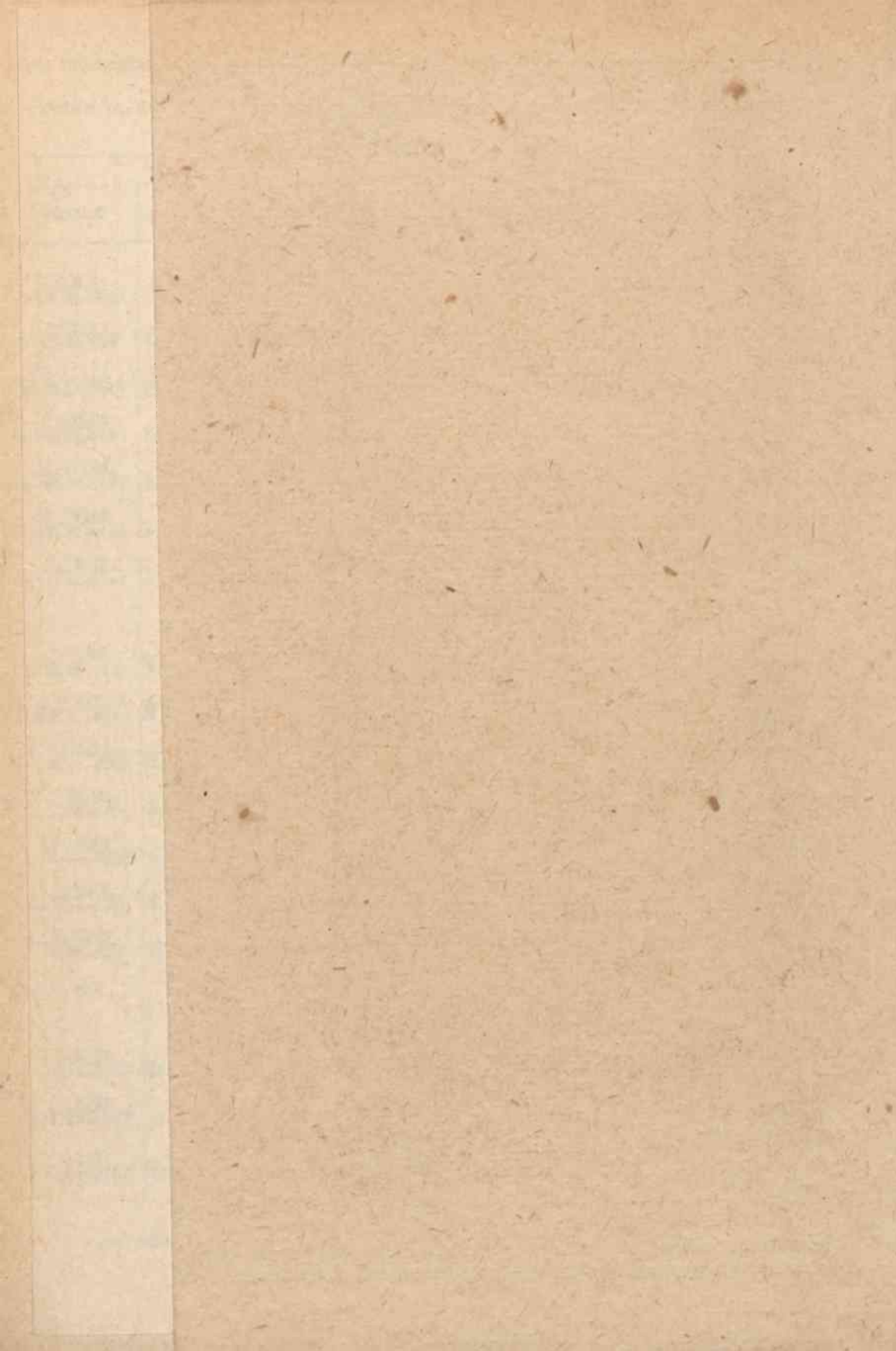


Fig. 4. Granulométrie, calcimétrie et teneur en fer libre, en carbone organique et pH des loess d'Achenheim 2
Granulometria, weglany, zawartość wolnego żelaza, węgla organicznego i pH w lessach Achenheim 2



- 0,0— 0,2 Horizon d'humus (A_1) du sol contemporain, argile forte-limon, gris ($HCl+$ faible).
- 0,2— 0,5 Horizon *B* de sol brun argilo-limoneux, brun-gris passant au brun jaunâtre ($HCl+$).
- 0,5— 2,0 Loess limoneux, poreux, beige avec de nombreuses menues concrétions tubulaires de carbonates, concrétions isolées de carbonates $\varnothing$ 1—2 cm ($HCl+$).
- 2,0— 4,0 Loess de solifluxion, argileux, stratifié irrégulièrement, gléyifié. Couches brunes et jaune-oranges avec de taches grises. Concrétions isolées de carbonates ($HCl+$).
- 4,0— 4,5 Sable de solifluxion à grain varié, couleur brun rouille.
- 4,5— 4,8 Couche de grandes concrétions de carbonates, 10 cm à 20 cm ($HCl+$).
- 4,8— 6,1 Loess limoneux, poreux, jaune clair, à carbonates disséminés, avec une faune de mollusques ($HCl+$). Cet horizon a été appelé par Wernert (1957) „loess canari”.
- 6,1— 7,0 Sables à grain moyen, rouges, alluvions des Vosges ($HCl-$).

Profil Achenheim 2

L'altitude moyenne 175 m. Le profil se trouve sur le versant gauche de la vallée de la Bruche. Nous avons placé le profil (sur une profondeur de 27,4 m) sur la paroi de la briqueterie, perpendiculaire à la vallée de la Bruche (fig. 1, 2).

- 0,0—0,15 Horizon d'humus (A_1) de sol contemporain, argilo-limoneux, brun-gris ($HCl+$).
- 0,15— 0,5 Horizon *B* de sol brun, argile brun à taches jaunes, avec des carbonates dispersés en de petits canaux. Transition graduelle ($HCl+$).
- 0,5— 2,2 Loess limoneux, poreux, de couleur beige (10 YR 8/3—4), avec de menues concrétions de carbonates isolées ($HCl+$).
- 2,2—2,35 Loess poreux, beige (10 YR 7/3) à taches de rouille. Horizon à concrétions de carbonates $\varnothing$ 1—3 cm ($HCl+$).
- 2,35—2,55 Loess gléyifié, gris cendré (2,5 Y 7/3) à taches irrégulières couleur rouille. Des concrétions de carbonates isolées ($HCl+$).
- 2,55— 3,5 Loess limoneux, lité, gléyifié, gris cendré à taches irrégulières et pellicules couleur brun rouille (2,5 Y 7/3—10 YR 7/3). Loess à structure feuilletée de solifluxion. Carbonates dispersés ($HCl+$).
- 3,5— 3,9 Loess limoneux, beige (10 YR 7/3) à taches grises, faiblement gléyifié. Carbonates dispersés, concrétions $\varnothing$ 3—4 cm, fines concrétions manganéuses ($HCl+$).
- 3,9— 5,1 Loess limono-argileux de solifluxion, brun à taches gris cendré (10 YR 7/3), irrégulièrement stratifié. Au sommet, une couche onduleuse brun rouille, en dessous fortement gléyifié. Carbonates dispersés, des concrétions $\varnothing$ 3—4 cm et de fines concrétions manganéuses ($HCl+$).
- 5,1— 6,1 Loess argileux beige (10 YR 7/3), dans de petits canaux des carbonates et de fines concrétions manganéuses ($HCl+$).
- 6,7— 7,1 Loess poreux jaune (10 YR 7/3), dans de petits canaux des carbonates dispersés et des agglomérations de fines concrétions manganéuses. En dessous du loess gléyifié à taches grises ($HCl+$).

- 7,1— 8,5 Horizon B_{t1} de sol brun lessivé, argile brune (10 YR 7/4), teneur en humus 0,6%. Nombreux petits canaux de traces de racines, irréguliers, à diamètre d'un cm et à longueur de 20 cm, pleins de loess gris provenant de la couche gléyifiée. Au sommet la couche est coupée par l'érosion, sur la surface un horizon de concrétions de carbonates ϕ 2—5 cm. Des grains de calcite sphériques ϕ 0,5—2 mm se trouvent dans la couche. Une faune de gros mollusques (*Helix Pomatia?* *Zonites*), (HCl+).
- 8,5— 9,5 Horizon B_{t2} de sol brun lessivé, argile brune (10 YR 7/4). Teneur en humus 0,5%. Forme stratifiée, les couches d'argile forte et celles de limon avec une faune très abondante de mollusques (HCl+).
- 9,5— 9,8 Argile forte limoneuse brune terreuse (10 YR 6/4) lités l'inclinaison de la couche est de 10°. Teneur en humus 0,9%. Menus filaments de carbonates. Nombreux mollusques (HCl+).
- 9,8—14,2 Loess limoneux poreux jaune clair (10 YR 8/4—7/4). Des carbonates dispersés et de petites concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm (HCl+).
- 14,2—15,2 Argile stratifiée à inclinaison des couches de 10° brune avec des intercalations de loess jaune (10 YR 5/4—6/3—4). Dans les fissures des pseudomycélia de carbonates. Au sommet, une couche de concrétions de carbonates ϕ 2—3 cm, ainsi que beaucoup de concrétions tubulaires post-racines (HCl+).
- 15,2—15,3 Loess limoneux jaune (10 YR 7/3), la couche est à inclinaison de 10° (HCl+).
- 15,3—16,0 Horizon d'humus brun-gris avec de petits charbons (7,5 YR 4/2—3). Au sommet la couche brune-jaune de 10 cm d'épaisseur (10 YR 5/3) colmatée. Teneur en humus de 2,2%. Dans les fissures, des pseudomycélia (HCl+).
- 16,0—16,2 Horizon d'humus gris-brun (10 YR 4/2), structure grumeleuse, teneur en humus 0,8% (HCl+).
- 16,2—16,4 Couche intermédiaire, horizon lessivé. La couche elle-même est jaune-brune (10 YR 5/3), tachetée d'humus gris (HCl+).
- 16,4—17,8 Horizon B_{t1} de sol brun lessivé, argile forte brune (10 YR 4/4), au sommet une couche jaune foncé (10 YR 7/3—4) avec des concrétions de carbonates ϕ 2—5 cm. Les menus canaux de traces de racines pleins de loess jaune. Une faune de mollusques (HCl+ faible).
- 17,8—18,5 Horizon B_{t2} de sol brun lessivé, argile forte brune jaunâtre (10 YR 5/4). Teneur en humus de 0,4%. (HCl—des traces).
- 18,5—19,0 Horizon B_{t3} de sol brun lessivé, argile forte brune (7,5 YR 4/4), avec de nombreux petits charbons, teneur en humus 0,5% (HCl—des traces).
- 19,0—20,6 Argile brune (7/5 YR 4/4) avec des filaments couleur rouille et des concrétions fines manganésiques. Teneur en humus 0,4% (HCl+très faible).
- 20,6—22,0 Argile brune à taches rouille (10 YR 4/4 et 5 YR 5/8). Dans les fissures, précipitations brunes-rouille d'oxydes Fe et Mn. Teneur en humus 0,5% (HCl+très faible).
- 22,0—24,6 Argile stratifiée et litée, brune-grise (10 YR 4/3—4) à nombreuses taches irrégulières et filaments d'oxydes Fe et Mn bruns-rouille (5 YR 5/8). Teneur en humus 0,4% (HCl+très faible).
- 24,6—25,2 Argile brune à taches rouille (10 YR 4/3 et YR 5/8). Fines concrétions manganées (HCl—).
- 25,2—25,7 Argile brune à mouchetures rouille (10 YR 6/4), des pseudomycélia dans les fissures (HCl—).
- 25,7—26,2 Loess argileux gris brun (10 YR 7/4). Faune de gros mollusques (HCl+).

26,2—27,4 Loess limoneux, poreux brun clair (10 YR 7/4). Des carbonates en menus canaux, des concrétions $\varnothing$ 3—5 cm et de fines concrétions manganées (HCl+).

au-dessous Sable fin, gris (2,5 Y 7/2—3) alluvions rhénanes (HCl+).
des 27,4

CARACTÈRES LITHOLOGIQUES DES LOESS

GRANULOMÉTRIE

La composition mécanique des loess joue un rôle spécial dans l'explication de leur genèse et des changements ultérieurs de leur composition. Les loess typiquement éoliens se caractérisent par leur fractionnement uniforme, la fraction limoneuse 0,01—0,05 mm formant la masse principale du dépôt.

Nous avons déterminé la granulométrie des loess d'Achenheim sur la base de 182 échantillons (tab. 1, fig. 3, 4). Les loess jeunes dans les profils d'Achenheim 1 (séries V—VII) et Achenheim 2 (séries VI—VII) montrent une prédominance de la fraction de base 0,01—0,05 mm (40—47%). La distribution granulométrique varie avec les faciès. Dans le faciès éolien, la fraction 0,01—0,05 mm prédomine, dans le faciès de solifluxion la fraction de base s'amointrit en faveur des argiles. Quant aux loess anciens (séries I—IV), les fractions de 0,01—0,03 mm et de 0,05—0,1 mm y sont représentées en quantités égales (environ 30%). Dans les séries III et IV, on observe une prédominance peu sensible de la fraction limoneuse. La teneur en argiles (colloïdes, moins de 0,005 mm) progresse à plus de 20% (le pourcentage maximum est de 35%). Les paléosols montrent une teneur moindre en fraction de base.

La faible teneur en fraction sableuse (plus de 0,1 mm), qui d'habitude est de 2—3% présente un caractère commun à toutes les séries du loess. Cette fraction est constituée principalement de concrétions de carbonates et de concrétions ferro-manganésiques. Le quartz prédomine uniquement dans les loess anciens (fig. 5, 6).

La part des diverses fractions dans les profils Achenheim 1 et 2 varie selon l'âge des horizons de loess, le faciès de loess et la transformation de la matière loessique par les processus secondaires de l'érosion (tab. 1).

CARBONATES

La teneur en carbonates présente l'un des caractères lithologiques essentiels des loess et, simultanément, un critère de classification. Dans les loess d'Achenheim, elle varie dans le profil vertical de 0 jusqu'à 36% (tab. 1, fig. 3, 4).

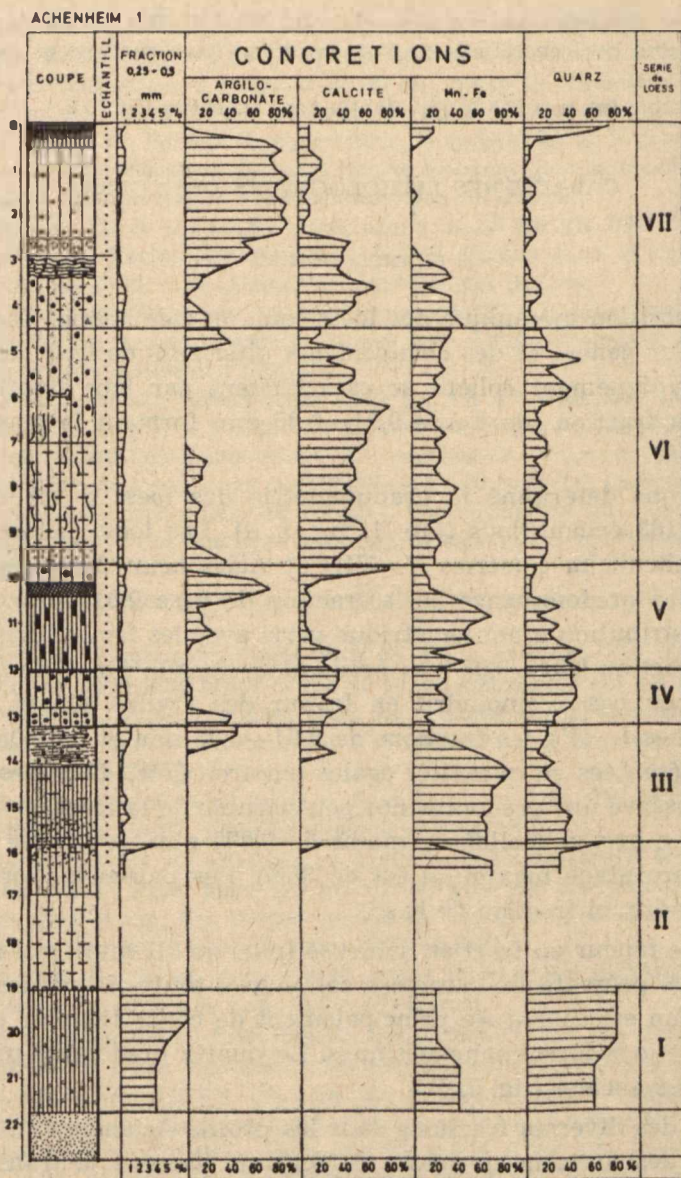


Fig. 5. Composition pétrographique des loess d'Achenheim 1 (fraction 0,25—0,5 mm)
Skład petrograficzny lessów Achenheim 1 (frakcja 0,25—0,5 mm)

Le loess le plus ancien (Achenheim 2, série I) contient 15% de carbonates, les séries II et III n'en contiennent pas, dans le sus-jacent cependant il y a des carbonates secondaires. Les loess jeunes (séries V—VII) sont fortement carbonatisés (30%). La teneur en carbonates est différenciée selon les horizons; les fluctuations atteignent 10%. La quantité

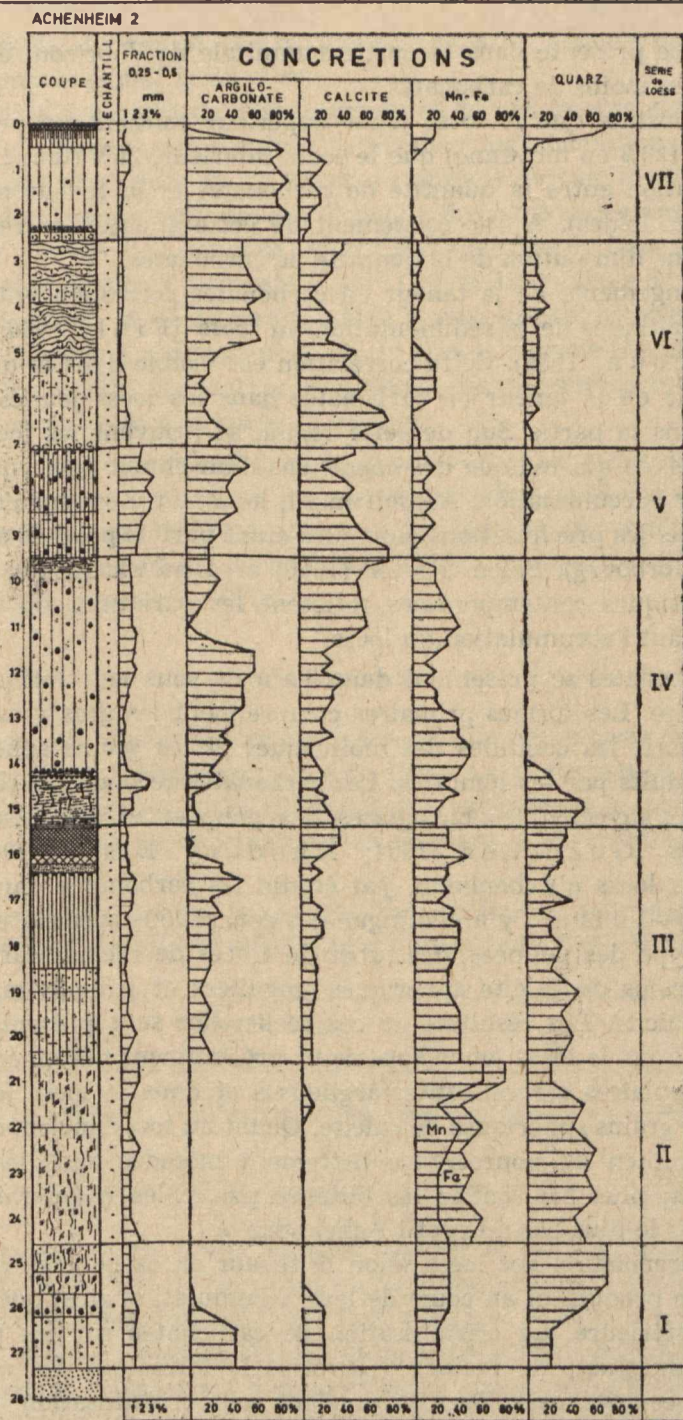


Fig. 6. Composition pétrographique des loess d'Achenheim 2 (fraction 0,25—0,5 mm)
Skład petrograficzny lessów Achenheim 2 (frakcja 0,25—0,5 mm)

maximum se présente dans la partie sommitale de l'horizon; en dessous, il y a un peu moins de carbonates.

On a constaté que le loess jeune supérieur contient un peu plus de carbonates (28% en moyenne) que le loess inférieur, 25% (tab. 1). Il existe une corrélation entre la quantité de carbonates et la teneur en fraction argileuse (colloïdes). A l'accroissement de cette fraction correspond notamment une diminution de la quantité de carbonates.

Les changements de la teneur en carbonates correspondent aux conditions climatiques de la sédimentation du loess (Fink, 1966; Ložek, 1966; Macoun, 1969). Cette corrélation est visible dans la différenciation spatiale de la teneur en carbonates dans les loess jeunes du Fossé rhénan. Dans la partie Sud de cette région se trouvent les loess le plus carbonatisés, ce qui indique des conditions d'un climat remarquablement sec pendant l'accumulation. Actuellement, le climat y est également relativement sec, les précipitations annuelles étant parfois proches de 500 mm (Colmar—Horbouurg). Selon Fink (1966) et Ložek (1966), les variations climatiques contemporaines reflètent les variations du climat régnant pendant l'accumulation du loess.

Les carbonates se présentent dans les loess sous leur forme primaire ou secondaire. Les formes primaires comprennent les gros grains cristallins de calcite, les coquilles des mollusques et les grains sphériques de calcite, produits par les lombrics. Les carbonates secondaires sont constitués par les mycélia, les biéoglasses, les poupées et les accumulations lenticulaires (Guenther, 1954; Khodary-Eissa, 1969).

Dans les loess d'Achenheim, j'ai étudié les carbonates dans la fraction de 0,25—1,0 mm. J'y ai distingué des concrétions carbonateuses-argileuses du type des poupées, des tubes de traces de racines carbonateux-argileux, grains de calcite sphériques, réguliers et irréguliers, des filaments de calcite. Les résultats de ces recherches sont présentés par les fig. 5 et 6. Dans le loess jeune supérieur, prédominent nettement les concrétions tubulaires carbonateuses-argileuses et dans le loess jeune inférieur — les grains sphériques de calcite. Quant au loess ancien, ces formes se présentent en un pourcentage nettement moindre dans les horizons de paléosols; plus bas, on ne les observe pas. Elles n'apparaissent que dans le loess le plus bas du profil Achenheim 2.

La différenciation des loess selon la teneur en carbonates résulte des processus se produisant au cours de leur accumulation ainsi que dans une période postérieure. La cristallisation de carbonates sur les parois des petits canaux traces de racines a favorisé la formation des concrétions carbonateuses-argileuses. Parfois, pendant leur cristallisation, les carbonates ont formé des filaments de calcite. Les grains sphériques de calcite (Φ 0,2—2,0 mm), qui se présentent en dispersion ou en agglomération,

se sont formés, d'après M a z e n o t (1963) dans les glandes des lombrics, en conditions de climat froid et sec.

L'effet des processus de désagrégation et de pédogenèse sont les pellicules carbonateuses sur d'autres minéraux, les concrétions tubulaires carbonateuses argileuses et les fissures remplies de calcite cristallisé.

Il y a de diverses opinions sur l'origine des carbonates dans les loess. D'après la plupart des opinions ils ont été apportés et fixés par le vent ensemble avec d'autres éléments (C a i l l e u x, 1954; G u e n t h e r, 1954; M a l i c k i, 1949; W o l d s t e d t, 1956). Leur source principale étaient les dépôts à grain fin des fleuves et rivières périglaciaires et glaciaires. Selon J a h n (1961), le vent en emportait des poussières composées de quartz, de carbonates et d'autres éléments.

La teneur en carbonates dans le profil vertical dépend de la vitesse d'accumulation du loess ainsi que du degré d'humidité du climat. Une faible teneur en carbonates du loess ancien indique des conditions atmosphériques humides et une lente accumulation de poussières (F i n k, 1966; L o ž e k, 1966; J e r s a k, 1973).

OXYDES DE FER

La teneur en oxydes de fer des loess est l'un des indices de conditions paléogéographiques d'accumulation du loess. La participation des oxydes de fer libres dans les loess d'Achenheim varie dans le profil vertical (fig. 3, 4). Le loess jeune supérieur en contient environ 2,5%, et le loess

Tab. 2. Teneur en fer libre (%) des loess d'Achenheim (valeurs moyennes et extrêmes)
Procentowa zawartość wolnego żelaza (Fe_2O_3) w lessach Achenheim (średnie i skrajne)

Serie de loess	VII	VI	V	IV	III	II	I
Achenheim 1	$\frac{2,6}{2,2-3,2}$	$\frac{2,8}{2,1-3,1}$	$\frac{3,3}{2,9-3,5}$	$\frac{3,2}{2,7-3,5}$	$\frac{3,6}{2,7-4,0}$	$\frac{3,6}{3,6}$	$\frac{4,1}{4,0-4,3}$
Achenheim 2	$\frac{2,6}{2,2-3,2}$	$\frac{2,5}{2,3-2,8}$	$\frac{3,1}{3,1}$	$\frac{3,1}{2,6-3,7}$	$\frac{3,5}{2,8-4,1}$	$\frac{4,3}{4,1-4,4}$	$\frac{3,6}{3,4-3,8}$

jeune inférieur — 3%. Dans les loess anciens le contenu d'oxydes de fer atteint 3,5—4,3% (tab. 2). Dans les autres provinces de la France, on a observé une différenciation analogue (J a m a g n e, M a t h i e r, 1971; L a u t r i d o u, 1968). La part du fer qui entre dans la composition des silicates d'alumine dans les loess est peu importante, moins de 0,5% (tab. 4).

La teneur en oxydes de fer est proportionnelle à la teneur en fraction argileuses (fig. 4), à l'inverse des carbonates (J e r s a k, 1973). Le climat,

ainsi que les conditions des eaux souterraines, ont une influence sur la teneur en oxydes de fer libres. La différenciation observée dans le profil vertical, témoigne de variations dans les conditions climatiques. Sous un climat humide s'accumulaient des loess plus riches en oxydes de fer libres que sous un climat sec, continental. La teneur moindre en oxydes de fer libres dans le loess jeune supérieur indique un climat sec au temps de leur accumulation. Le loess ancien se déposait dans des conditions climatiques humides. Dans les loess anciens, on rencontre parfois des horizons d'accumulation d'oxydes de fer aux limites de couches à caractères lithologiques différents ce qui est lié aux facteurs hydrologiques (Jersak, 1973). Les composés de fer forment également des concentrations des concrétions ferreuses en forme de petits tubes, de globules ainsi que de croûtes sur les parois des fissures. Les composés de fer se présentent comme des complexes humiques-ferrugineux-argileux (Duchaufour, 1964). La quantité et la situation des concrétions ferro-manganésiques sont des indicateurs d'hydromorphisme du sol (fig. 5, 6).

TENEUR EN HUMUS

La teneur en humus a été déterminée sur 75 échantillons en désignant le carbone organique d'après la méthode de Tiurine (Tiurin, 1936, Simacov, 1957). Les résultats sont représentés par des graphiques (fig. 3, 4). La teneur en humus a été calculée en admettant qu'il contient 58% de carbone organique. La table 3 présente les données pour chaque série de loess et on y peut observer certaines régularités. Le loess jeune supérieur contient 0,2% d'humus, le loess inférieur 0,25—0,3%. Dans les loess anciens, la teneur en humus monte jusqu'à 0,4—0,6%, ce qui est dû à l'apparition d'un horizon épais du sol en même temps que manque un horizon précis du loess.

Le loess éolien le plus ancien est pauvre en humus. Dans les paléosols

Tab. 3. Teneur en humus (%) des loess d'Achenheim (valeurs moyennes et extrêmes)
Procentowa zawartość humusu w lessach Achenheim (wartości średnie i skrajne)

Série de loess	VII	VI	V	IV	III	II	I
Achenheim 1	/1,5/		/0,6/		/0,7/		
	0,2	0,33	0,25	0,15	0,34	0,63	0,15
	0,2	0,1-0,4	0,2-0,3	0,15	0,2-0,7	0,6-0,7	0,15
Achenheim 2	/1,5/			/0,9/	/1,4-2,2/		
	0,2	0,2	0,33	0,3	0,4	0,4	0,2
	0,2	0,2-0,6	0,2-0,5	0,2-0,5	0,2-0,5	0,2-0,5	0,2

En la parenthèse teneur en humus dans le sol.

Tab. 4. Teneur en humus, en carbonates, en fer libre et composition chimique des loess du profil Achenheim 2
Zawartość humusu, węglanów, wolnego żelaza oraz skład chemiczny lessów profilu Achenheim 2

Serie de loess	Echantillon	Profondeur m	Argiles 0,005 mm	pH /H ₂ O/	Humus %	CaCO ₃ %	Fe ₂ O ₃ libre %	Composition chimique en % pondéraux de masse sèche									Rapports molaires			Indice CaO + K ₂ O /Al ₂ O ₃
								SiO ₂	R ₂ O ₃	Po ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Pertes au feu	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /RO	SiO ₂ /R ₂ O ₃	
VII	1	0,1	14,3	7,5	1,49	6,2	3,22	68,86	15,52	3,66	11,72	0,14	3,25	1,34	2,30	7,14	9,99	16,01	19,39	0,47
	2	0,2	19,0	7,5	0,65	8,7	3,22	68,77	14,77	3,57	11,10	0,10	4,47	1,45	2,00	6,85	10,53	12,39	20,32	0,58
	3	0,4	16,8	7,6	0,33	29,4	no	52,30	11,92	2,86	8,95	0,11	14,38	2,38	1,60	15,28	9,90	3,33	19,16	1,78
	4	0,6	13,2	7,7	no	33,1	2,29	49,71	10,75	2,68	7,97	0,10	17,19	2,80	1,50	16,86	10,61	2,65	20,21	2,34
	6	1,0	10,1	7,7	0,20	35,2	2,22	48,59	10,42	2,32	8,01	1,09	15,94	3,08	1,36	17,89	10,31	2,72	20,35	2,15
	10	2,0	8,4	8,0	0,20	25,0	2,50	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
	12	2,5	8,1	8,0	0,18	35,5	no	49,12	10,45	2,63	7,68	0,14	16,69	3,07	1,40	16,18	10,88	2,65	20,53	2,35
VI	14	3,0	8,1	8,0	no	34,3	2,32	49,94	10,07	2,63	7,34	0,10	16,81	2,63	1,31	16,04	11,56	2,74	21,67	2,47
	17	3,75	2,4	8,1	0,13	31,7	2,39	51,39	10,87	3,04	7,72	0,11	15,69	2,53	1,44	14,97	11,31	3,18	20,64	2,22
	18	4,0	5,0	8,0	0,16	28,8	2,47	53,74	11,77	2,77	8,91	0,09	13,12	2,16	1,66	13,97	10,26	3,75	19,95	1,65
	20	4,5	5,0	8,0	0,18	32,2	no	52,01	11,25	3,04	8,12	0,09	14,87	2,56	1,61	14,33	10,89	3,18	20,21	2,03
	24	5,5	11,2	7,8	0,20	25,0	2,82	56,51	12,62	3,39	9,13	0,10	12,50	2,35	1,70	12,29	10,52	4,06	19,54	1,55
	28	6,5	8,8	8,0	0,22	27,6	2,64	54,68	12,72	3,48	9,14	0,10	13,50	2,43	1,58	12,66	10,17	3,66	18,79	1,65
	31	7,25	10,6	7,8	0,24	32,8	no	49,62	13,07	3,52	9,46	0,09	17,12	1,84	1,44	14,77	8,92	2,79	16,57	1,96
V	35	8,25	10,4	7,5	0,24	26,2	3,11	54,34	13,15	3,57	9,48	0,10	13,00	1,70	1,47	12,82	9,75	3,94	18,42	1,63
	39	9,25	17,2	7,7	0,48	23,2	3,11	55,61	13,65	3,66	9,88	0,11	12,50	1,73	1,50	12,17	9,56	4,17	17,79	1,41
	41	9,6	17,8	7,8	0,86	14,9	3,29	64,85	14,50	3,57	10,82	0,11	7,87	1,64	1,58	9,38	10,17	7,27	19,54	0,87
	42	10,0	19,0	7,8	0,69	30,7	2,57	50,72	11,25	2,77	8,36	0,12	16,50	1,91	1,24	14,67	10,31	2,94	19,70	2,12
	48	12,0	6,1	8,0	0,20	35,1	2,75	48,63	11,40	4,11	7,16	0,13	17,00	2,38	1,36	16,90	11,54	2,68	18,63	2,56
	53	13,0	20,6	8,0	0,15	28,0	2,79	51,60	13,35	3,48	9,77	0,10	15,62	2,49	1,74	14,85	8,98	3,04	16,89	1,78
	58	14,2	19,6	8,1	0,48	28,2	2,93	51,05	13,02	3,22	9,68	0,12	14,75	2,63	1,55	15,17	8,96	3,13	17,12	1,63
IV	61	14,7	29,0	7,8	0,27	9,3	3,72	64,83	16,30	4,38	11,81	0,11	6,07	1,43	1,90	8,51	9,33	9,22	17,37	0,68
	64	15,2	17,8	8,0	0,34	16,8	3,36	59,54	15,00	3,84	11,03	0,13	9,16	2,16	1,79	10,51	9,18	5,61	17,35	0,99
	66	15,6	27,3	7,6	1,38	9,3	3,68	65,19	16,02	4,20	11,70	0,12	5,81	1,43	1,94	8,46	9,47	9,61	17,78	0,66
	67	15,8	29,5	7,5	no	8,8	no	66,10	16,35	4,29	11,94	0,12	5,44	1,36	1,90	8,53	9,48	10,37	17,65	0,61
	68	16,0	30,6	no	2,24	9,7	no	64,46	15,87	4,20	11,55	0,12	6,37	1,28	1,79	9,33	9,49	8,99	17,73	0,70
	69	16,2	26,6	7,6	no	18,9	3,04	57,78	14,20	3,52	10,56	0,12	10,87	1,46	1,61	12,55	9,30	5,00	17,77	1,18
	70	16,4	24,2	no	0,79	24,4	2,82	54,13	13,40	3,31	9,98	0,11	13,37	1,73	1,50	14,62	9,22	3,82	17,65	1,49
III	71	16,6	24,8	7,8	0,28	16,0	3,29	59,98	15,02	3,98	10,96	0,08	9,31	2,01	1,70	10,52	9,31	5,65	17,45	0,20
	78	18,0	31,2	7,7	0,41	0,7	4,11	72,16	18,35	4,98	13,91	0,06	0,81	1,25	2,10	4,03	8,32	37,35	18,18	0,21
	81	19,5	31,7	7,8	0,39	0,4	3,89	72,70	17,90	4,83	12,99	0,08	0,69	1,28	2,10	4,30	9,52	39,34	17,74	0,21
	84	21,0	37,3	7,8	0,40	2,2	4,40	68,60	20,21	5,23	14,80	0,09	2,15	1,40	2,05	9,50	7,88	20,60	14,83	0,28
	88	23,0	32,0	7,6	0,35	0,6	4,15	72,45	18,15	4,91	13,15	0,09	1,12	1,30	2,16	4,58	9,37	31,94	17,42	0,25
	91	24,5	44,0	7,7	no	2,8	no	66,23	20,62	5,98	11,48	0,16	2,62	1,63	2,19	6,65	9,81	16,62	14,02	0,42
	92	25,0	28,7	7,9	0,20	0,0	no	73,11	18,27	5,00	13,12	0,15	0,75	1,35	2,19	4,29	9,47	37,15	17,48	0,22
I	93	25,5	27,2	7,9	0,18	0,2	3,90	73,16	17,60	4,38	13,10	0,12	1,25	1,24	2,16	4,41	9,50	31,34	18,14	0,26
	95	26,5	20,5	7,9	0,17	15,6	3,36	62,12	14,95	4,11	10,72	0,12	8,19	2,07	1,80	9,76	9,85	6,46	18,13	0,93

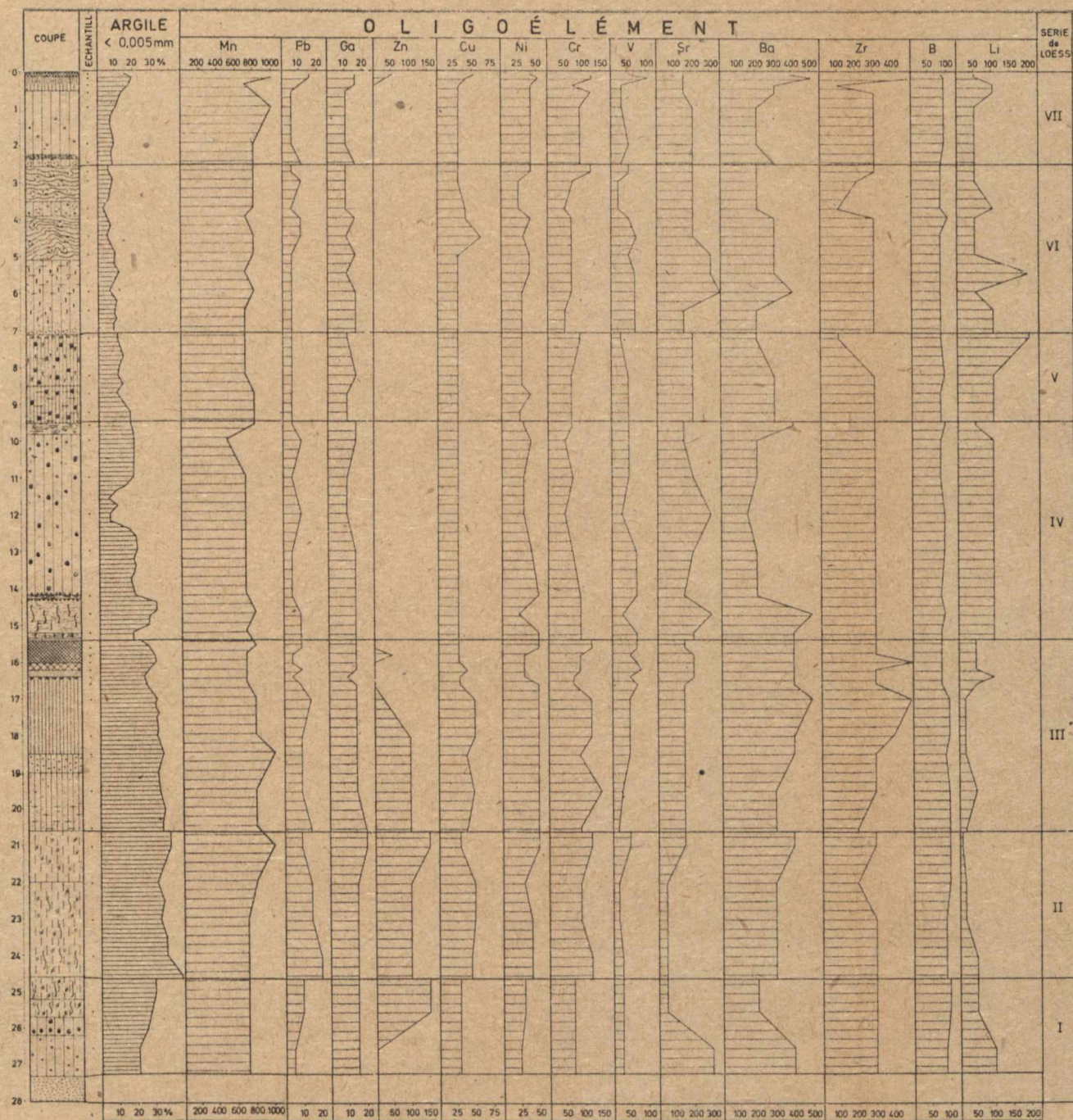
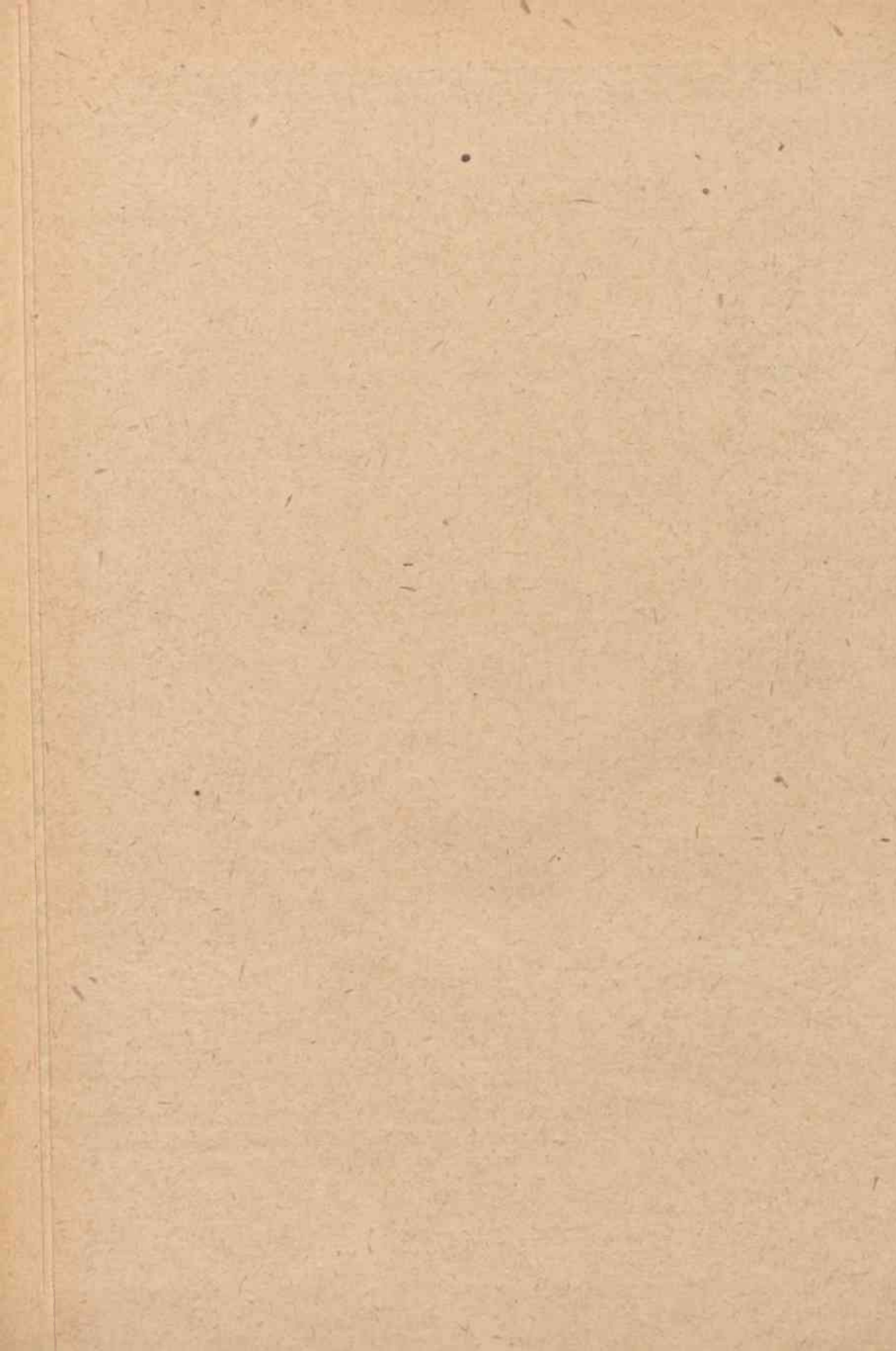


Fig. 7. Teneur en oligoélément dans les loess d'Achenheim 2
Zawartość mikroelementów w lessach Achenheim 2



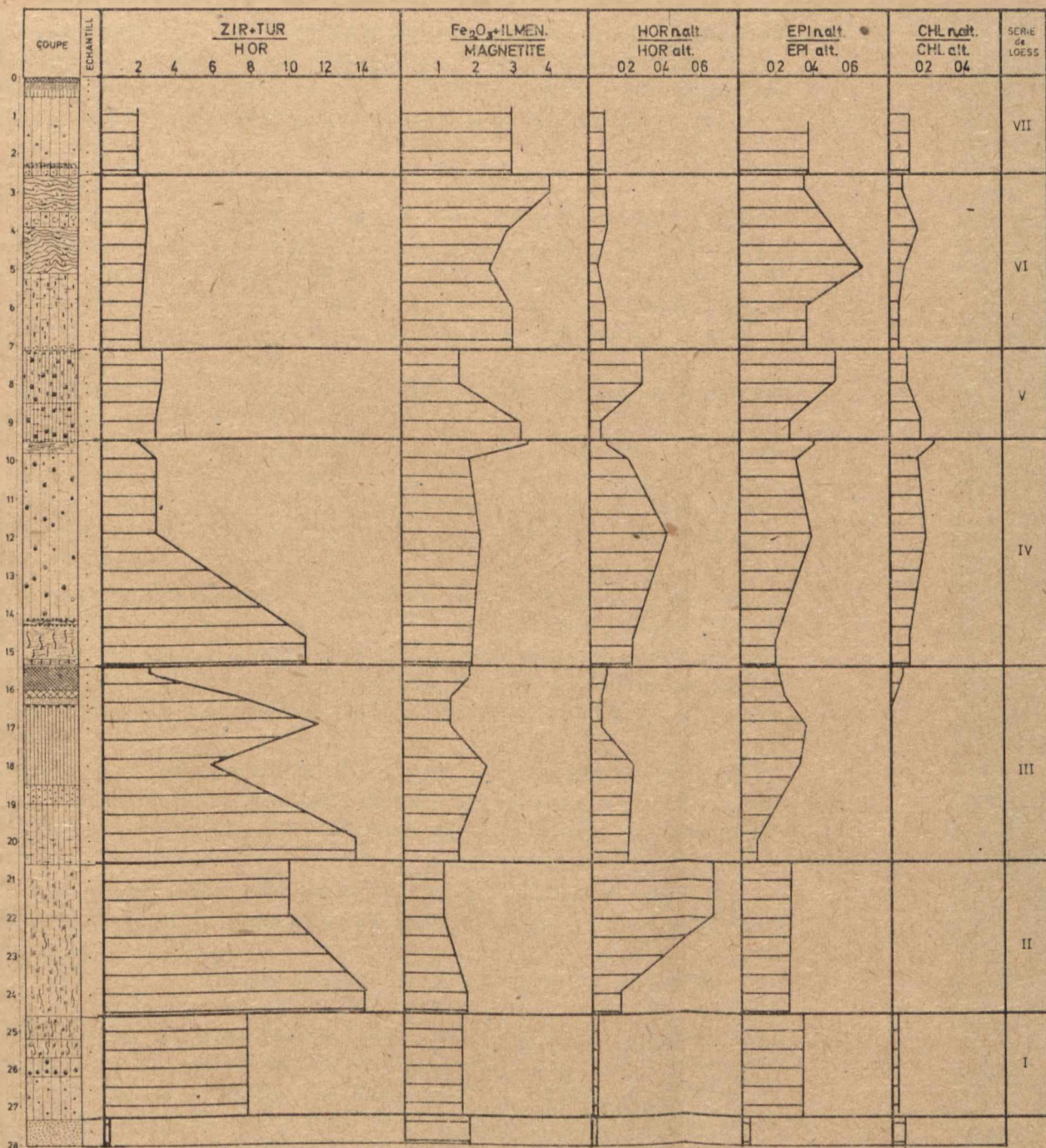
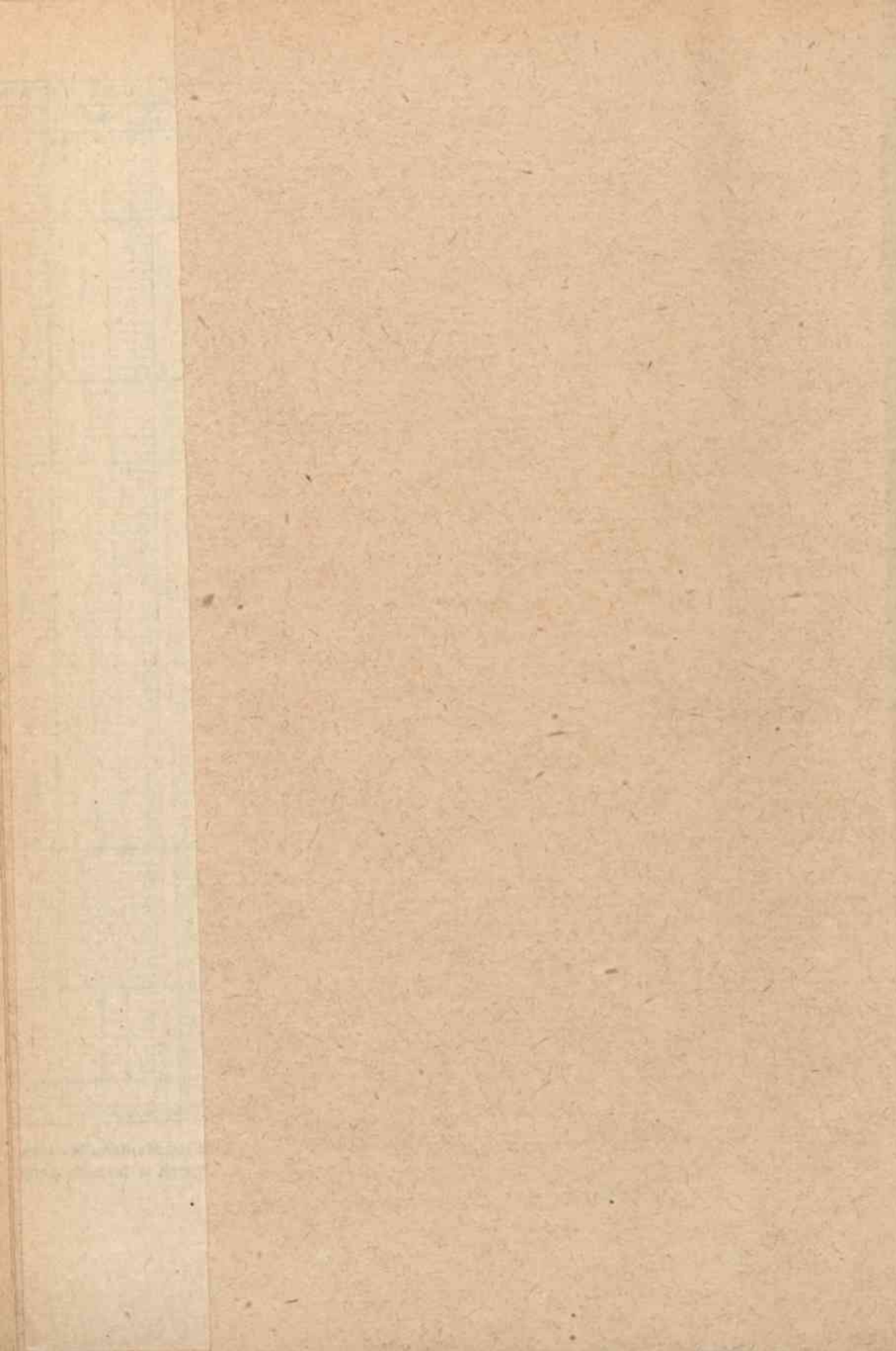


Fig. 9. Indice de l'altération de minéraux lourds dans les loess d'Achenheim 2
Wskaźniki zwiętrzenia minerałów ciężkich w lessach Achenheim 2



qui couronnent les séries loessiques respectives, la quantité d'humus est bien plus importante. Le sol contemporain contient 1,5% d'humus, le paléosol de la série de loess V et IV en contient 0,6—0,9%. Le sol interstade de la série III est le plus riche en humus et il en contient 1,4—2,2%.

COMPOSITION CHIMIQUE DU LOESS

La tableau 4 représente la composition chimique des loess du profil Achenheim 2. L'élément principal en est la silice (SiO_2): 48—73%. La teneur en silice du loess jeune (séries V—VII) et du loess ancien (série IV) s'élève à 50—55%, et dans le loess jeune supérieur de la série VII elle augmente jusqu'à 70%. Le loess ancien (séries I—III) contient le plus de silice, d'habitude 65—73%.

L'oxyde d'alumine (Al_2O_3) fait 7—15%, tandis que les loess anciens sont les plus riches (10—15%).

Le magnésium (Mg), le potassium (K) et le phosphore (P) sont présents dans le profil d'Achenheim quantités peu importantes. MgO représente 1—3%. La teneur en K_2O varie de 1,2—2,3%, tandis que les loess jeunes, à l'exception du sol contemporain, n'en ont que 1,5%. On a constaté la présence d'une petite quantité de P_2O_5 — environ 0,1%.

La composition chimique des loess du profil Achenheim 2 correspond aux données que Malycheff (1929) fournit pour quelques profils du Fossé rhénan. L'auteur a constaté une teneur un peu plus considérable en K_2O — 1,2—3,6% dans les loess et 1,9—4,0% dans les limons argileux. Na_2O a dans loess un teneur de 0,1—1,7% et dans les limons argileux de 0,7—1,3%.

L'indice $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ varie de 21,7 à 14,0. Le plus fort indice, vers 20, a été constaté pour les loess jeunes. Pour les loess anciens, il se chiffre à 17,5—18,0 et uniquement au sommet de la série IV il augmente jusqu'à 19,5.

Afin de déterminer les variations de la composition chimique des différents horizons de loess du profil Achenheim 2, on a appliqué l'indice

$$ba = \frac{\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3} \quad \text{déterminant d'après Łukasze w (1972),}$$

l'intensité des processus géochimiques dans les différentes zones climatiques. Dans la numérateur ont été portés les composés chimiques plus actifs pendant la désagrégation, dans le dénominateur par contre, celui qui est permanent. Łukasze w (1972) avait calculé, pour les différentes régions de l'Union Soviétique, les indices suivants: 0,7—0,8 pour les loess de l'Ukraine du Nord, 1,3—1,5 pour les loess des steppes et des demi-steppes et 1,4—1,7 (parfois 2,3—3,7) pour les loess de l'Asie Centrale.

Pour les loess d'Achenheim, on a obtenu un indice de 0,2—2,6 (tab. 4). L'indice donne des valeurs un peu faibles par rapport à Łukasze w (1972), car on n'a pas pris en considération le Na_2O . Les loess entièrement transformés par les processus pédologiques présentent les valeurs les plus basses 0,2—0,3 (séries I—II). Par contre, le plus fort indice appartient aux loess de la série VII et des parties supérieures des séries IV et VI — 2,0—2,5. D'après l'indice „ba”, le loess ancien (séries I—II) correspond au type des loess de l'Ukraine du Nord, en passant ensuite dans les loess de type steppique (séries III—IV). Les loess jeunes ressemblent à ceux de l'Asie Centrale.

OLIGOELEMENT

On a déterminé la teneur en 13 éléments dont on a présenté la quantité en mg/kg (fig. 7).

Le baryum est présent dans les différentes séries de loess pour des quantités de 270—390 mg/kg. Les loess jeunes (séries V—VII) contiennent 200—250 mg/kg de Ba, dans les loess anciens (séries I—III) il y en a plus — 300—400 mg/kg. La plus forte concentration du baryum a été constatée dans le sol récent et dans les paléosols (400—500 mg/kg). Les variations de concentration du baryum sont liées à sa grande mobilité et à sa facilité de lessivage. Dans les horizons d'humus, le baryum forme des agglomérats difficiles à dissoudre (Łukasze w, 1970). Le poléosol (série III) est dans tout le profil riche en humus (A_1 — 2%, B_t — 0,5%) ce qui explique la grande concentration du baryum (au dessus de 400 mg/kg) dans tout le profil du sol. Les loess d'Achenheim ont une teneur en baryum rapprochée à la quantité de clarkéite pour la lithosphère (lithosphère 300 mg/kg, sols 500 mg/kg, Łukasze w, 1970).

Le strontium est un élément très mobile, démontrant une concentration variable de 50—350 mg/kg. Les loess jeunes ont en moyenne 200 mg/kg de strontium, les séries II—III des loess anciens — 50—150 mg/kg, et la série I — 200 mg/kg. Le strontium est très actif dans un milieu acide, sa concentration augmenté accompagne les roches carbonateuses. La baisse de la teneur en strontium correspond à la variation du milieu en un milieu neutre ou faiblement acide. La présence de carbonates dans la partie inférieure de la série I est accompagnée d'une augmentation de la teneur en strontium jusqu'à 300 mg/kg.

Le manganèse se manifeste en une concentration de 500—1000 mg/kg. Dans le loess jeune, la teneur en Mn diminue avec la profondeur. On a observé la plus grande teneur en Mn dans les séries VII: 871 mg/kg et V—VI: 750 mg/kg; le minimum dans la série IV: 575 mg/kg. Dans le loess ancien, il y a 700—800 mg/kg de manganèse. Une plus forte

concentration du Mn a été constatée dans le sol brun contemporain, où, dans les horizons A_1 et (B) la teneur en Mn augmente jusqu'à 1000 mg/kg. Dans l'horizon d'humus du sol brun lessivé (série III), il y a moins de Mn en comparaison avec l'horizon B_1 et avec le loess. Dans les sols interstadias, on observe une petite augmentation de teneur en Mn. Une pareille répartition du Mn dans les paléosols a été constatée par Łukasiewicz et Mojski (1969). La teneur en Mn dans la lithosphère s'élève jusqu'à 850 mg/kg tandis que dans les loess d'Achenheim elle est un peu moindre: 780 mg/kg en moyenne.

Le zirconium est représenté par une teneur variable de 100 à 500 mg/kg. Pour les loess des séries I—II et IV—VII elle s'élève à 300 mg/kg avec une chute considérable au sommet de séries II, V, VI et VII. Le sol récent et le paléosol de la série III sont plus riches en zirconium (500 mg/kg). L'augmentation de la teneur en Zr dans les sols est strictement liée à la teneur en minéral zircon ce qui est le résultat de processus de dégradation des sols (fig. 8).

Le zinc n'est presque pas présent dans le loess jeune. Sa présence est caractéristique uniquement pour les loess anciens (séries I—III).

Le cuivre se présente en quantité de 30—60 mg/kg. Les loess jeunes (séries IV—VII) et le loess ancien de la série I contiennent moins de Cu (30 mg/kg) que les loess anciens des séries II et III (40 mg/kg). On a constaté une liaison sensible entre la teneur en Cu et l'importance de la fraction argileuse (fig. 4, 7).

Le nickel se trouve en quantité moindre dans le loess jeune (séries V—VII) et dans la série I du loess ancien (vers 30 mg/kg) en comparaison à la série VII du loess jeune et dans les séries II—IV du loess ancien (40 mg/kg). La teneur en nickel dans le sol récent et dans le paléosol est sensiblement moindre de celle qui est observée dans le sous-sol. La disposition du nickel dans les loess ressemble à celle du fer (fig. 7).

Le lithium présente d'importantes variations de la teneur, à partir de 10 mg/kg jusqu'à 200 mg/kg. Le loess jeune a plus de lithium (70—120 mg/kg) que le loess ancien (25—45 mg/kg). Un enrichissement sensible en lithium des séries du loess V et VI, jusqu'à 200 mg/kg, est à attribuer aux processus de brunissement des sols interstadias. Dans l'horizon B_1 du sol brun série III, on observe un abaissement de la quantité de lithium.

Le chrome, le vanadium et le bore montrent de petites variations de la teneur, de 50 à 100 mg/kg. Le plomb et le gallium sont présents en de quantités très faibles, 8—10 mg/kg en moyenne.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

La composition des minéraux lourds dans les profils d'Achenheim varie quantitativement selon les séries de loess, ce qui résulte des différences géologiques des terrains d'alimentation (fig. 8).

La teneur pondérale en minéraux lourds dans la fractions 0,1—0,05 mm s'élève à 0,5—2,9%, alors qu'elle est de 4,9—6,5% dans les sables du substratum. Les horizons de loess affectés par les processus pédogénétiques ont une fraction lourde plus importante. Sa teneur dans les loess jeunes du profil Achenheim 2 (sans paléosols) s'élève à 1,5%, et dans les loess anciens, à 0,7—1,2%.

Une caractéristique des loess est la prépondérance de minéraux lourds opaques sur les transparents (dans certains cas, les minéraux opaques constituent les 40% de l'ensemble). La muscovite est présente en grandes quantités pourtant nettement variables. Dans l'ensemble des minéraux opaques la magnétite et les oxydes de fer prédominent, cependant que dans les loess jeunes, la magnétite prévaut, et dans les loess anciens leurs quantités sont équilibrées.

Au point de vue de la composition qualitative des minéraux lourds, les séries particulières des loess d'Achenheim peuvent être caractérisées comme il suit (explication des signes: $\geq$ deux fois plus, $>$ 50% de plus, — plus, = quantité semblable; à gauche du signe " plus de 10% de minéraux, à droite du signe ' moins de 5%):

- VII CHL=AMPH—EPI—ZIR" $>$ GRE=RUT=TOUR $>$ TIT—BIO' $\geq$ PYR
 VI BIO $>$ EPI=CHL—AMPH—ZIR" $>$ GRE—RUT—TOUR'—TIT $>$ PYR
 V AMPH $>$ EPI $>$ ZIR $>$ GRE=TOUR"—RUT $>$ TIT—BIO—CHL' $>$ PYR
 IV EPI—ZIR $>$ GRE=AMPH" $>$ CHL=RUT=TOUR' $\geq$ BIO—TIT—PYR
 III EPI $>$ ZIR—GRE=TOUR=AMPH"—RUT' $\geq$ CHL—TIT—PYR—BIO
 II EPI=ZIR $\geq$ GRE"—RUT=TOUR=AMPH' $\geq$ TIT—BIO=CHL $>$ PYR
 I EPI $\geq$ GRE—AMPH=ZIR—TOUR=RUT" $\geq$ 'CHL=BIO—TIT—PYR.

Dans les séries respectives de loess, cinq minéraux à teneur supérieure à 10% jouent le rôle principal. Les autres minéraux sont présents en quantités petites et variables. Dans ces loess dominant dans l'ordre: les épidotes — les amphiboles — le zircon — le grenat — la tourmaline — le rutile. Dans les loess jeunes, le chlorite et la biotite se mettent encore au premier plan. La teneur importante en minéraux non résistants à l'altération (environ 30%) est caractéristique pour les loess d'Achenheim.

La teneur en minéraux lourds est différente pour les loess jeunes et pour ceux des séries anciennes (fig. 8). La teneur moyenne dans les loess jeunes et ceux anciens s'élève respectivement à: 15% et 11% d'amphiboles, 6% et 22% d'épidotes, 13% et 15% de zircon, 10% et 12% de grenat, 8% et

10% de tourmaline et de rutile, 5% et 3% de titane ainsi que 10% et 3% de chlorite et de biotite.

La composition qualitative des minéraux lourds se présente comme il suit pour les loess:

jeunes — AMPH—EPI>ZIR>CHL—GRE=BIO>RUT=TOUR>TIT≤
PYP;

anciens — EPI≤ZIR>GRE—AMPH—TOUR=RUT≤CHL—TIT>BIO—
PYP.

La différenciation qualitative et quantitative de la composition de minéraux dans les séries diverses de loess a été observée également par d'autres auteurs. Dans les loess des autres parties de la France on a constaté également une haute teneur en épidotes et amphiboles. Le zircon et la tourmaline se présentent souvent en quantités importantes dans les loess de la Normandie et de la Bretagne (L a u t r i d o u, 1968; C o u t a r d et al., 1970; M o n n i e r, 1974). La variabilité observée de la composition en minéraux lourds est due aux changements des terrains d'alimentation en tant que source du loess, ou aux processus d'altération. Sous l'action de l'altération, se produisent dans les loess des changements de proportions des groupes de minéraux transparents, causés par leur résistance différentielle à l'altération mécanique et chimique.

Pour caractériser l'intensité des variations de la composition des minéraux sous l'action de l'altération on a calculé des indices (fig. 9). L'in-

dice de l'altération $\frac{\text{zircon} + \text{tourmaline}}{\text{hornblende}}$ dans le profil d'Achenheim 2

s'élève à 0,2—14,0. Dans le loess jeune, il s'élève à 2,0—3,0. Dans le loess ancien, le zircon et la tourmaline prédominent sur la hornblende; l'indice s'élève à 5,7—14,0; uniquement dans l'horizon d'humus du paléosol il baisse jusqu'à 2,6. Dans les sables rhénans il ne s'élève qu'à 0,3.

On a effectué une analyse détaillée de la teneur en minéraux altérés et non altérés pour la hornblende, les amphiboles, l'épidote, le chlorite et la biotite. Dans tous les horizons de loess ils sont fortement altérés sauf

le chlorite et la hornblende qui font exception. L'indice de $\frac{\text{hornblende}}{\text{hornblende}}$

$\frac{\text{non altérée}}{\text{altérée}}$

démontre une différenciation importante dans le profil

d'Achenheim (fig. 9). Dans le loess jeune (séries VI et VII) et dans le paléosol, la valeur de l'indice se chiffre par 0,06—0,1. Le loess jeune des séries IV et V (indice 0,2—0,4) ainsi que le loess ancien, décalcifié, de la série II (indice 0,65) contiennent beaucoup de hornblende non altérée.

Le loess éolien carbonaté (série I) et les sables rhénans sous-loessiques ont de la hornblende fortement altérée (0,02). Les sables des Vosges ont, par contre, beaucoup de hornblende fraîche (0,25).

Les loess du Fossé rhénan montrent une différenciation spatiale du degré d'altération des minéraux, ce qui indique des terrains d'alimentation divers.

CONCLUSIONS

Les séries respectives des loess correspondant aux loess anciens et aux loess jeunes on a distinguée en tenant compte de la formation des loess et des recherches lithologiques.

Le loess ancien inférieur (Riss I) dans le profil d'Achenheim 2 est représenté par les séries I, II et III. Elles sont formées du loess éolien qui contient 3% de carbonates, et seulement au dessous de la série I il monte jusqu'à 15%. Dans le loess ancien les fractions sableuse et limoneuse (0,1—0,05 et 0,05—0,01 mm) paraissent en équilibre, et la teneur en argiles atteint 30—35%. La composition chimique des loess anciens

inférieurs et supérieurs est pareille. L'indice $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ est 9,5, et l'indice de

l'intensité des processus géochimiques „ba” est 0,2—0,9. Quant à la composition des minéraux lourds, le loess ancien est caractérisé par le groupe EPI—ZIR—GRE. Le loess ancien inférieur se formait d'abord dans les conditions du climat sec (série I), puis dans les conditions du climat plus humide. Il est fortement changé par les processus secondaires liés au changement de la nappe phréatique.

Le complexe de sol du type d'Achenheim (Riss I/II) est au sommet de la série III. Il est bien développé dans le profil d'Achenheim 2 sous forme de sol brun lessivé avec le tchernoziom ($A_1—B_{t1}—B_{t2}—C$) atteint 3 m. Le tchernoziom est riche en humus (2,2%). Au dessous de tchernoziom se distingue nettement l'horizon d'humus (0,8%). Le sol brun lessivé formé dans les conditions forestières, le tchernoziom y est superposé en discordance. L'horizon $B_{t1}—B_{t2}$ est formé du matériel argileux de la structure grumeleuse, de la teneur en fraction argileuse de 30%; au sommet, il y a un horizon des concrétions de carbonates. La teneur en carbonates secondaires atteint 25% dont la quantité s'abaisse avec la profondeur jusqu'à 1%. Le complexe de sol d'Achenheim s'est développé en tant que sol forestier sous un climat humide et chaud. Dans la phase du refroidissement du climat le tchernoziom s'y est superposé dans les conditions steppeique.

Le loess ancien supérieur (Riss II), bien développé dans le profil

d'Achenheim 2 atteint 5 m (série IV). C'est un loess éolien de carbonates (jusqu'à 35% de carbonates). La teneur en fraction fondamentale augmente jusqu'à 38%, la teneur moyenne en fraction argileuse est de 20%. Les analyses lithologiques du loess démontrent qu'il s'est développé sous un climat sec dans les conditions d'une assez grande intensité d'accumulation de la poussière. L'indice „ba” le rend pareil aux loess des steppes et demi-steppes.

Le sol interglaciaire (Riss/Wurm) formé en tant que sol brun (A_1 — B_t — C) est bien conservé dans le profil d'Achenheim 1 (série V). L'horizon A_1 (jusqu'à 0,5 m) contient 2,2% de l'humus. L'horizon B_t est formé des argiles de couleur chocolat d'une structure grumeleuse, perforés de petits canaux, traces de racines, remplis de loess.

Le loess jeune inférieur (Wurm I) représente la couche de 2—3 m de la partie inférieure de la série VI. Il commence avec une mince couche des colluvions sur lesquelles il y a le loess éolien de poussière à gros grains, de la teneur en carbonates de 25%, dans la partie inférieure légèrement gléyifié. Son accumulation a eu lieu d'abord lentement dans les conditions du pergélisol et de l'humidité du sol (gléyifié). Un plus gros grain du loess ainsi que la quantité augmentée des minéraux lourds suggèrent une activité intensive des processus éoliens. La composition des minéraux lourds du loess jeune se présente par le AMPH—EPI—ZIR.

Le sol d'interstade Brörup-Odderade (Wurm I/II) n'est pas conservé dans les profils examinés, probablement c'est l'abaissement de la teneur en carbonates dans le loess jusqu'à 20% qui détermine sa position.

Le loess jeune moyen (Wurm II) atteint 4 m dans le profil d'Achenheim 1. C'est le loess éolien qui contient 25—30% de carbonates ainsi que beaucoup de concrétions ferro-manganésiques. De nombreux petits canaux, les traces de racines, perforant le loess, ainsi que la teneur en humus de 0,3% est une preuve de l'existence d'une végétation herbeuse bien développée durant l'accumulation du loess moyen.

Le sol d'interstade Arcy-Stillfried B (Wurm II/III) s'est développé sur le loess jeune moyen, dans la période d'un faible échauffement du climat périglaciaire plus océanique; le pergélisol s'est maintenu pendant toute cette phase. Du point de vue de typologie, c'est un sol brun arctique qui se distingue par la structure effacée et des changements physico-chimiques considérables. Dans le profil d'Achenheim 2, il forme un complexe qu'on peut définir en tant que sol de toundra de pseudogley. Ce complexe de sol a été transformé par les processus de pédogenèse et de cryoturbation.

Le loess jeune supérieur (Wurm III) se distingue par la teinte jaune claire ainsi que par la forte teneur en carbonates (30—40%). C'est le loess éolien, riche en fraction de poudres, atteint une épaisseur de 2—3 m

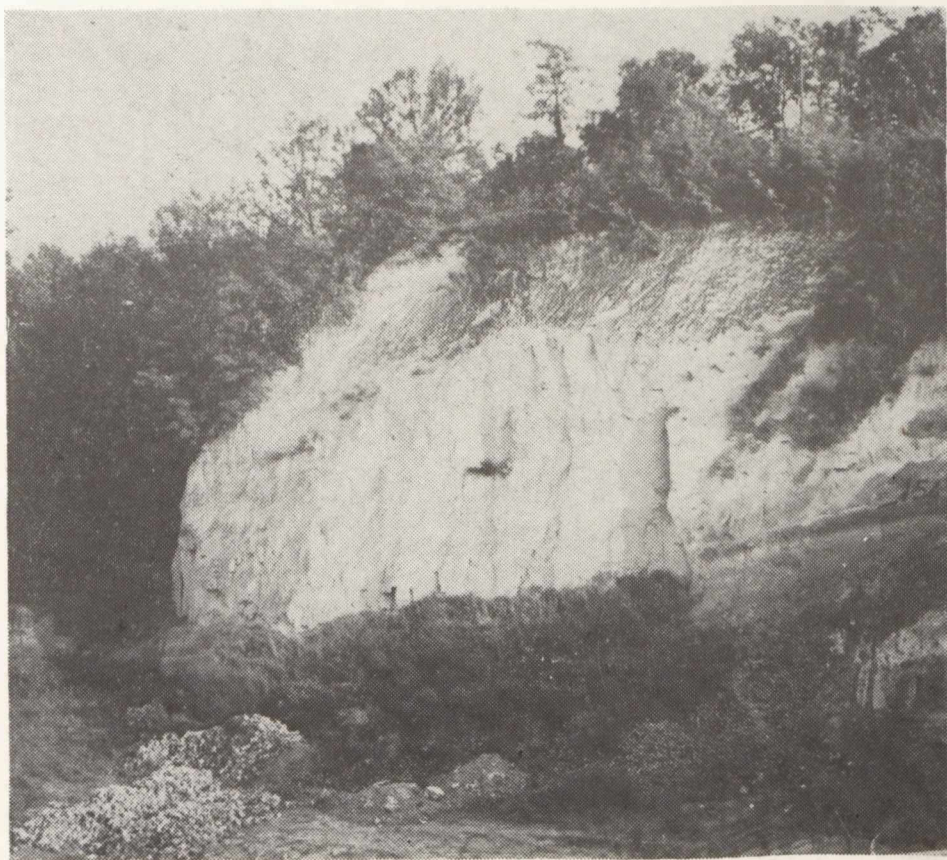
(série VII). Dans la partie inférieure, le loess formé sous un climat arctique humide, est gléyifié et modifié par la solifluxion. Puis sous un climat arctique sec, s'est formé le loess éolien. Il est séparé par un mince horizon gléyifié avec des traces de pédogenèse (le profil Achenheim sur la terrasse de Schiltigheim). Probablement c'est un sol de toundra peu développé qui correspond à l'interstade Laugerie-Lascaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bronger A., 1966: Löss, ihre Verbraunungszonen und fossilen Böden. Ein Beitrag zur Stratigraphie des oberen Pleistozäns in Südbaden. Schriften des Geographischen Instituts der Universität Kiel, XXIV, 2.
2. Buraczyński J., 1971: Les loess des environs de Strasbourg. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, vol. 26, Lublin.
3. Buraczyński J., 1978: Litologia i stratygrafia lessów Niziny Środkowego Renu. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wyd. Biologii i Nauk o Ziemi, Lublin.
4. Cailleux A., 1954: Les loess et limons éoliens en France. Bull. S. C. Géol. Fr., t. 51, 240, Paris.
5. Coutard J. P., Ozouf J. C., Pellerin J., 1970: Les loess de la Campagne de Caen. Bull. Centre Géomorph., 8, Caen.
6. Dubois G., 1931: Les principaux types de limons en France septentrionale. Rev. Scientifique du 11 juillet.
7. Duchaufour P., 1964: Evolution de l'aluminium et du fer complexes par la matière organique dans certains sols. Science du Sol, Nancy.
8. Fink J., 1966: Zamietki k woprosu o lossie. Sowriemiennyj i czetwierticznyj kontinientalnyj litogieniez. Moskwa.
9. Franc de Ferrière J., 1937: Géologie et pédologie, Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace. Strasbourg.
10. Guenther E. W., 1954: Feinstratigraphische Untersuchung eines Lössprofils von Murr (Landkreis Ludwigsburg). Eiszeitalter u. Gegenwart, 4—5 Ohringen.
11. Jahn A., 1961: Geographical Problems of Alaska in the Light of a Research Journey Made in 1960. Czasop. Geogr., t. 32, Warszawa.
12. Jarnagne M., Mathieu C., 1971: Contribution à l'étude de la stratigraphie des loess dans le N-E du Bassin de Paris. Bulletin AFEQ, 8, Paris.
13. Jersak J., 1973: Lithology and Stratigraphy of the Loess on the Southern Polish Uplands. Acta Geogr. Lodz., 32, Łódź.
14. Khodary-Eissa O., 1968: Feinstratigraphische und pedologische Untersuchungen an Lössaufschlüssen im Kaiserstuhl (Südbaden). Freiburger Bodenkundliche Abhand. 2, Freiburg i. Breigau.
15. Lautridou J. P., 1968: Les loess de Saint-Romain et de Mesnil-Esnard (Pays de Caux). Bull. Centre Géomorph. 2, Caen.
16. Łożek W., 1966: Lossy i lossowidnyje porody Czechosłowacji (Loess et les formations loessoides de la Tchécoslovaquie). Sowriemiennyj i czetwierticznyj kontinientalnyj litogieniez. Moskwa.
17. Łukaszew W. K., 1970: Geochemija czetwierticznego litogienieza. Minsk.
18. Łukaszew W. K., 1972: Geochemiczne indykatory processow gipiergienieza i osadkoobrazowanijsa. Minsk.



Fot. 1



Fot. 2

19. Łukaszew W. K., Mojski J. E., 1968: Geochemical Examinations of Loesses in the Lublin Upland. *Kwartalnik Geol.*, 12, Warszawa.
20. Macoun J., 1969: Главныје особиенности распроstrаниенія і строенія лоссовој толщы. Loss, pierigl., paleolit na terrytorii sriedniej i wostocznoj Jewropy. Moskwa.
21. Malicki A., 1949: Geneza i rozmieszczenie lessów w środkowej i wschodniej Polsce (The Origin and Distribution of Loess in Central and Eastern Poland). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, sectio B, vol. 4, Lublin.
22. Malycheff V., 1929: Les loess. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.* 2, 2.
23. Mazenot G., 1963: Recherches malacologiques sur les loess et les complexes des loess et lehms d'Achenheim. *Bull. Serv. carte géol. Als. Lorr.*, 16, Strasbourg.
24. Monnier J. L., 1974: Les dépôts pleistocènes de la région de Saint-Brienc. *Bull. Soc. Géol. minéral. Bretagne*, s. C, VI, 1, Rennes.
25. Puisségur J. J., 1965: La terrasse de Schiltigheim (Alsace). Etude stratigraphique et malacologique. *Bulletin AFEQ* 2, Paris.
26. Rassai G., 1971: Feinstratigraphische Untersuchungen der Lössablagerungen des Gebietes un Hanganbieten südwestlich von Strassburg in Elsass. *Quartärz.* Bd. 11.
27. Schumacher E., 1890: Die Bildung und der Aufbau der oberrheinischen Tieflandes. *Mitt. Comm. Geol. Landes-Untersuchung von Elsass-Lothringen*. Bd. II, n. III, Strassburg.
28. Simakow W. A., 1957: Primienienije fienilantrinitłowej kisloty pri opriedienienij gumusa po mietodu Tiurina. *Poczwowiedienije*, 8, Moskwa.
29. Théobald N., 1948: Carte de la base des formations alluviales dans le Sud du fossé rhénan. *Mémoire Serv. carte géol. Als. Lorr.* 19, Strasbourg.
30. Thévenin A., 1976: Civilisations paléolithiques et mésolithiques en Alsace. In: *La préhistoire française*, t. I. CNRS.
31. Tiurin I. W., 1938: Materiał po sprawnitelnomu izuczeniju mietodow opriedienienija organiczeskogo ugleroda w pcczwach. *Probl. sow. poczwowed.* sb. 2, Moskwa.
32. Vogt H., Thévenin A., 1976: Les limons quaternaires et les dépôts de pente en Alsace. In: *La préhistoire française*. T. I, CNRS.
33. Wernert P., 1957: Stratigraphie paléontologique et préhistorique des sédiments quaternaires d'Alsace. Achenheim. *Mémoire Serv. carte géol. Als. Lorr.* 14, Strasbourg.

DESCRIPTION DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1. Profil loessique d'Achenheim 1, la paroi Sud.

Photo 2. Profil loessique d'Achenheim 2, le versant gauche de la vallée de la Bruche.

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono charakterystykę litologiczną lessów klasycznego profilu lessowego Francji, opracowanego pod względem archeologicznym i faunistycznym. Na podstawie analizy granulometrycznej, zawartości węglanów, żelaza, składu chemicznego, składu mikroelementów oraz zawartości minerałów ciężkich, wyróżniono siedem serii lessu. Poszczególne serie odpowiadają lessom starszym i młodszym.

Less starszy dolny (Riss I) reprezentują serie I, II i III (Achenheim 2). Tworzy go less eoliczny o małej zawartości węglanów, silnie zmieniony przez procesy wtórne. W równowadze występują frakcje drobnopiaszczysta i pyłowa, a frakcji ilastej jest 30—35%. Pod względem składu minerałów ciężkich charakteryzuje go zespół: epidot—cyrkon—granat. Less starszy dolny tworzył się początkowo w warunkach klimatu suchego (seria I), następnie bardziej wilgotnego.

Kompleks glebowy typu Achenheim (Riss I/II) rozwinięty jest w stropie serii III. Jest on dobrze wykształcony w profilu Achenheim 2, w postaci gleby brunatnej lessivé z czarnoziemem $A_1-B_{t1}-B_{t2}-C$. Poziom humusowy jest dwudzielny; w dolnej części jest on szarobrazowy związany z glebą brunatną lessivé (0,8% humusu), na który nałożony jest niezgodnie czarnoziem (2,2% humusu). Poziom $B_{t1}-B_{t2}$ tworzy less ilasty o zawartości frakcji ilastej 30%. W jego stropie występuje poziom konkrecji węglanowych; zawartość wtórnych węglanów osiąga tu 25%, ich ilość wraz z głębokością spada do 1%. Omawiany kompleks glebowy rozwinął się jako gleba leśna w klimacie wilgotnym, ciepłym. W fazie ochłodzenia klimatu nałożył się na nią czarnoziem w warunkach procesów darniowych.

Less starszy górny (Riss II) osiąga miąższość 5 m (Achenheim 2, seria IV). Jest to less eoliczny węglanowy (do 35%). Zawartość frakcji podstawowej wzrasta do 38%, frakcji ilastej jest średnio 20%. Analiza cech litologicznych lessu wskazuje, że rozwinął się on w klimacie suchym przy dość intensywnym tempie akumulacji pyłu. Wskaźnik „ba” upodabnia go do lessów stepów i półstepów.

Gleba interglacialna (Riss/Wurm) wykształcona jako gleba brunatna (A_1-B_t-C) jest dobrze zachowana w profilu Achenheim 1 (seria V). Poziom A_1 o miąższości do 0,5 m zawiera do 2,2% humusu. Poziom B_t tworzy il barwy czekoladowej o strukturze gruzelkowej, poprzecinany kanalikami pokorzeniowymi wypełnionymi lessiem.

Less młodszy dolny (Wurm I) obejmuje dolną część serii VI o miąższości 2—3 m. Zaczyna się cienką warstwą deluwii glebowych, na których zalega grubo pylasty less eoliczny o zawartości 25% węglanów. Akumulacja jego zachodziła początkowo po woli w warunkach wiecznej zmarzliny i uwilgotnienia podłoża, a następnie przy intensywnym działaniu procesów eolicznych, na co wskazuje grubsze ziarno lessu oraz zwiększona ilość minerałów ciężkich. Lessy młodsze charakteryzuje zespół minerałów ciężkich: amfibole—epidoty—cyrkon.

Gleba interstadialna Brörup-Odderade (Wurm I/II) nie zachowała się w badanych profilach, prawdopodobnie pozycję jej wyznacza w lessie spadek zawartości węglanów do 20%.

Less młodszy środkowy (Wurm II) jest eoliczny o miąższości 4 m, zawierający 25—30% węglanów oraz dużo konkrecji manganowych (Achenheim 1). Liczne kanałiki pokorzeniowe przecinające less oraz zawartość humusu 0,3% wskazują na istnienie dobrze rozwiniętej roślinności trawiastej w czasie akumulacji lessu środkowego.

Gleba interstadialna Arcy-Stillfried B (Wurm II/III) rozwinęła się na lessie środkowym młodszym w okresie niewielkiego ocieplenia w klimacie peryglacialnym wilgotnym, z utrzymującą się zmarzliną. Typologicznie jest to gleba darniowo-brunatna, odznaczająca się zatartą strukturą i dużymi zmianami fizykochemicznymi. W profilu Achenheim 2 tworzy ona jeden kompleks dwudzielny, który można określić jako glebę tundrową pseudoglejową, całkowicie przekształcony przez procesy glebowe oraz procesy kriogeniczne.

Less młodszy górny (Wurm III) jest eoliczny, pylasty o miąższości 2—3 m (seria VII), wyróżnia się jasnożółtą barwą oraz dużą zawartością węglanów (30—40%). Rozwinął się on w pełni glacialu, początkowo w klimacie arktycznym wilgotnym jako less soliflukcyjny, a następnie w klimacie arktycznym suchym jako less eoliczny.

OBJAŚNIENIE FOTOGRAFII

Fot. 1. Profil lessowy Achenheim 1, ściana południowa.

Fot. 2. Profil lessowy Achenheim 2, lewe zbocze doliny Bruche.

РЕЗЮМЕ

В работе представлена литологическая характеристика лессов классического лессового профиля Франции, изученного в археологическом и фаунистическом отношениях. Основываясь на гранулометрическом анализе, содержания карбонатов, железа, химического состава, состава микроэлементов, а также содержания тяжелых минералов, выделяется 7 лессовых серий. Отдельные серии соответствуют древним и более молодым лессам.

Лесс древний нижний (Рисс I) представляют серии I, II и III (Ахенхайм 2). Он представлен с малым содержанием карбонатов, сильно изменен вторичными процессами. Фракции мелкопесчанистая и пылевая содержатся в равновесии, а фракция ила составляет 30—35%. В отношении тяжелых минералов типичным является состав: эпидот — цирконий — гранат. Древний нижний лесс отлагался с начала в условиях сухого климата (серия I), а затем более влажного.

Почвенный комплекс типа Ахенхайм (Рисс I/Рисс II) развит в кровле серии III. Он хорошо выражен в профиле Ахенхайм 2, в виде буроземной почвы lessivé с черноземом ($A_1-B_1-B_2-C$). Гумусовый горизонт разделений: в нижней части он серобурый связанный с бурой почвой lessivé (0,8% гумуса), на нём наложенный несогласно чернозем (2,2% гумуса). Горизонт B_1-B_2 составлен иловатым лессом, содержащим 30% илистой фракции. В его кровле имеется горизонт карбонатных конкреций; содержание вторичных карбонатов достигает здесь 25% и с глубиной уменьшается до 1%. Рассматриваемый почвенный комплекс образовывался как лесная почва во влажном, теплом климате. Во время похолодания климата на такую почву наложился чернозем в условиях дерновых процессов.

Древний верхний лесс (Рисс II) достигает мощности 5 м (Ахенхайм 2, серия IV). Это золотый карбонатный лесс (до 35% CaCO_3). Содержание фракции основной растёт до 38%, фракция глины составляет в среднем 20%. Анализ литологических черт лесса указывает, что он отлагался в сухом климате при довольно интенсивном темпе аккумуляции пыли. Показатель „ba” близок лессам степов и полустепов.

Межледниковая (Рисс/Вюрм) почва образована как бурая почва (A_1-B_1-C) хорошо сохранилась в профиле Ахенхайм 1 (серия V). Горизонт A_1 мощности до 0,5 м содержит до 2,2% гумуса. Горизонт В создает ил шоколадного цвета комковатой структуры, пересеченный многими канавками по корням выполненными лессом.

Лесс молодой нижний (Вюрм I) обнимает нижнюю часть серии мощностью 2—3 м. Он начинается тонкой прослойкой почвенного делювия, на котором залегает крупная лессовая пыль золотая содержащая 25% карбонатов. Он отлагался в начале медленного в условиях вечной мерзлоты и влажного основания, а затем при интенсивном действии золотых процессов, на что указывает более крупное зерно пыли, а также увеличенное содержание тяжелых минералов. Молодой лесс характеризуется составом тяжелых минералов; амфибол — эпидот — цирконий.

Межстадиальная почва, Brörup-Odderade (Вюрм I/II) не сохранилась в исследованных профилях, вероятно ее положение выzeichnet в лессе падение содержания карбонатов до 20%.

Лесс молодой средний (Вюрм II) создан золовым лессом мощности 4 м, содержит 25—30% карбоната, а также много конкреции марганца (Ахенхайм 1). Многие канавки по корням проходящие — через лесс, а также содержание гумуса 0,3%, указывают на существование хорошо развитой травянистой растительности во время накопления среднего лесса.

Межстадиальная почва Arcy-Stillfried (Вюрм II/III) развивалась на молодом среднем лессе во время незначительного потепления во влажном перигляциальном климате, с существовавшей мерзлотой. Типологически это дерново-бурая почва, отличающаяся замазанной структурой и значительными физико-химическими изменениями. В профиле Ахенхайм 2 она создает один раздельный комплекс, который можно определить как тундровая псевдоглеевая почва, полностью преобразованная почвенными процессами и криогенными процессами.

Лесс молодой верхний (Вюрм III) золовый, пылевый, мощности 2—3 м (серия VII), отличается светложелтой краской и большим содержанием карбонатов (30—40%). Он развит во время максимума оледенения, в начале в арктическом влажном климате как солифлюкционный лесс, а затем в климате арктическом сухом как золовый лесс.

ОБЪЯСНЕНИЯ РИСУНКОВ, ТАБЛИЦ И ФОТОГРАФИЙ

Рис. 1. Блокдиаграмма лессовых профилей Ахенхайм (по А. Thévenin 1976). 1 — терраса Hangenbieten-Mundolsheim (Миндель, Рисс, Вюрм), 2 — ступень Ахенхайм (Рисс, Вюрм), 3 — терраса Schiltigheim (Вюрм), 4 — терраса Lingolsheim (Вюрм), 5 — пойменная терраса Bruche; LR — молодой лесс, LAS — древний верхний лесс, LAM — древний средний лесс, LAI — древний нижний лесс, Srv — воезские красные пески, Sgr — рейнские серые пески; 1a, 1b, 1c, 2 — расположение детально исследованных профилей.

Рис. 2. Литологические лессовые профили Ахенхайм. Отложения: 1 — безструктурный лесс, 2 — полосатый лесс, 3 — глина, безкарбонатный лесс, 4 — солифлюкционный лесс, 5 — оглеенный лесс, 6 — лессовый делювий, 7 — террасовые пески и гравий; почвы: 8 — чернозем, 9 — гумус, 10 — горизонт lessivé, 11 — горизонт окрашивания в бурый цвет B_ц, 12 — горизонт окрашивания в бурый цвет B_г, 13 — конкреции карбонатов (малые и большие), 14 — конкреции карбонатов трубчатые, 15 — псевдомицели, 16 — куски древесного угля, 17 — канавки по корням выполненные лессом, 18 — ржавые пятна железисто-марганцевых конкреции, 19 — мелкие черные конкреции железо-марганца, 20 — кроновины, 21 — фауна улиток, 22 — кость.

Рис. 3. Гранулометрия, карбонаты, содержание свободного железа, органического угля и pH в лессах Ахенхайм 1.

Рис. 4. Гранулометрия, карбонаты, содержание свободного железа, органического угля и pH в лессах Ахенхайм 2.

Рис. 5. Петрографический состав лессов Ахенхайм 1 (фракция 0,25—0,5 мм).

Рис. 6. Петрографический состав лессов Ахенхайм 2 (фракция 0,25—0,5 мм).

Рис. 7. Содержание микроэлементов в лессах Ахенхайм 2.

Рис. 8. Содержание тяжелых минералов в лессах Ахенхайм 2.

Рис. 9. Показатель степени выветривания тяжелых минералов в лессах Ахенхайм 2.

Табл. 1. Гранулометрия и содержание карбонатов в лессовых профилях Ахенхайм (средние и крайние величины).

Таб. 2. Процентное содержание свободного железа (Fe_2O_3) в лессах Ахенхайм (средние и крайние величины).

Таб. 3. Процентное содержание гумуса в лессах Ахенхайм (средние и крайние величины).

Таб. 4. Содержание гумуса, карбонатов, свободного железа и химический состав лессов в профиле Ахенхайм 2.

Фото 1. Лессовый профиль Ахенхайм 1, южная стена.

Фото 2. Лессовый профиль Ахенхайм 2, левый склон долины Bruche.

