

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN—POLONIA

VOL. XXXVII, 1

SECTIO B

1982

Rozłoczańska Stacja Naukowa
Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS w Lublinie

Jan BURACZYŃSKI

Étude lithostratigraphique des loess d'Alsace (France)

Badania litostratygraficzne lessów Alzacji (Francja)

Литостратиграфические исследования лессов Эльзаса (Франция)

INTRODUCTION

L'étude concerne des loess d'Alsace et présente leur différenciation typologique et stratigraphique dans les profils d'Achenheim 1, 2 et 3, de Blaesheim 4, de Griesheim 5, de Bischoffsheim 6, de Niederbetschdorf 7, d'Equisheim 9 et 10, ainsi que dans celui d'Allschwil 11.

Les recherches des loess d'Alsace ont une longue histoire comptant 100 ans (Andreae 1884). L'étude de Schumacher (1890, 1900, 1914) a établi que les loess dans le Fossé rhénan forment deux grandes séries qu'il a caractérisées selon leur aspect lithologique, archéologique et faunique. Commont (1912) a présenté une classification des loess en se fondant sur leur aspect extérieur.

Au cours des dernières années, nous observons une animation dans les recherches de loess en Alsace. Blanck et Vacquant (1971) ont étudié la lithologie des loess dans le profil d'Equisheim et Rassai (1971) dans celui de Hangenbieten. Buraczyński (1978) a présenté une caractéristique lithologique et des résultats des analyses de la composition minéralogique et chimique des loess d'Alsace. Fouquoire (1978), en se fondant sur les critères lithostratigraphiques et sur l'étude de l'évolution des sol dans le profil d'Achenheim, a reconstruit l'évolution géomorphologique du versant et a présenté la stratigraphie des loess. Les études archéologiques de Thévenin (1972 a, b, 1976) visent à reconnaître la stratigraphie des loess d'Achenheim.

LES TRAITS CARACTÉRISTIQUES DU TERRAIN D'ÉTUDE

Le Fossé rhénan occupe un territoire allongé méridien de Mainz à Bâle, entre les Vosges et la Forêt-Noire, dont la longueur égale 300 km et la largeur 30 km.

Juillard (1949), dans une régionalisation géomorphologique de la partie méridionale du Fossé rhénan, a distingué trois régions suivantes: 1. collines de piémont de l'Alsace, 2. plaine du Rhin moyen et 3. collines de piémont du pays Bade. D'autres travaux (Juillard 1949, Théobald 1955, Galluser 1967 et Vogt 1978) présentent une régionalisation plus détaillée, précisant des unités de l'ordre inférieur.

Les unités géomorphologiques de premier ordre s'étendent dans le sens nord-sud. Les collines de piémont de l'Alsace se composent du plateau d'Alsace, des collines sous-vosgiennes et du plateau de Sundgau. Le plateau d'Alsace accompagnent les Vosges, jusqu'au nord de la Bruche. Les deux niveaux distincts, l'inférieur, situé entre 180 et 200 m et, supérieur, entre 250 et 280 m d'altitude, présentent le trait principal du relief. Les collines sous-vosgiennes forment une mosaïque des blocs et des bosses allongés perpendiculairement à la bordure des Vosges, qu'ils suivent par une zone étroite (jusqu'à 2 km) de Molsheim à Than. Le plateau de Sundgau est situé dans la partie méridionale du Fossé rhénan, entre les Vosges et le Jura, à l'altitude 350 à 400 m.

La plaine du Rhin moyen est une région la plus étendue, se composant de tout un système des terrasses quaternaires. La terrasse supérieure de Hangenbieten-Mundolsheim (20—30 m) forme des bosses et des replanissements recouverts par le loess dont l'épaisseur atteint 20 à 30 m. La terrasse inférieure est mieux développée et elle s'allonge à deux rives du Rhin sous la forme d'une bande de plusieurs à 10 km du large, limitée par un escarpement atteignant 5 à 10 m en hauteur. La terrasse se divise en plusieurs parties, et notamment à la rive ouest en celles de Haguenau, de Hoert, de Schiltigheim, de Lingolsheim et de Valff, tandis que du côté est on distingue la terrasse de Harth (de Bâle à Erstein), de Markgraffler, de Freiburg et d'Offenburg (de Kinzig à Murg).

Les collines de piémont dans le pays de Bade se composent des côtes de Markgraffler atteignant 350 à 400 m d'altitude, de Kaiserstuhl — une colline isolée de 450 à 500 m d'altitude, aux environs de Freiburg — et des sous-montagnes de Lahr—Emmendinger—Offenburg qui forment une zone étroite suivant la Forêt-Noire et située entre 250 et 300 m au-dessus du niveau de la mer.

LA RÉPARTITION DES LOESS ET L'ANALYSE DES PROFILS CHOISIS DU LOESS

LA RÉPARTITION DES LOESS

Les loess dans le Fossé rhénan accompagnent les deux rives du Rhin. Ils s'étendent sous la forme de deux zones allongées dans la direction SSW—NNE. Du côté occidental, où la zone de loess suit les Vosges: elle y dépasse une dizaine de kilomètres en largeur aux environs de Stras-

bourg et s'élargit jusqu'à 20 km environ, près de Wissembourg. Entre Selestate et Mulhouse, elle se rétrécit jusqu'aux plusieurs kilomètres. Du côté est du Fossé rhénan, le long de la Forêt-Noire, la largeur de la zone de loess atteint plusieurs kilomètres. Dans la partie méridionale du Fossé, sur le plateau de Sundgau, les deux zones loessiques s'approchent l'une à l'autre, en recouvrant le plateau complètement. En se fondant sur la carte de la „Répartition des loess dans le Fossé rhénan” (élaborée à la base de la carte géologique de la France à 1:80 000), on a calculé que les loess dans le Fossé rhénan occupent une surface de 2 576 km², dont 45% se trouve en Alsace et 21% dans le pays de Bade (fig. 1).

Les zones de loess mentionnées se composent d'une série de nappes plus ou moins larges, morcelées par les rivières. Dans le Fossé rhénan il y a plus d'une dizaine de grandes nappes. Sur le territoire de l'Alsace, en commençant du nord, ce sont: 1. la nappe de Wissembourg, située entre les rivières Lauter et Sauer, 2. la nappe de Brumath, entre la Moder et le Zorn, 3. la nappe de Mundolsheim entre le Zorn et la Bruche, 4. la nappe de Schiltigheim, 5. la nappe de Griesheim, 6. la nappe de Valff, 7. la nappe d'Equisheim, 8. la nappe de Colmar-Mulhouse, 9. la nappe de Sundgau. Dans le pays Bade, en commençant du sud, on distingue: 10. la nappe de Heitersheim, 11. la nappe de Kaiserstuhl (de Bötzingen), 12. la nappe d'Ettenheim, entre la rivière Elz et Kinzig, 13. la nappe d'Achern entre Kinzig et Murg.

La situation morphologique des nappes est diverse; elles reposent sur les basses et hautes terrasses (18% de la surface des loess) ainsi que sur les interfluvies (82% de la surface des loess). Les loess s'étendent donc quelques zones d'altitudes: en Alsace de 150 à 250 m au dessus du niveau de la mer, dans la partie sud du Fossé rhénan, sur le plateau de Sundgau et dans le pays de Bade de 260 à 330 m, jusqu'à 350 m au maximum (Buraczynski 1971).

Les nappes respectives de loess sont limitées par des escarpements morphologiques. Le long de Vosges, ils les coupent du côté est tandis qu'au voisinage de la Forêt-Noire du côté ouest. Les nappes de loess allongées parallèlement en Alsace se caractérisent par des escarpements de leurs côtés nord et sud. La hauteur des escarpements oscille de plusieurs à plusieurs dizaines de mètres. Un escarpement de loess de la basse terrasse de Schiltigheim atteint une hauteur de plusieurs mètres tandis que sur la haute terrasse, ainsi que sur les plateaux elle varie de plus d'une dizaine jusqu'à plusieurs dizaines de mètres.

Les escarpements dans les loess sont prédisposés par une présence des abrupts dans un relief du substratum, formé par les roches mésozoïques, tertiaires ou par des dépôts quaternaires de terrasse. Les escarpements sont rectilignes et se dirigent le plus souvent dans les directions

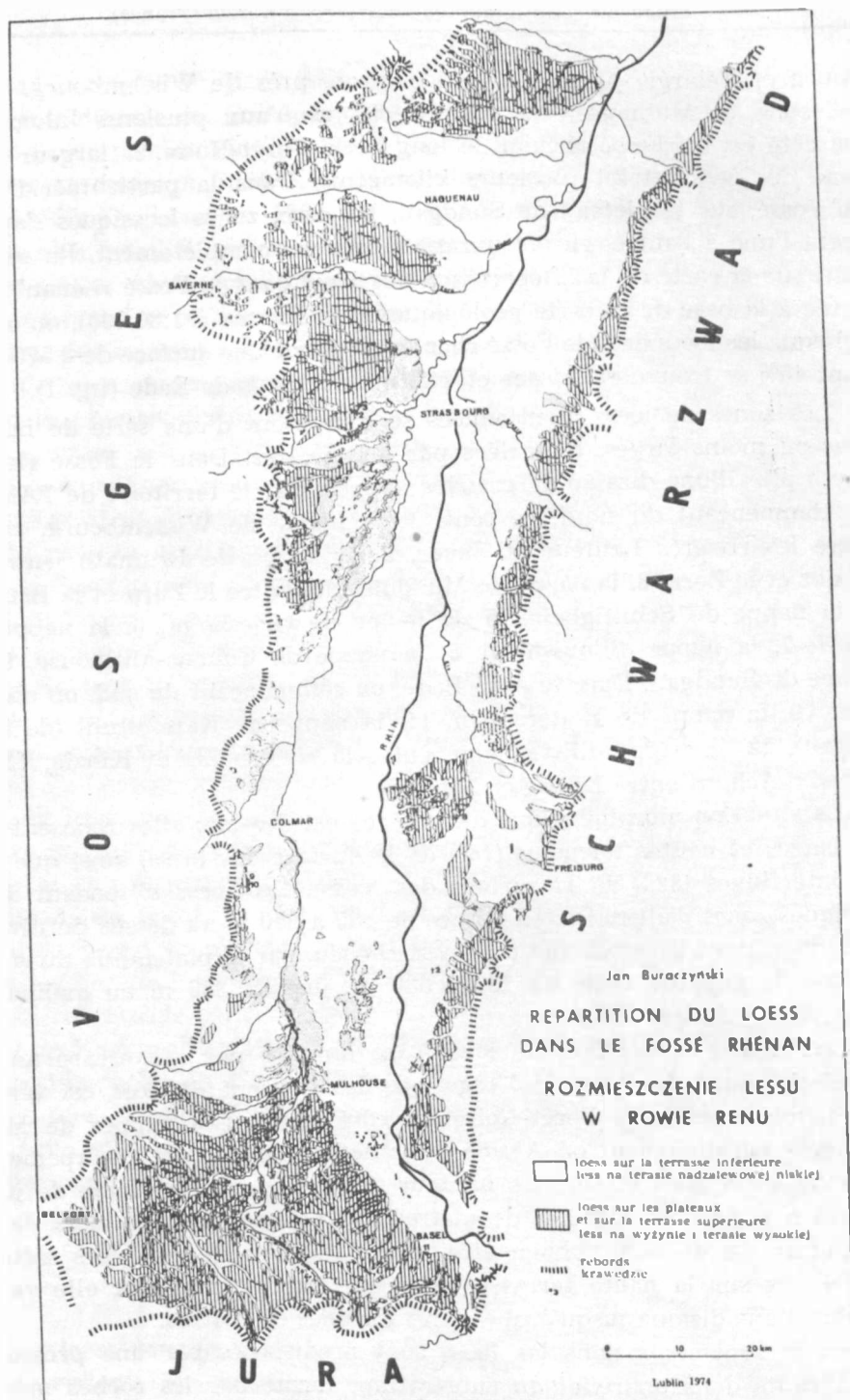


Fig. 1. Répartition du loess dans le Fossé rhénan
Rozmieszczenie lessu w rowie Renu

SSW—NNE, SW—NE et W—E. Un allongement des nappes respectives dans la direction W—E dans la partie septentrionale du Fossé rhénan correspond, de principales directions structurales de la région (Théobald 1955, Buraczyński 1971). La présence des nappes de loess à escarpements correspond aux terrains des plateaux dont le substratum se caractérise par un relief accidenté. Les conditions morphologiques spécifiques du Fossé rhénan expliquent un stade du développement avancé des escarpements de loess, étant ici un élément caractéristique. Vu l'existence des escarpements, les terrain du Fossé rhénan est une exception parmi les autres régions de loess en Europe. Les loess se disposent ici par des nappes isolées ressemblant à celles qui sont caractéristiques dans la zone de passage entre l'Europe occidentale et orientale. La direction des escarpements de loess est conforme au parcours des seuils dénudo-structuraux et tectoniques. Thévenin (1976) et Vogt (1978) font remarquer une influence des mouvements néo-tectoniques sur le développement de l'escarpement de loess sur la terrasse de Hangenbieten-Mundolsheim, aux environs de Strasbourg.

Pourtant, c'était surtout l'action du vent qui a influencé la formation des escarpements. Les nappes de loess dans le Fossé rhénan sont directement voisines à son large fond alluvial qui joue le rôle de la source principale de la poussière (Cailloux 1954).

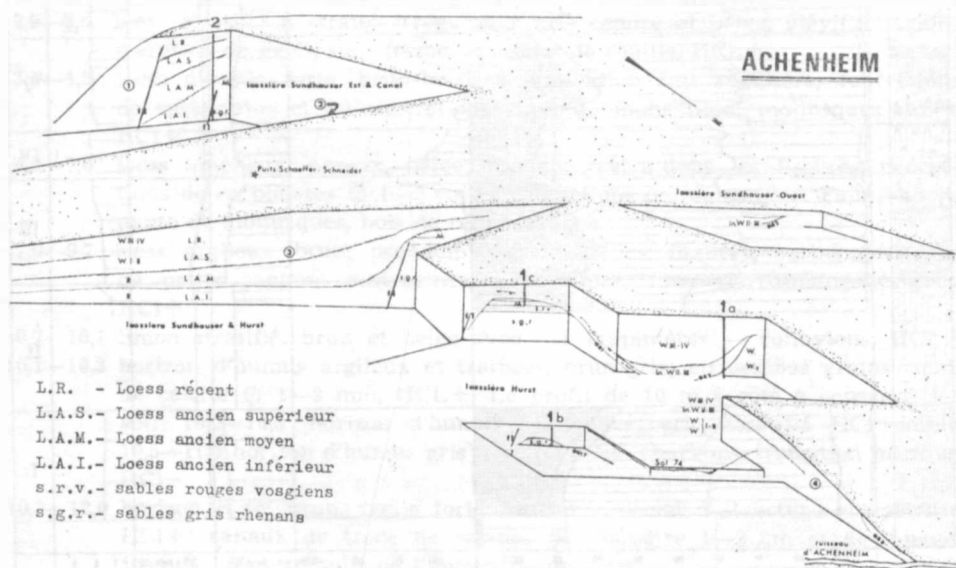


Fig. 2. Vue en perspective des différentes coupes du gisement d'Achenheim d'après A. Thévenin 1976. Situation des profils étudiés 1a, 1b, 2`
Przekrój cegielni w Achenheim (według Thévenin 1976). 1a—d, 2 — położenie profili szczegółowo badanych

Dans le Fossé rhénan, les escarpements se situent sur les nappes loessiques déposées sur les élévations au relief plus accident, le plus souvent aux seuils plus distincts. Velasquez (1978) constate un développement cyclique des versants raides. Le climat froid sec se manifestait dans l'accumulation du loess. Le climat tempéré, favorisant le développement du sol, stabilisait le versant d'accumulation, tandis que dans les conditions du climat froid-humide accompagnées de la solifluxion et du ruissellement, les versants devenaient de plus en plus doux. Dans

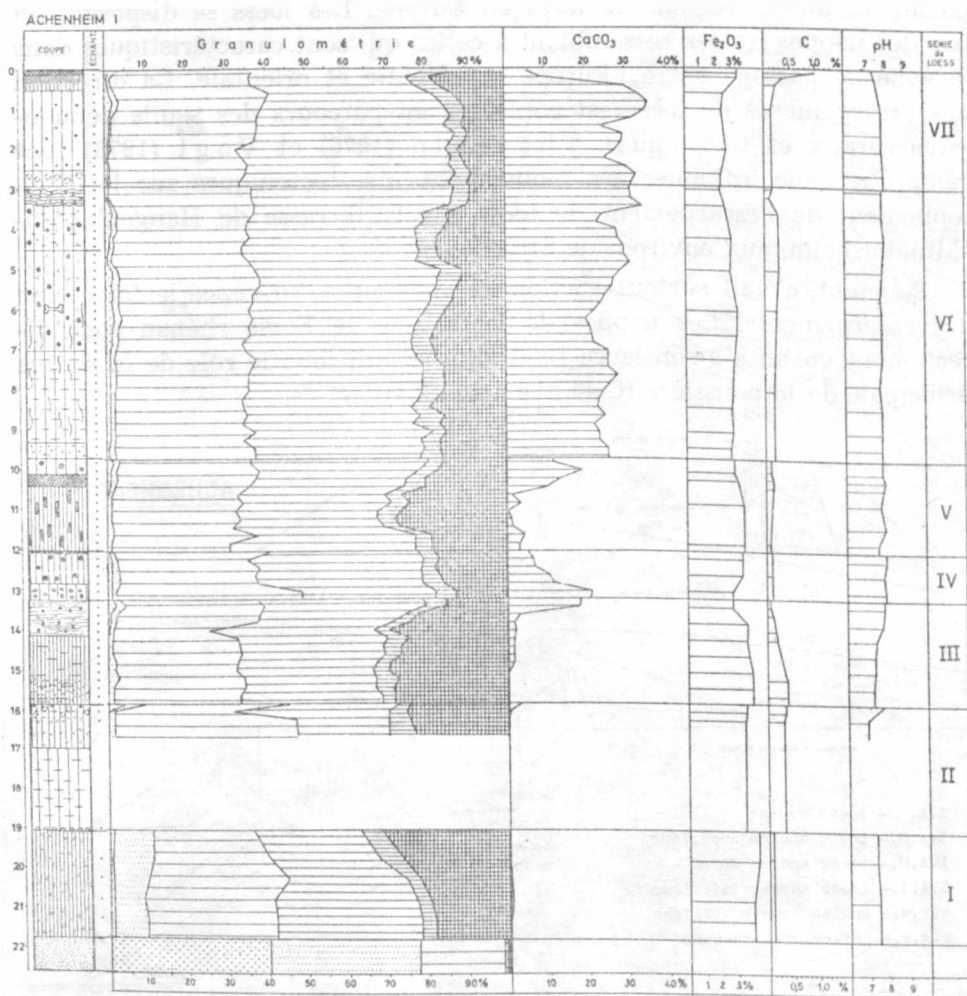


Fig. 3. Granulométrie, calcimétrie et teneur en fer libre, en carbone organique et pH des loess d'Achenheim 1
Uziarnienie, zawartość węglanów, wolnego żelaza, węgla organicznego, pH w lessach Achenheim 1

les endroits prédisposés, le versant raide se développe cycliquement. L'accumulation du loess arrêtée, les processus d'érosion n'ont causé qu'un adoucissement de ces escarpements et une accidentation de leur parcours.

CARACTÉRISTIQUE DES LOESSIÈRES

Les profils des briqueteries d'Achenheim sont situées à 8 km à l'ouest de Strasbourg, sur l'escarpement de la haute terrasse de Hangenbieten-Mundolsheim, limitée du côté sud par la vallée de la Bruche. La situation des profils d'Achenheim 1 et 2 sont indiqués sur la coupe de loessière (fig. 2).

Profil Achenheim 1 a—b. Altitude moyenne 165 m. Le profil 1a de la briqueterie Hurst & C^{ie} a été levé sur la paroi W—E de 16,4 m; la partie inférieure du profil 1b jusqu'à 21,7 m a été levé dans une excavation située à 100 m de la paroi (fig. 3).

- 0,0—0,1 horizon d'humus (A_1) du sol brun, argilo-limoneux, brun-gris, HCl+
- 0,1—0,3 horizon B_1 du sol brun, argilo-limoneux, brun-gris, transition graduelle,
- 0,3—0,5 horizon B_2 du sol brun, argilo-limoneux, brun-jaune tacheté de jaune, avec carbonates dispersés dans de petits canaux, transition graduelle, HCl+
- 0,5—2,5 loess limoneux, poreux, non stratifié, beige avec de nombreuses concrétions tubulaires (post-racines), et à concrétions de carbonate isolées, HCl+
- 2,5—2,9 loess limoneux beige-gris cendré à taches, grises, gléyifié, HCl+
- 2,9—3,4 loess stratifié à strates irrégulières gris cendré et beige, gléyifié. Agglomération de Fe_2O_3 sous forme de taches de rouille, HCL+
- 3,4—4,5 loess d'argile forte, brun-beige à lamination fine régulière, concrétions de carbonates et de concrétions fines de manganèse; mollusques isolés, HCl+
- 4,5—7,0 loess limoneux, poreux, beige; pseudomycélie dans les fissures, concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm et concrétions de manganèse. Faune abondante de mollusques, bois de renne, HCL+
- 7,0—9,7 loess argileux brun, pseudomycélie dans les fissures, carbonates dans de petits canaux postracines, concrétions fines ferro-manganésiques, HCl+
- 9,7—10,1 limon stratifié, brun et beige avec des taupinières — colluvions, HCL+
- 10,1—10,3 horizon d'humus argileux et trainées, brun-gris; en dessous grains ronds de calcite ϕ 1—2 mm, HCL+. Le profil de 10 m à côté a conservé son sol: 10,0—10,5 horizon d'humus alluvionné, gris, stratifié HCl+faible, 10,5—11,0 horizon d'humus gris avec de petits charbons, transition brusque, HCl—
- 10,3—12,0 horizon B sol brun, argile forte couleur chocolat à structure grumeleuse, HCl+; canaux de trace de racines de diamètre 1—2 cm et de longueur jusqu'à 1,6 m, remplis de l'humus ou de loess
- 12,0—12,8 loess jaune-brun argileux à faune de mollusques, au sommet concrétions de carbonates ϕ 2—3 cm, HCl+
- 12,8—13,4 loess stratifiée jaune, avec de concrétions de carbonates ϕ 3—5 cm, HCl+
- 13,4—14,1 limon-argileux stratifié, brun et jaune, nombreuses taches noires d'humus et concrétions fines ferro-manganésiques; colluvions d'un horizon d'humus

- 14,1—15,7 horizon B du sol brun, argile forte couleur chocolat à structure grumeleuse, à pellicules de limon jaune, beaucoup de petits charbons, teneur en humus 0,7%
- 15,7—17,0 argile-limoneuse brun gris, faiblement gléyifiée, au sommet une couche de sable grossier et concrétions ferro-manganésiques, HCl+ faible
- 17,0—19,0 loess limoneux, poreux, jaune, lité; en dessous grandes concrétions de carbonates $\varnothing$ 5—20 cm, HCl+
- 19,0—21,7 limon-argileux brun foncé, beaucoup de concrétions de manganèse; la couche à l'inclinaison de 5° vers la vallée de la Bruche, HCl—
- 21,7—24,0 alluvions sableuses, sables gris rhénan, HCl+

Profil Achenheim 1c. Altitude moyenne 170 m. Le profil est situé 250 m au sud du profil 1 a—b, sur la paroi W—E.

- 0,0—0,2 horizon d'humus (A₁) de sol brun, argile forte-limon, gris, HCl+ faible
- 0,2—0,5 horizon B du 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, HCl+
- 2,0—4,0 loess de solifluxion, argileux, stratifié irrégulièrement, gléyifié; couches brunes et jaune-orange avec de taches grises; concrétions isolées de carbonates, HCl+
- 4,0—4,5 sable de solifluxion à grain varié, brun rouille
- 4,5—4,8 couche de grandes concrétions de carbonates $\varnothing$ 10—20 cm, HCl+
- 4,8—6,1 loess limoneux poreux, jaune clair „loess canari”, carbonates disséminés, faune de mollusques, HCl+
- 6,1—7,0 sables rouges, alluvions de Vosges, HCl—

Profil Achenheim 2. Altitude moyenne 175 m. Le profil de briqueterie Sundhauser Est & Canal se trouve sur le versant gauche de la vallée de la Bruche. On a étudié le profil sur la paroi de la briqueterie, perpendiculaire à la vallée de la Bruche (fig. 4).

- 0,0—0,2 horizon d'humus (A₁) de sol brun, argilo-limoneux, brun-gris, HCl+
- 0,2—0,5 horizon B de sol brun, argile brune à taches jaunes, avec carbonates dispersés dans petits canaux, transition graduelle, HCl+
- 0,5—2,2 loess limoneux, poreux, beige (10 YR 8/3—4), avec de menues concrétions de carbonates isolées, HCl+
- 2,2—2,4 loess poreux, beige (10 YR 7/3), taches de rouille, concrétions de carbonates $\varnothing$ 1—3 cm, HCl+
- 2,4—2,6 loess gléyifié, gris cendré (2,5 Y 7/3) à taches rouille, concrétions de carbonates isolées, HCl+
- 2,6—3,5 loess limoneux, lité, gléyifié, gris cendré à taches et pellicules brun rouille (2,5 Y 7/3—10 YR 7/3); loess à structure feuilletée de solifluxion, HCl+
- 3,5—3,9 loess limoneux, beige (10 YR 7/3) à taches grises, faiblement gléyifié; carbonates dispersés, concrétions $\varnothing$ 3—4 cm, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
- 3,9—5,1 loess limon-argileux de solifluxion, brun à taches gris cendré (10 YR 7/3) irrégulièrement stratifié; au sommet couche brun rouille, en dessous fortement gléyifiée; carbonates dispersés, concrétions $\varnothing$ 3—4 cm, concrétions ferro-manganésiques, HCl+



Fig. 4. Profil Achenheim 2

- 5,1—6,1 loess argileux beige (10 YR 7/3) dans de petits canaux des carbonates, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
- 6,1—7,1 loess poreux jaune (10 YR 7/3), en dessous loess gléyifié à taches grises; carbonates dispersés, agglomérations de concrétions fines ferro-manganésiques, HCl+
- 7,1—8,5 horizon B_{t1} de sol brun lessivé, argile brune (10 YR 7/4); nombreux petits canaux de traces de racines à diamètre d'un cm et à 20 cm de longueur, remplis de loess gris; teneur en humus 0,6%, grains de calcite sphériques ϕ 0,5—2 mm, faune de gros mollusques (*Helix Pomatia*, *Zonites*); couche est coupée par l'érosion, au sommet l'horizon de concrétions de carbonates ϕ 2—5 cm, HCl+
- 8,5—9,5 horizon B_{t2} de sol brun lessivé, argile brune (10 YR 7/4) stratifiée, couches d'argile forte et de limon, faune très abondante de mollusques, teneur en humus 0,5% HCl+
- 9,5—9,8 argile forte limoneuse, brun terreux (10 YR 6/4) litée à l'inclinaison des couches de 10° ; teneur en humus 0,9%, menus filaments de carbonates, nombreux mollusques, HCl+
- 9,8—14,2 loess limoneux poreux, jaune claire (10 YR 8/4—7/4), carbonates dispersés, concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm, HCl+
- 14,2—15,2 argile stratifiée à l'inclinaison des couches de 10° , brun avec des intercalations de loess jaune (10 YR 5/4-6/3-4), concrétions tubulaires post-racines, pseudomycélia, au sommet une couche des concrétions de carbonates ϕ 2—3 cm, HCl+
- 15,2—15,3 loess limoneux jaune (10 YR 7/3), inclinaison des couches de 10° , HCl+
- 15,3—16,0 chernozem brun-gris avec de petits charbons (7,5 YR 4/2-3), au sommet couche brun-jaune de 10 cm (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, jaune-brune (10 YR 5/3), tachetée d'humus gris, HCl+
- 16,4—17,8 horizon B_{t1} du sol brun lessivé, argile forte brune (10 YR 4/4), au sommet couche jaune foncé (10 YR 7/3-4); canaux de traces de racines remplis de loess jaune, concrétions de carbonates ϕ 2—5 cm, faune de mollusques, HCl+ faible
- 17,8—18,5 horizon B_{t2} du sol brun lessivé, argile forte brune jaunâtre (10 YR 5/4), teneur en humus de 0,4%, HCl—
- 18,5—19,0 horizon B_{t3} du sol brun lessivé, argile brune (7,5 YR 4/4) avec de nombreux petits charbons, teneur en humus 0,5%, HCl— traces
- 19,0—20,6 argile brune (7,5 YR 4/4) avec des filaments couleur rouille, concrétions ferro-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 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) taches irrégulières et filaments d'oxydes Fe et Mn brun-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+5 YR 5/8), concrétions ferro-manganésiques, HCl—
- 25,2—25,7 argile brune à mouchetures rouille (10 YR 6/4), 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), carbonates en menus canaux, concrétions ϕ 3—5 cm, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
 27,4—sables fin, gris (2,5 Y 7/2—3) alluvions rhénanes, HCl+

Profil Achenheim 3. Altitude 152,5 m. Le profil de la briqueterie Schaeffer est situé sur la terrasse de Schiltigheim, sur la paroi nord (fig. 5).

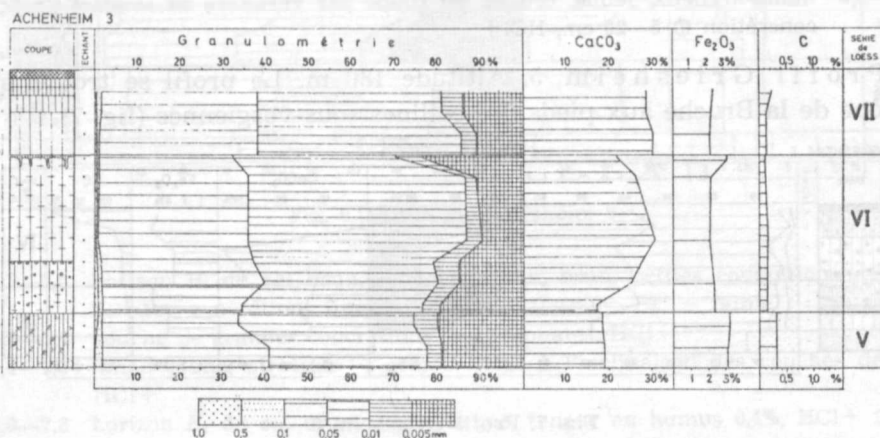


Fig. 5. Profil Achenheim 3

- 0,0—0,2 horizon d'humus (A_1) argilo-limoneux brun-gris, HCl+
- 0,2—0,6 horizon B_1 du sol brun, argilo-limoneux, brun-gris, HCl+
- 0,6—1,0 horizon B_2 du sol brun, argilo-limoneux, brun-clair, HCl+
- 1,0—2,0 loess limoneux, poreux, beige avec de concrétions tubulaires, HCl+
- 2,0—2,3 loess limon-argileux, brun, au sommet concrétions de carbonates HCl+
- 2,3—4,5 loess limoneux, poreux, beige, faiblement gléifié à taches grises, concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
- 4,5—5,7 loess argileux, beige, au sommet concrétion de carbonates ϕ 3—8 cm, HCl+
- 5,7—6,8 horizon B du sol brun, argile forte couleur chocolat à taches rouille, concrétions ferro-manganésiques, teneur en humus 0,3%, HCl+

Profil Blaesheim 4. Altitude 185 m. Le profil est situé 14 km au SW de Strasbourg sur le versant S de la colline Gloeckelsberg (fig. 6).

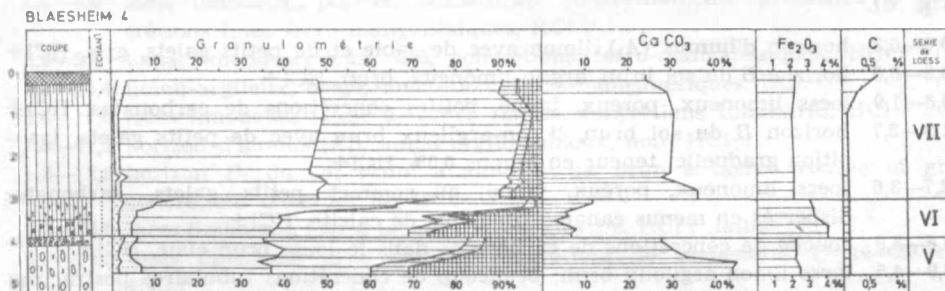


Fig. 6. Profil Blaesheim 4

- 0,0—0,3 horizon d'humus (A_1), limon avec du sable et de petits galets, gris, HCl+
 0,3—0,8 horizon B du sol brun, argilo-limoneux avec de galets, brun, HCl+
 0,8—3,0 loess limoneux, poreux, jaune, filaments de calcite et concrétions de carbonate, HCl+
 3,0—3,5 horizon B_1 du sol brun, limon; canaux de trace de racines (ϕ 1—2 cm) pleins de loess jaune, HCl+
 3,5—3,9 horizon B_2 du sol brun, limon-argileux, brun; grandes concrétions de carbonates ϕ 5—10 cm, l'inclinaison de 5° vers le N, HCl+ faible
 3,9—5,0 limon-argileux, jaune, couche est coupé par l'érosion, au sommet grandes concrétion ϕ 5—20 cm, HCl+

Profil Griesheim 5. Altitude 180 m. Le profil se trouve sur le cône de la Bruche aux pieds des collines sous-vosgiennes (fig. 7).

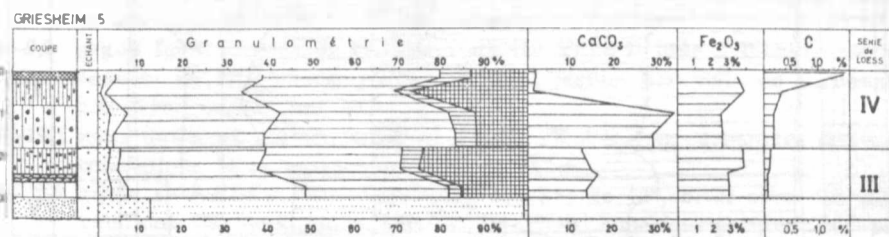


Fig. 7. Profil Griesheim 5

- 0,0—0,2 horizon d'humus (A_1), limon-sableux avec de petits galets, HCl+ faible
 0,2—0,8 horizon B du sol brun, argile, HCl+ faible
 0,8—1,8 loess poreux jaune, au sommet sableux avec de petits galets; concrétions tubulaires postracines et concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm, faune de mollusques, HCl+
 1,8—2,4 horizon B_1 du sol brun, limon-argileux brun; beaucoup de concrétions de carbonates ϕ 1—3 cm et concrétions tubulaires postracines, HCl+
 2,4—2,6 croûte concrétionnée de carbonates, HCl+
 2,6—2,9 loess limoneux, poreux, brun; concrétions tubulaires perpendiculaires ϕ 1 cm, HCl+
 2,9—3,5 sables et graviers stratifiés, rouges, alluvions des Vosges, HCl—

Profil Bischoffsheim 6. Altitude 225 m. Le profil se trouve sur le versant E de la colline Henberg, 22 km au SW de Strasbourg (fig. 8).

- 0,0—0,3 horizon d'humus (A_1), limon avec de sable et de petits galets, gris, HCl+
 0,3—0,6 horizon B du sol brun, argilo-limoneux, brun, HCl+
 0,6—1,9 loess limoneux, poreux, jaune, petites concrétions de carbonates, HCl+
 1,9—2,7 horizon B du sol brun, limon-argileux brun avec de petits galets, transition graduelle; teneur en humus 0,5%, HCl+
 2,7—3,6 loess limoneux, poreux, jaune; au sommet petits galets, carbonates dispersés en menus canaux, filaments de calcite, HCl+
 3,6—3,9 couche de concrétions de carbonates dans le loess brun clair, HCl+
 3,9—4,5 loess limon-argileux brun; beaucoup de concrétions tubulaires postracines et des pseudomycélie de carbonates, teneur en humus 0,3%, HCl+

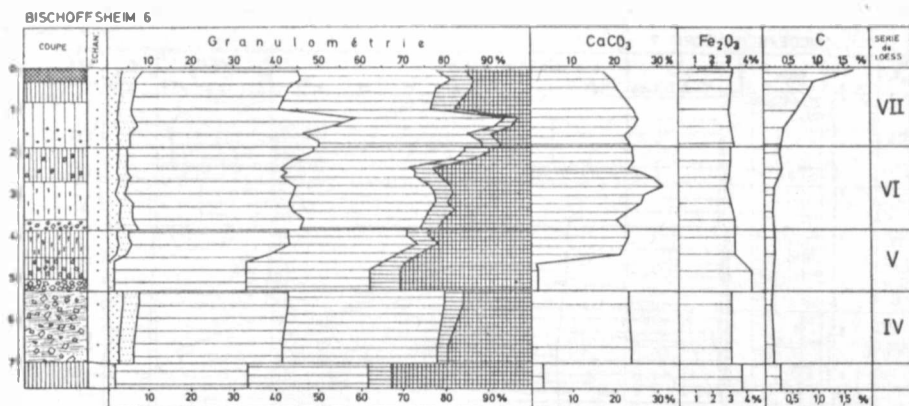


Fig. 8. Profil Bischoffsheim 6

- 4,5—5,0 horizon B_t du sol brun, limon-argileux, brun, petites concrétions de carbonates, concrétions fines ferro-manganésiques, HCl+ faible
 5,0—5,4 couche de grandes concrétions de carbonates, HCl+
 5,4—7,0 limon jaune, stratifié — grèzes litées à l'inclinaison des couches de 10° , HCl+
 7,0—7,8 horizon B_t du sol brun, argile brune, teneur en humus 0,4%, HCl+ faible

Profil Niederbetschdorf 7. Altitude 172 m. Le profil se trouve sur le rebord S de la nappe Wissembourg. Il a été levé à la briqueterie sur la paroi E (fig. 9).

- 0,0—0,1 horizon d'humus (A_1) argilo-limoneux, gris, HCl+
 0,1—0,5 horizon B du sol brun, argilo-limoneux brun, carbonates dispersés en petits canaux, HCl+
 0,5—1,5 loess limoneux, poreux, jaune, HCl+
 1,5—1,9 loess limon-argileux brun, irrégulièrement stratifié à l'inclinaison des couches de $5-10^\circ$, HCl+
 1,9—2,8 loess limoneux, poreux, jaune, concrétions tubulaires, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
 2,8—4,7 horizon B_t du sol brun, argile à structure grumeleuse, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
 4,7—5,8 loess stratifié, strates jaunes poreuses et brunes argileuses, HCl+
 5,8—8,0 loess limoneux, poreux, jaune-brun, concrétions de carbonates et concrétions fines ferro-manganésiques, HCl+
 8,0—9,0 loess limono-argileux, lité, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
 9,0—10,4 limon-argileux, beige, concrétions ferro-manganésiques, HCl—
 10,4—11,0 loess limoneux, jaune à taches rouille, concrétions tubulaires, HCl+
 11,0—11,2 horizon d'humus (A_1), limon argilo-sableux, noir, HCl—
 11,2—12,5 horizon B_t du sol brun, limon-argileux brun à taches rouille et gris, concrétions d'oxydes Fe, HCl—
 12,5—14,0 loess limoneux, gris à taches rouille, gléyifié, HCl+ faible
 14,0—14,5 loess limoneux, gris, grandes concrétions de carbonates $\varnothing$ 10—20 cm, HCl+
 14,5—16,0 limon argileux, brun-gris, gléyifié, faune de mollusques, HCl+

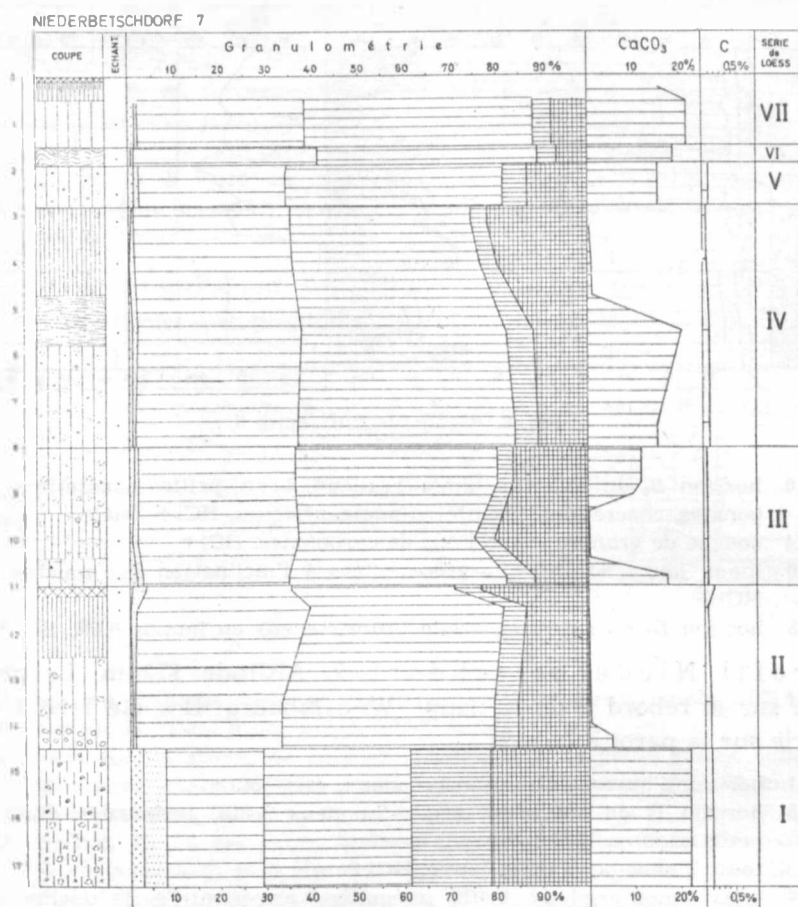


Fig. 9. Profil Niederbetschdorf 7

16,0—17,5 limon argileux, gris avec des filaments rouille, gléifié; beaucoup de concrétions argilo-carbonateuses ϕ 1 mm, HCl+

Profil Equisheim 9. Altitude 220 m. Le profil a été levé dans la briqueterie sur la paroi W (fig. 10).

- 0,0—0,3 horizon d'humus (A_1), limon avec de sable et petits galets, gris, HCl+
- 0,3—0,8 horizon B du sol brun, argilo-limoneux avec des petits galets, brun à tache gris, HCl+
- 0,8—2,5 loess limoneux, poreux, jaune; au sommet petits galets, concrétions tubulaires postracines et concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm, HCl+
- 2,5—3,7 loess limoneux, beige, en traînés, HCl+
- 3,7—5,2 loess limono-argileux, jaune, en traînée, concrétions tubulaires postracines, concrétions ferro-manganésiques, HCl+
- 5,2—5,8 loess limono-sableux, brun; la couche est coupée par l'érosion, au sommet petits galets; teneur en humus 0,4%, HCl+

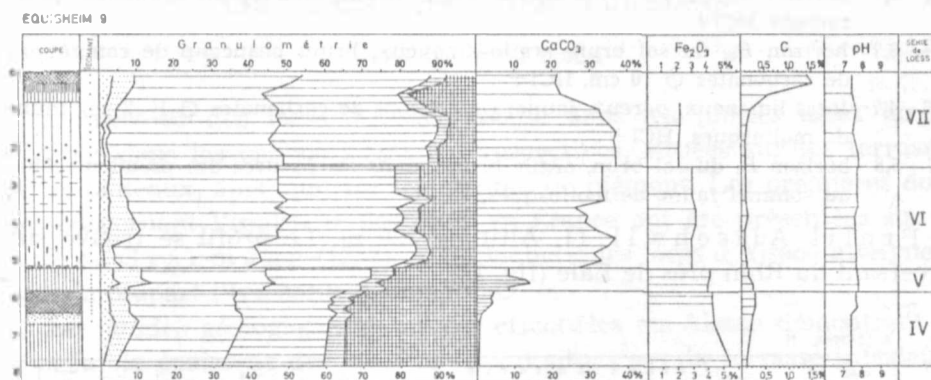


Fig. 10. Profil Equisheim 9

- 5,8—6,4 horizon d'humus (A_1) argileux, brun terreux; canaux perpendiculaires de traces de racines $\varnothing$ 1—2 cm remplis de loess jaune, teneur en humus 0,5%, HCl+ faible
- 6,4—6,7 horizon B_{t1} du sol brun lessivé, limon-argileux et sableux, brun; concrétions ferro-manganésiques, concrétions d'oxydes Fe tubulaire, HCl+ faible
- 6,7—8,4 horizon B_{t2} du sol brun, argile brune, concrétions ferro-manganésiques, HCl—

Profil Equisheim 10. Altitude 208 m. Le profil se trouve sur le versant de la colline sous-vosgienne (fig. 11).

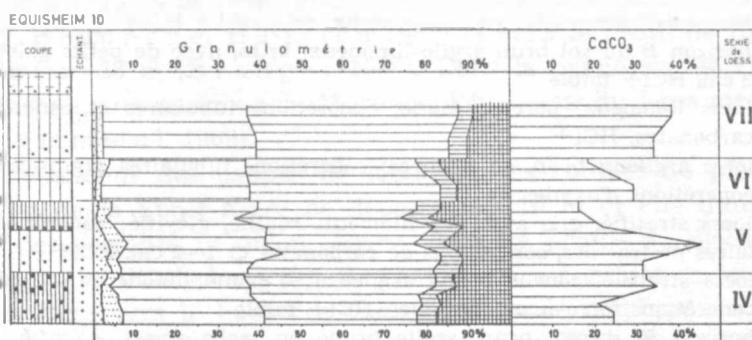


Fig. 11. Profil Equisheim 10

- 0,0—0,5 loess stratifié, jaune, limon avec de petits galets; colluvions de loess, HCl+
- 0,5—2,0 loess limoneux, poreux, jaune; concrétions de carbonates $\varnothing$ 1—2 cm, concrétions tubulaires postracines, HCl+
- 2,0—2,5 loess limoneux, brun, en trainées, HCl+
- 2,5—3,0 loess limoneux, poreux, brun clair, concrétions ferro-manganésiques, HCl+

- 3,0—3,4 horizon B_{t1} du sol brun lessivé, argile brune, concrétions tubulaires post-racines, HCl+
- 3,4—3,7 horizon B_{t2} du sol brun, argilo-limoneux, brun; beaucoup de concrétions de carbonates ϕ 10 cm, HCl+
- 3,7—4,7 loess limoneux, poreux, jaune; concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm, faune de mollusques, HCl+
- 4,7—5,8 horizon B_t du sol brun, argile brune; dans les fissures des pseudomycélia, au sommet faune de mollusques, HCl+

Profil Allschwil 11. Altitude 320 m. Le profil se trouve sur le versant du Rhin près de Bâle (fig. 12).

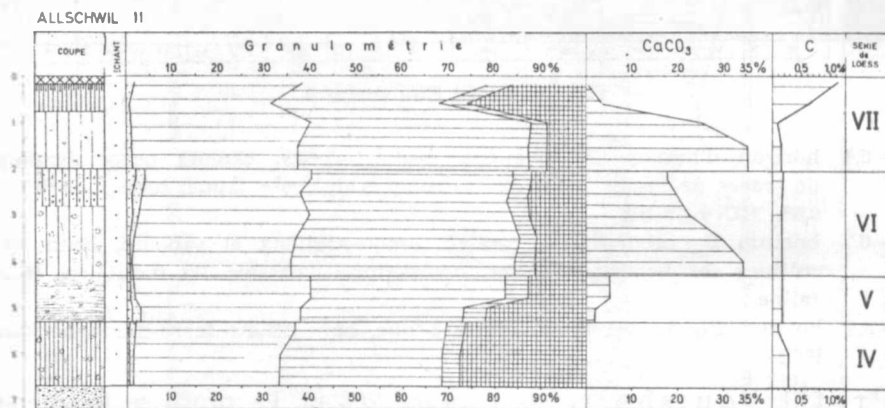


Fig. 12. Profil Allschwil 11

- 0,0—0,2 horizon d'humus (A_1) argilo-limoneux, gris, HCl+ faible
- 0,2—0,8 horizon B du sol brun argilo-limoneux, brun, avec de petits galets ϕ 1—2 cm, HCl+ faible
- 0,8—2,0 loess limoneux, poreux, jaune; concrétions tubulaires et concrétions de carbonates, HCl+
- 2,0—2,8 loess argileux brun, en trainées; concrétions tubulaires argilo-carbonates, concrétions d'oxydes Fe
- 2,8—4,3 loess stratifié, gris avec des filaments rouille, gléyifié; concrétions tubulaires postracines, concrétions de carbonates ϕ 1—2 cm, HCl+
- 4,3—5,3 loess stratifié, couche brune argileuse et jaune limoneuse — colluvions; concrétions ferro-manganésiques, HCl+ faible
- 5,3—6,4 horizon B_t du sol brun, argile brune en tache grises, gléyifié, avec de taches noires d'humus; concrétions d'oxydes Fe dans les fissures, HCl—
- 6,4—7,0 galets avec matrice limoneuse, brune, HCl—
- 7,0—15,0 sables et graviers stratifiés

LES TRAITS LITHOLOGIQUES DU LOESS

L'ÉPAISSEUR DU LOESS

L'épaisseur des loess d'Alsace oscille dans les limites assez larges et varie dans les nappes loessiques respectives, situées sur les terrasses et les plateaux, ainsi que sur les collines de piémont. Les premières données concernant l'épaisseur des loess en France ont été présentées sur la carte de G r a h m a n n (1932), selon laquelle les loess d'Alsace atteignent pour la plupart l'épaisseur de 5 à 10 m.

Les études géologiques détaillées effectuées en Alsace démontrent la plus faible épaisseur des loess (1—2 m) situés sur la terrasse inférieure de Lingolsheim, de Valff et d'Offenburg, tandis que sur la terrasse moyenne de Schiltigheim elle atteint 10 m environ (Théobald 1955, G. Dubois et P. Dubois 1955, Puissegur 1965). Sur la terrasse supérieure l'épaisseur des loess dépasse 20 m (Wernert 1957, Khodary-Eissa 1968, Panizza 1970). Le profil d'Achenheim 2 où l'épaisseur du loess égale 28 m, peut ici servir d'exemple (fig. 4). Sur le plateau d'Alsace, selon Geissert et al. (1969) on trouve des loess de 15 m et, comme il résulte des recherches de l'auteur, même de 20 m d'épaisseur (fig. 9). Dans la partie méridionale de la plaine du Rhin moyen, sur le plateau de Sundgau, l'épaisseur du loess atteint 20 m dans un profil de Riedisheim aux environs de Mulhouse (Théobald 1972) et à Allschwil, elle diminue jusqu'à 10 m (Gouda 1962). Du côté est du Rhin, sur le plateau de Bade, elle oscille de 15 à 20 m (Khodary-Eissa 1968, Bronger et Hädrich 1969) et dans le profil de Riedisheim atteint même 28 m (Bronger 1966). Dans la partie septentrionale du Fossé rhénan, aux environs de Mogunce, l'épaisseur du loess mesure 10—15 m (Semmel 1969).

L'épaisseur des nappes de loess sur les collines de piémont des Vosges et de la Forêt-Noire ne dépasse pas 10 m et elle diminue vers le haut des versants, ce qu'on observe dans les profils de Bischoffsheim, d'Equisheim et d'Allschwil (fig. 8, 10, 12). On a constaté se terminer en coin des loess vers le haut des versants dans de nombreux endroits de la zone marginale du Fossé rhénan (Gouda 1962, Bronger 1966, Blanck et Waquart 1971, Buraczyński 1978).

Les matériaux recueillis permettent de tirer des conclusions portant sur changements de l'épaisseur concernant uniquement des loess récents. Il manque des données permettant de caractériser précisément des loess plus anciens.

L'étude détaillée des loess récents du Fossé rhénan (fig. 14) démontre que leur épaisseur oscille de 10 à 14 m dans la partie axiale du Fossé et de 4 à 6 m dans sa partie périphérique, sur les collines de piémont.

Le loess récent supérieur y prend 3 m environ et se caractérise par un changement distinct de son épaisseur le long du profil transversal à travers le Fossé. A l'axe du Fossé, on trouve une épaisseur un peu plus élevée (4 m) dans le profil d'Achenheim 2. Sur les collines de piémont des Vosges, de l'épaisseur la nappe de loess n'atteint que 2 m (Bischoffsheim 6, Equisheim 9).

Le loess récent inférieur démontre une variabilité de l'épaisseur dans le sens nord-sud. Sur la haute terrasse de Hangenbieten, elle mesure 10 m (Achenheim 2) et sur la terrasse moyenne de Schiltigheim — 7 m (Achenheim 3). Dans la partie méridionale du Fossé, les loess ont l'épaisseur de 6 m à Heitersheim, de 5 m à Mulhouse et de 4 m à Allschwil. Sur les collines de piémont des Vosges, l'épaisseur de loess égale 2—3 m (Bischoffsheim 6 et Equisheim 9). Le décroissement progressif de l'épaisseur du loess récent inférieur du nord vers le sud peut-être considéré comme le trait initial. Cela prouve que le loess a été accumulé par des vents prédominants nord-est. Cette direction fut pourtant modifiée par le parcours du Fossé à celle plus méridionale, c'est-à-dire NNE (Buraczyński 1971). La liaison de l'épaisseur du loess avec les directions prépondérantes des vents qui les ont accumulés a été déjà soulignée bien des fois (Schönhals 1953, 1955, Jersak 1974 et autres).

GRANULOMETRIE

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

La granulométrie des loess d'Alsace fut examinée à la base de 310 échantillons (tab. 1). Dans presque tous les échantillons prélevés dans les loess récents, la fraction de base, c'est-à-dire 0,01—0,05 mm, prédomine. Dans les loess anciens, les fractions 0,01—0,05 et 0,05—0,1 mm jouent un rôle pareil, avec une faible prépondérance de la fraction de poussière. Pourtant, dans les loess les plus anciens, on observe quelquefois un accroissement du rôle de la fraction agrilo-colloïdale (au-dessous de 0,005 mm), qui dépasse 20% et au maximum atteint même 45%. La teneur moindre en fraction principale caractérise des paléosols et des loess anciens. Tous les horizons du loess se caractérisent par le contenu peu important de la fraction sableuse, au-dessus de 0,1 mm. Le plus souvent elle atteint 2% et ce n'est que dans les loess anciens qu'elle occupe jusqu'à 10% (série I).

Les loess récents situés sur les plateaux du côté de la partie axiale du Fossé rhénan se caractérisent par une domination nette de la fraction de base, 0,01—0,05 mm. Dans les profils d'Achenheim 1, 2, 3, de Niederbetschdorf 7, ainsi que d'Allschwil 11, les loess récents, dans les mêmes séries VI—VII, se composent 45—50% de cette fraction. Les loess les plus récents (série VII), dans le profil de Blaesheim 4 et d'Equisheim 10, se caractérisent par le même contenu. Les loess dans les profils situés sur les collines de piémont des Vosges (Bischoffsheim 6, Equisheim 9) contiennent moins de la fraction 0,01—0,05 mm (30—35%) et sont plus riches dans la fraction sableuse 0,05—0,1 mm (40%). Les loess anciens contiennent le moins de la fraction 0,01—0,05 mm, 30% environ au moyen. Ce n'est que le profil de Niederbetschdorf 7, situé sur le plateau de Wissembourg, où la fraction de base occupe 40%, qui est ici une exception.

La granulométrie démontre une différenciation caractéristique selon les faciès divers du loess. Dans le faciès éolien, c'est la fraction 0,01—0,05 mm qui prédomine. Dans le faciès de solifluxion le rôle des particules argileuses accroit, tandis que celui de la fraction de base devient plus réduit.

Les nappes de loess en Alsace démontrent une grande diversité du diamètre de la médiane des grains (Md), autant dans le profil vertical que horizontal (tableau 1). Ce sont les loess récents supérieurs qui se caractérisent par le calibre le plus grand du grain moyen (0,04—0,05 mm), tandis que les loess récents inférieurs en ont un peu moindre — de 0,035 mm environ. Les loess les plus anciens se caractérisent par un grain moyen le moindre, au diamètre 0,025—0,034 mm, ce qu'on a constaté dans les profils d'Achenheim 2, de Bischoffsheim 6 et de Niederbetschdorf 7 (dans les séries I, II ou III). Les loess dans le profil d'Achenheim 1 se distinguent par le matériel plus sableux et le diamètre de leur médiane atteint 0,04 mm. Les différences mentionnées résultent de la situation des profils, ainsi que des conditions locales lors l'évolution des loess. En analysant dans le sens nord-sud le diamètre moyen des grains des loess en Alsace dans les nappes de loess respectives ou dans une nappe choisie, en suivant un parallèle, on ne voit pas de régularité distincte du changement de la dimension des grains. Dans le loess récent (série VII) on observe un diamètre moindre du grain moyen (0,04 mm) dans le loess situé dans la partie axiale du Fossé rhénan (dans les profils de Niederbetschdorf 7, d'Achenheim 1, 2, 3, ainsi que d'Allschwil 11) et ce n'est que le loess dans le profil de Blaesheim 4 qui y fait une exception (Md = 0,048 mm). Par contre, le loess récent dans les profils situés sur les collines de piémont (profils de Bischoffsheim 6 et d'Equisheim 9) se caractérisent par un grain moyen distinctement plus grand (0,047 mm). Il paraît que ce fait ne devrait pas être expliqué par un changement de la com-

Tab. 1. Granulométrie et calcimétrie des profils de loess d'Alsace (valeurs moyennes et extrêmes)

Granulometria i zawartość węglanów w profilach Alzacji (wartości średnie i skrajne)

Serie de loess	Nombre d'échan- tillons	Granulometrie 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	0,8 0,3-2,0	0,5 0,1-0,9	0,3 0,1-0,8	34,9 31,2-38,4	40,7 39,2-52,9	4,4 2,4-6,7	11,7 8,6-19,0	0,038 0,036-0,040	27,4 6,2-36,0
VI	8	1,0 0,3-1,7	0,6 0,2-0,9	0,5 0,2-0,8	33,8 31,9-35,5	45,6 41,9-50,5	5,2 4,1-7,1	13,3 9,0-17,3	0,037 0,035-0,039	28,5 22,8-34,4
V	26	1,1 0,5-1,9	0,8 0,4-1,2	0,7 0,5-1,1	33,3 31,0-35,2	43,2 39,9-46,8	5,1 4,0-6,9	15,7 10,9-19,2	0,037 0,035-0,040	24,7 19,8-30,9
IV	18	0,7 0,2-1,4	0,6 0,2-1,0	0,7 0,4-1,1	34,2 29,6-46,8	38,7 33,3-44,7	4,5 3,2-5,8	20,0 12,9-28,0	0,036 0,030-0,048	8,3 0,0-20,9
III	12	0,3 0,1-1,8	0,7 0,3-1,5	0,8 0,6-1,1	31,9 23,9-36,0	35,8 32,4-41,0	3,3 2,8-5,6	8,1 15,3-29,9	0,031 0,025-0,039	3,4 0,0-18,0
II	3	1,7 0,2-4,5	1,7 0,6-3,8	1,1 0,5-2,3	36,9 29,4-45,7	29,6 22,8-39,3	4,2 2,7-5,4	24,9 24,5-25,4	0,040 0,031-0,044	5,3 0,0-3,0
I	4	0,8 0,6-1,1	5,1 3,8-7,6	3,8 2,8-4,3	32,3 29,1-35,0	32,1 27,5-36,0	4,1 3,5-5,8	21,7 18,3-26,6	0,040 0,036-0,043	0,2 0,0-2,0
ACHENHEIM - 2										
VII	12	0,7 0,3-1,5	0,6 0,2-0,9	0,5 0,3-0,8	36,7 34,3-40,8	46,2 39,2-53,8	4,4 2,3-6,7	10,1 6,9-19,0	0,040 0,036-0,043	27,1 6,2-36,0
VI	18	0,4 0,2-1,0	0,6 0,2-1,2	0,7 0,2-1,9	39,5 28,8-44,4	47,1 41,0-58,6	4,1 1,9-5,8	7,5 2,4-11,2	0,042 0,037-0,046	29,3 22,5-34,3
V	9	0,5 2,6-9,0	2,8 2,0-3,9	2,5 1,3-3,4	41,9 34,0-46,3	30,6 28,1-32,6	5,2 4,6-6,6	12,3 10,1-17,2	0,052 0,046-0,055	28,9 24,1-32,8
IV	25	1,5 0,4-2,8	1,4 0,4-3,4	1,3 0,5-2,8	35,7 31,5-42,1	36,8 22,2-43,0	5,0 2,5-7,8	18,4 5,4-31,2	0,038 0,032-0,047	25,4 9,3-35,7
III	19	0,6 0,2-1,4	1,0 0,6-1,8	1,4 0,7-2,4	33,1 28,2-56,8	30,1 15,4-36,7	4,1 2,6-5,8	29,6 22,1-34,4	0,031 0,024-0,057	6,7 0,4-24,4
II	8	1,0 0,3-2,3	1,3 0,7-2,0	1,6 0,8-2,7	28,0 25,4-30,2	28,8 20,7-32,9	3,8 3,2-4,5	35,3 30,6-44,0	0,024 0,015-0,028	1,1 0,6-2,8
I	4	0,7 0,3-1,1	1,3 0,9-1,7	1,6 1,2-1,8	33,2 31,3-36,5	32,9 31,8-34,6	5,0 4,0-5,7	25,2 20,5-28,7	0,034 0,029-0,039	7,4 0,0-15,6
sable	1	0,2	39,5	38,6	20,3	0,7	0,4	0,3	0,209	23,2
ACHENHEIM - 3										
VII	2	0,4 0,4	0,4 0,3-0,5	0,3 0,2-0,4	36,9 36,7-37,1	45,3 43,2-47,5	4,2 3,6-4,8	12,4 10,9-14,0	0,039 0,039	29,2 28,4-30,0
VI	6	0,5 0,2-0,9	0,4 0,2-0,5	0,4 0,2-0,5	34,9 31,6-38,2	43,8 37,6-50,6	4,5 2,7-6,1	15,4 9,4-23,6	0,037 0,032-0,040	24,7 17,0-30,4
V	2	0,4 0,2-0,7	0,4 0,4	1,0 0,5-1,5	35,4 32,1-38,8	38,8 36,8-40,8	4,6 3,5-5,8	19,5 18,8-19,7	0,037 0,034-0,040	18,5 18,3-18,7
BLANSHHEIM - 4										
VII	7	0,8 0,3-1,6	0,9 0,5-1,4	0,8 0,6-1,2	45,7 43,9-48,3	43,8 41,4-46,9	3,0 2,1-4,4	4,9 2,1-7,3	0,048 0,046-0,050	29,6 23,9-36,1
VI	9	1,8 1,3-2,5	2,6 1,7-5,6	2,8 1,2-7,2	41,8 31,9-57,1	32,3 24,5-38,7	4,7 1,1-7,8	14,0 1,3-26,8	0,047 0,033-0,070	7,9 2,7-18,1
V	5	1,8 1,2-2,7	2,0 1,6-2,9	1,3 0,9-2,1	31,7 28,7-36,0	35,5 23,2-48,0	6,5 3,7-9,4	21,3 13,3-30,9	0,034 0,027-0,040	35,9 27,4-44,9
GRISHEIM - 5										
IV	4	1,7 0,4-2,8	1,5 0,7-2,6	0,9 0,5-1,5	34,1 31,5-35,6	39,9 35,4-44,2	5,7 3,9-7,4	16,2 12,0-27,5	0,037 0,030-0,042	16,4 1,2-33,9
III	4	2,2 1,6-2,9	1,6 1,0-2,5	1,1 0,7-1,6	35,8 32,6-40,9	36,1 32,1-45,5	3,7 3,0-4,6	19,3 11,9-25,5	0,039 0,034-0,047	14,1 12,4-19,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BISCHOFFSHEIM - 6										
VII	8	2,5 2,2-3,2	1,9 1,4-2,7	1,7 1,2-2,1	41,5 36,4-52,7	36,3 33,0-39,0	5,3 2,9-8,2	10,7 3,3-18,0	0,047 0,039-0,059	22,0 17,0-25,2
VI	11	2,4 1,5-3,4	1,6 1,2-2,4	1,2 1,0-1,4	39,2 36,2-43,9	31,7 26,6-38,3	5,1 2,6-6,7	13,4 10,1-22,8	0,042 0,037-0,045	24,8 19,9-30,9
V	5	1,4 0,2-2,4	1,1 0,4-1,7	1,0 0,6-1,5	34,4 30,8-37,9	30,1 28,0-32,4	5,3 4,5-7,5	26,6 21,9-30,8	0,034 0,025-0,041	13,5 0,4-22,8
IV	2	2,9 2,5-3,5	2,2 1,3-2,5	1,2 1,1-1,4	35,1 35,0-35,3	36,8 31,7-37,0	3,8 2,8-4,9	17,8 18,8-19,8	0,040 0,039-0,041	23,3 23,1-23,5
III	1	0,4	0,5	0,9	31,5	28,4	5,5	32,8	0,026	2,7
HILDERSBACHSDORF - 7										
VII	1	1,0	0,6	0,3	37,1	48,7	3,2	9,1	0,041	21,2
VI	1	0,6	0,2	0,4	40,6	47,7	3,8	6,7	0,043	19,8
V	1	0,9	0,8	0,4	31,9	47,2	5,5	13,5	0,037	15,0
IV	4	0,4 0,2-0,5	0,5 0,3-0,9	0,3 0,3-0,4	34,7 34,1-35,0	43,1 39,0-47,1	4,7 3,7-6,1	16,2 10,8-22,2	0,037 0,035-0,039	9,0 0,0-20,7
III	2	0,8 0,3-1,3	0,8 0,8-0,9	0,5 0,5-0,6	34,7 32,0-35,4	42,5 37,8-47,3	5,4 4,6-6,3	16,1 11,7-20,5	0,036 0,036	8,5 0,2-16,9
II	3	0,3 0,1-0,4	1,0 0,4-1,8	0,4 0,2-0,6	33,8 31,7-37,8	41,4 35,5-46,4	5,2 4,7-5,8	17,6 13,6-23,7	0,036 0,033-0,040	0,2 0,1-0,3
I	1	2,7	3,5	1,4	21,2	32,4	17,3	21,5	0,023	21,9
BÜTTINGEN - 8										
VII	1	0,1	0,6	1,5	53,0	38,1	2,0	4,7	0,055	35,0
VI	1	0,1	0,1	0,3	58,7	33,3	1,9	5,6	0,057	32,3
V	2	0,6 0,4-0,8	0,7 0,4-1,0	0,7 0,6-0,9	54,0 53,7-54,4	36,0 35,6-36,4	2,2 1,8-2,5	5,8 5,4-6,1	0,055 0,055-0,056	35,2 34,8-35,6
IV	3	0,1 0,0-0,2	0,1 0,1-0,3	0,3 0,2-0,3	38,1 36,7-39,7	28,6 27,5-29,9	1,9 1,3-3,1	31,0 30,1-31,5	0,032 0,032-0,036	0,6 0,0-4,0
II	1	1,2	1,1	6,9	39,6	36,2	4,1	10,9	0,049	26,2
I	2	0,4 0,4-0,7	0,4 0,3-0,6	0,4 0,4	52,5 46,1-58,9	36,9 35,5-38,3	2,9 1,7-4,2	6,2 2,7-9,7	0,050 0,049-0,050	17,8 13,7-21,9
EQUISHEIM - 9										
VII	10	1,9 0,7-3,7	1,5 0,6-3,1	1,4 0,5-2,9	38,5 35,6-46,0	39,2 34,1-44,1	3,5 2,1-5,1	9,5 6,7-18,4	0,047 0,042-0,057	31,3 21,2-37,2
VI	10	2,0 0,6-2,9	2,5 1,2-4,0	2,4 1,3-4,0	39,4 36,4-42,3	35,0 30,0-42,8	4,8 3,7-6,6	13,8 11,6-16,2	0,046 0,042-0,052	31,9 25,8-36,8
V	5	3,2 1,3-5,4	3,3 2,6-4,4	3,3 2,3-4,1	33,8 32,4-35,1	28,3 22,6-38,0	5,0 3,5-6,4	23,1 19,4-26,6	0,040 0,039-0,044	14,2 8,4-26,5
IV	8	2,6 0,9-3,3	2,8 1,5-3,5	2,9 2,3-3,3	32,2 27,8-39,6	29,3 23,1-29,9	5,4 3,5-5,8	33,2 29,3-35,6	0,032 0,024-0,032	3,1 0,3-4,5
EQUISHEIM - 10										
VII	2	0,7 0,7	0,8 0,8-0,9	1,0 0,9-1,0	35,8 34,8-36,7	48,9 46,0-50,6	3,2 3,4-4,4	9,6 8,8-10,3	0,040 0,040	36,3 34,3-38,4
VI	3	0,7 0,4-1,0	1,2 0,5-1,9	1,1 0,8-1,3	24,1 32,6-35,6	42,7 40,7-45,9	4,8 3,7-5,6	15,4 13,1-17,0	0,038 0,037-0,039	18,4 18,4
V	7	2,8 0,6-4,2	1,8 1,1-2,6	1,0 0,3-1,8	24,2 31,4-38,7	39,7 35,8-44,2	6,0 4,5-7,0	14,6 11,5-20,1	0,040 0,035-0,045	28,8 16,3-45,5
IV	5	2,2 1,8-3,0	1,9 1,1-2,6	1,5 0,8-2,0	32,9 31,3-33,8	41,1 36,7-44,8	4,5 4,0-4,9	19,9 13,2-17,9	0,038 0,037-0,040	22,4 20,5-34,7
ALLSCHWIL - 11										
VII	4	0,4 0,1-0,7	0,3 0,2-0,7	0,2 0,1-0,4	35,6 31,1-39,1	43,9 36,5-50,4	4,8 3,8-6,0	14,7 8,3-25,9	0,037 0,030-0,041	16,1 0,6-35,2
VI	2	1,4 0,8-1,9	0,7 0,3-1,2	0,5 0,1-0,9	35,3 34,4-36,2	46,5 44,2-48,9	4,2 4,0-4,5	11,3 11,0-11,6	0,039 0,038-0,041	25,9 17,7-34,1
V	2	1,1 1,0-1,2	0,7 0,4-1,1	0,9 0,4-0,7	36,4 34,8-38,0	38,8 34,6-43,0	5,2 4,5-6,0	17,1 12,7-21,6	0,040 0,039-0,040	3,4 2,1-4,8
IV	1	0,5	0,7	0,8	34,7	33,0	4,3	26,0	0,034	0,0

position mécanique du loess en fonction de l'éloignement des terrains d'alimentation et qu'il résulte plutôt d'une alimentation plus riche en matériel plus grossier par les processus de versant.

La faible teneur en fraction sableuse (plus de 0,1 mm), ne dépassant pas d'habitude 2—3%, présente un trait 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. La teneur en fraction de base, celle d'argile fine et en fraction sableuse démontre une grande quantitative dans les divers profils ainsi qu'à l'intérieur des profils particuliers. La participation des fractions change selon la situation morphologique du profil, l'âge des séries des loess et de leur faciès; elle dépend aussi de la transformation du matériel loessique par les processus secondaires — d'altération et pédogenèse.

CARBONATES

La teneur en carbonates présente un trait lithologique important, ainsi qu'un critère de classification des loess. Les études ont démontré un écart assez élevé de la quantité des carbonates dans le profil vertical, ainsi que sa variabilité horizontale. La teneur en carbonates oscille de 0 à 45,5% (tableau 1).

On peut observer une certaine régularité dans la répartition des carbonates dans les profils de loess. Le loess le plus ancien (série I) contient 20—25% des carbonates, tandis que les loess des séries II et III en sont le plus souvent dépourvus, ce qu'on a constaté dans les profils d'Achenheim 2 et de Niederbetschdorf 7. La teneur en carbonates démontre une certaine différenciation à l'inférieur des séries particulières. Pour la plupart, les carbonates sont les plus abondants dans la partie supérieure de chaque horizon et moins fréquents dans sa partie basale. Ces oscillations atteignent 10%. Il y a un rapport entre la teneur en carbonates et le contenu de la fraction argileuse — un décroissement de la quantité des carbonates correspond à un accroissement de la fraction argileuse.

La teneur en carbonates dans les loess d'Alsace se caractérise également par une différenciation spatiale. Cela est bien visible dans le loess récent (tableau 1). Le loess récent inférieur dans la partie septentrionale de l'Alsace contient 9% de carbonates (Niederbetschdorf 7) et dans les profils d'Achenheim 1, 2, 3 et de Bischoffsheim 6 s'élève jusqu'à 25%. On observe la plus importante teneur en carbonates (31—35%) dans le profil d'Equisheim 9. Dans la partie sud du Fossé rhénan la quantité de carbonates diminue jusqu'à 25% (Allschwil 11). Le loess récent supérieur dans la partie nord contient 18% de carbonates (Niederbetschdorf 7), près de la vallée du Rhin aux environs de Strasbourg, leur quan-

tité accroît jusqu'à 30% (Achenheim 1, 2, 3 et Blaesheim 4) et sur les collines de piémont la participation des carbonates s'abaisse à 22% (Bischoffsheim 6). Ce sont les loess supérieurs dans le profil d'Equisheim 9 qui sont les plus carbonateux. Dans la partie méridionale du Fossé les carbonates deviennent le moins abondants — ils n'y participent pas qu'un 16%. H ä d r i c h (1975) a obtenu des données pareilles concernant la teneur en carbonates dans les profils de loess dans le pays de Bade; selon lui le loess récent contient environ 34% de carbonates, le loess inférieur — 30% et l'ancien 16%. Les analyses géochimiques détaillées ont démontré que dans la masse totale des carbonates il y a 7% du carbonate de magnésium dans le loess récent, 11% dans le loess inférieur et 50% dans le loess ancien.

Les changements de la teneur en carbonates correspondent aux conditions climatiques de la sédimentation du loess (F i n k 1966, L o ž e k 1966, M a c o u n 1969). Cette corrélation est visible dans la différenciation spatiale de la teneur en carbonates dans les loess récent du Fossé rhénan. Dans la partie sud de cette région, les loess sont les plus carbonatisés, ce qui correspond aux conditions du climat remarquablement sec. Actuellement, le climat y est également relativement sec, les précipitations annuelles étant parfois proches de 500 mm (Colmar-Horbourg). Selon F i n k (1966) et L o ž e k (1966), les variations climatiques contemporaines reflètent les variations du climat régnant pendant l'accumulation du loess.

La comparaison de la teneur en carbonates du loess récent inférieur et supérieur prouve que: 1) le loess récent supérieur sur tout le territoire contient plus des carbonates que le loess récent inférieur, 2) le loess récent inférieur et supérieur sont les plus riches en carbonates (35%) dans la partie de la plaine du Rhin moyen où il y a un déficit de précipitations; dans la partie nord et sud du Fossé les loess contiennent moins des carbonates, 3) la teneur en carbonates des loess récents en France diminue vers l'ouest du Fossé rhénan.

L'étude des carbonates dans la fraction de 0,25—1,0 mm des loess d'Alsace permet de distinguer des concrétions carbonateuses-argileuses du type de poupées, des tubes carbonateux-argileux de traces de racines, des grains de calcite sphériques, réguliers et irréguliers et filaments de calcite. Dans le loess récent supérieur prédominent nettement les concrétions tubulaires carbonateuses-argileuses et dans le loess récent inférieur les grains sphériques de calcite. Dans les horizons de paléosols les formes mentionnées disparaissent vers le bas. Quant au loess ancien, elles se présentent en un pourcentage nettement moindre (B u r a c z y ń s k i 1979).

La différenciation des loess selon la teneur en carbonates s'effectuait au cours des processus accompagnant leur accumulation, ainsi que dans

la période postérieure. La cristallisation de carbonates sur les parois des petits canaux 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) dispersés ou faisant des agglomérations, se sont formés, d'après Mazenot (1963) dans les glandes des lombrics, dans les conditions du climat froid et sec.

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 des poussières (Fink 1966, Ložek 1966, Jersak 1973).

OXYDES DE FER

La teneur en oxydes de fer des loess est un des indices les plus importants des conditions paléogéographiques. La teneur en oxydes de fer libre des loess en Alsace varie autant dans leur profil vertical que selon la situation spatiale (fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10). Le loess récent supérieur contient 2,5% environ des oxydes de fer et le loess récent inférieur 3%. Ce sont les loess les plus anciens qui contiennent (4,0—4,5%) le plus des oxydes de fer libre (tab. 2). La teneur en oxydes de fer est relativement élevée dans les loess d'Alsace, elle oscille de 2 à 4%. Blanck et Wac-

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

Série de loess	Achenheim 1	Achenheim 2	Achenheim 3	Blasenheim 4	Griseheim 5	Biebof-sheim 6	Bötzingen 8	Eguisheim 9
VII	2,60 2,18-3,22	2,60 2,18-3,22	2,34 2,29-2,39	2,34 2,14-2,54		3,29 3,07-3,43	0,84 0,78-1,03	2,21 2,14-2,29
VI	2,78 2,14-3,15	2,53 2,32-2,82	2,60 2,29-3,29	3,73 3,04-4,25		3,24 2,79-3,68	0,96 0,72-1,10	3,01 2,75-3,29
V	3,27 2,93-3,50	3,11 3,11	3,40 3,25-3,47	2,66 2,54-2,79		3,99 3,65-4,68	1,20 1,03-1,28	3,79 3,11-4,22
IV	3,20 2,75-3,47	3,06 2,57-3,72			3,12 2,54-3,86	3,20 3,15-3,25	1,58 1,00-3,03	4,81 4,50-5,83
III	3,63 2,75-3,97	3,47 2,82-4,11			3,40 2,93-3,86		1,66 1,37-2,11	
II	3,62 3,57-3,65	4,27 4,15-4,40					1,03 0,83-1,26	
I	4,11 4,00-4,32	3,63 3,36-3,90						

quant (1971) citent de pareilles valeurs pour le profil d'Equisheim. Dans les autres provinces de la France, on a observé une différenciation analogue (Jamagne, Mathier 1971, Lautridou 1968). La part du fer 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 argileuse, à l'inverse des carbonates, qu'a été déjà soulignée par Jersak (1973). Le climat, ainsi que les conditions hydrographiques, ont eu une influence sur la teneur en oxydes de fer libre. La différenciation observée dans le profil vertical, témoigne des variations des 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 récent supérieur correspond au climat sec accompagnant 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 dans la zone du contact des couches manifestant de traits lithologiques différents ce qui reste en fonction des facteurs hydrologiques (Jersak 1973). Les compositions 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 compositions de fer se présentent comme des complexes humiques-ferrugineux-argileux (Duchaufour 1964). La quantité et la situation des concrétions ferro-manganésiques présentent des indicateurs d'hydromorphisme du sol.

TENEUR EN HUMUS

La teneur en humus des loess diffère nettement dans les profils étudiés, ce qui manifeste autant dans les profils verticaux que horizontaux (fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12). Bien que les différences soient très nettes, le matériel recueilli ne donne pas de base suffisante à une hypothèse concernant des variations de ce facteur sur le territoire de la plaine du Rhin moyen. On ne peut que constater, que les loess situés sur les terrasses, dans la partie axiale du Fossé contiennent moins d'humus que les loess situés sur les collines de piémont (Bischoffsheim 6). Bronger (1966) et Khodary-Eissa (1968) constatent le même phénomène dans le pays de Bade.

Le tableau 3 présente les données pour chaque série de loess et on y peut observer certaines régularités. La loess récent supérieur contient 0,2% d'humus, le loess récent inférieur 0,25—0,3%. Dans les loess anciens, la teneur en humus s'élève jusqu'à 0,4—0,6%, ce qui est dû à l'apparition

Tab. 3. Teneur en humus (%) des loess d'Alsace (valeurs moyennes et extrêmes)
 Procentowa zawartość wolnego żelaza (Fe_2O_3) w lessach Alzacji (wartości średnie

Série de loess	Achenheim 1	Achenheim 2	Achenheim 3	Bieselstein 4	Gräfelsheim 5	Bieselstein- Achenheim 6	Bieselstein- d'Orf 7	Reiningen 8	Reiningen 9	Altenheim 10	Wettelsheim 11
VII	/1,43/ 0,20 0,20	/1,49/ 0,19 0,18-0,20	0,23 0,21-0,26	0,18 0,15-0,19		/2,60/ 0,52 0,48-0,56		/1,30/ 0,45 0,30-0,55	/2,65/ 0,20 0,16-0,34	0,13 0,10-0,16	/2,73/ 0,43 0,19-0,53
VI	0,33 0,15-0,44	0,21 0,16-0,59	0,25 0,20-0,31	0,16 0,15-0,17		0,32 0,20-0,55	0,11 0,11	0,47 0,35-0,67	0,18 0,13-0,23	0,16 0,14-0,18	0,62 0,50-0,95
V	/0,62/ 0,25 0,17-0,27	0,33 0,24-0,48	0,27 0,27	0,13 0,10-0,15		0,26 0,25-0,27	0,06 0,06	0,30 0,30-0,48	0,35 0,20-0,42	0,14 0,14	/0,93/ 0,43 0,37-0,54
IV	0,15 0,15	0,29 0,15-0,46			/1,97/ 0,32 0,32	0,20 0,10-0,22	0,08 0,05-0,10	/0,73/ 0,35 0,20-0,57			/0,82/ 0,21 0,08-0,38
III	/0,29/ 0,34 0,15-0,69	/1,38-2,24/ 0,38 0,20-0,49			0,20 0,09-0,20	0,30 0,38	0,06 0,06-0,07	0,28 0,19-0,47			0,21 0,08-0,38
II	0,63 0,59-0,68	0,38 0,33-0,49					0,10 0,04-0,17	0,48 0,30-0,66			0,16 0,10-0,21
I	0,15 0,15	0,18 0,17-0,20					0,09 0,09				

En parenthèses: teneur en humus dans le sol.

d'un horizon épais du sol en même temps du loess. Le loess éolien le plus ancien est pauvre en humus. Dans les paléosols qui couronnent les séries loessiques respectives, la quantité d'humus est bien plus importante. Le sol contemporain contient 1,5% d'humus, le sol interglaciaire eemien de la série V n'en contient que 0,6—0,9%. Le sol interstadiaire Riss I/II (série III) est plus riche en humus et il en contient 1,4—2,2%.

On peut aussi exprimer le contenu de l'humus d'un horizon pédologique par un rapport de la teneur en humus de l'horizon d'accumulation d'un sol à la teneur moyenne en humus du loess au-dessous du sol. Pour les séries respectives du loess, ce rapport égale: série VII — 6,3-7,5, VI — 1,5, V — 2,2-2,5, IV — 2,1-3,1, III — 5,9, II — 3,4, I — 0,0.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

La composition des minéraux lourds dans les profils d'Alsace varie quantitativement selon les séries des loess, ce qui résulte des différences lithologiques des terrains d'alimentation (fig. 13).

La teneur pondérale en minéraux lourds dans la fraction 0,1—0,05 mm atteint dans les loess à 0,4—2,9%, tandis que dans les sables du substratum elle s'élève à 4,9—6,5%. Les horizons de loess affectés par les processus pédogénétiques ont une fraction lourds plus importante. Sa teneur

dans les loess récent du profil Achenheim 2 (sans paléosol) s'élève à 1,5% et dans les loess anciens à 0,7—1,2% (Buraczyński 1978, 1980).

Le trait caractéristique des loess consiste dans la prépondérance de minéraux lourds opaques sur les minéraux transparents (dans certains cas, les minéraux opaques constituent 40% de l'ensemble). Dans le groupe des minéraux transparents prédominent successivement: épidote, amphibole, zircon, grenat, tourmaline, rutile. Dans certains horizons le grenat prend une place plus éloignée. Dans les loess récents ce sont le chlorite et le biotite qui occupent la première place (d'Achenheim 1, 2, 3, de Blaesheim, d'Equisheim). La participation importante des minéraux peu résistants à l'altération (30% environ et par endroits même jusqu'à 50%) doit être considérée comme un trait caractéristique des loess d'Alsace. Parmi les minéraux résistants, le zircon domine toujours sur les tourmaline, grenat et rutile, bien que dans certains profils ce soit la tourmaline qui est plus nombreuses ou reste en équilibre avec le zircon (profil de Bischoffsheim série IV, de Niederbetschdorf série V—VII).

Au point de vue de la composition quantitative des minéraux lourds, les séries respectives des loess d'Alsace peuvent être caractérisées comme suit:

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

Dans les séries respectives de loess, cinq minéraux dont la teneur est supérieure à 10% jouent le rôle principal. Les autres minéraux sont présents en quantités peu importantes et variables. Dans ces loess dominant dans l'ordre suivant: l'épidote — l'amphibole — le zircon — le grenat — la tourmaline — le rutile. Dans les loess récents, le chlorite et la biotite se mettent encore au premier plan.

La teneur en minéraux lourds est différente pour les loess récents d'Alsace et pour ceux des séries anciennes. La teneur moyenne dans les loess récents et anciens s'élève respectivement à: 15% et 11% d'amphibole, 10% et 20% d'épidote et de zircon, 10% et 11% de grenat, 8% et 10% de tourmaline et de rutile, 5% et 3% de titane, ainsi que 15—20% et 3% de chlorite et de biotite.

* Explications des signes: $\geq$ deux fois plus, $>$ 50% de plus, — plus, = quantité semblable. Agauche du signe " — plus de 10% de minéraux, à droite du signe — moins de 5%.

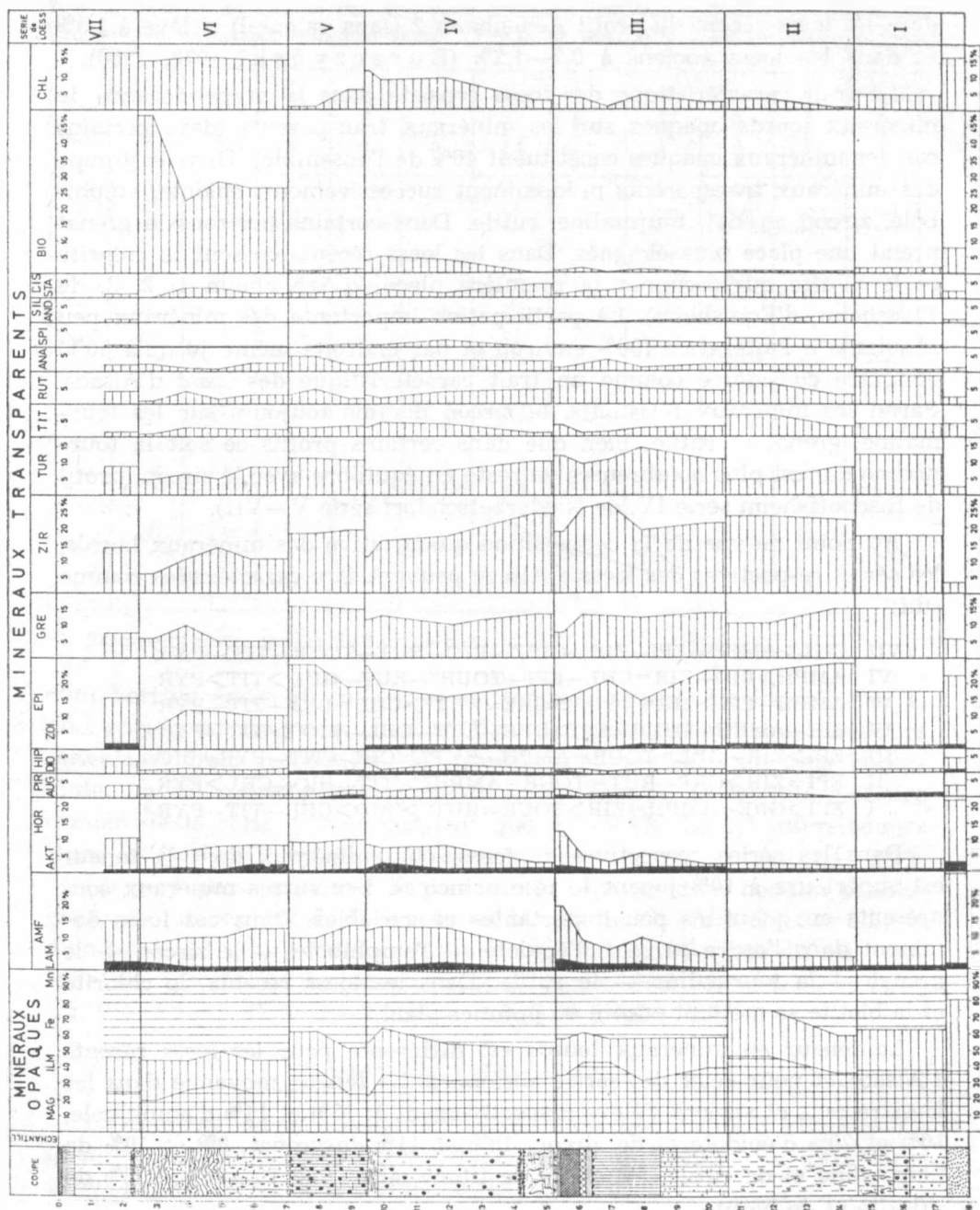


Fig. 13. Composition des minéraux lourds dans les loess d'Achenheim 2
Zawartość minerałów ciężkich w profilu Achenheim 2

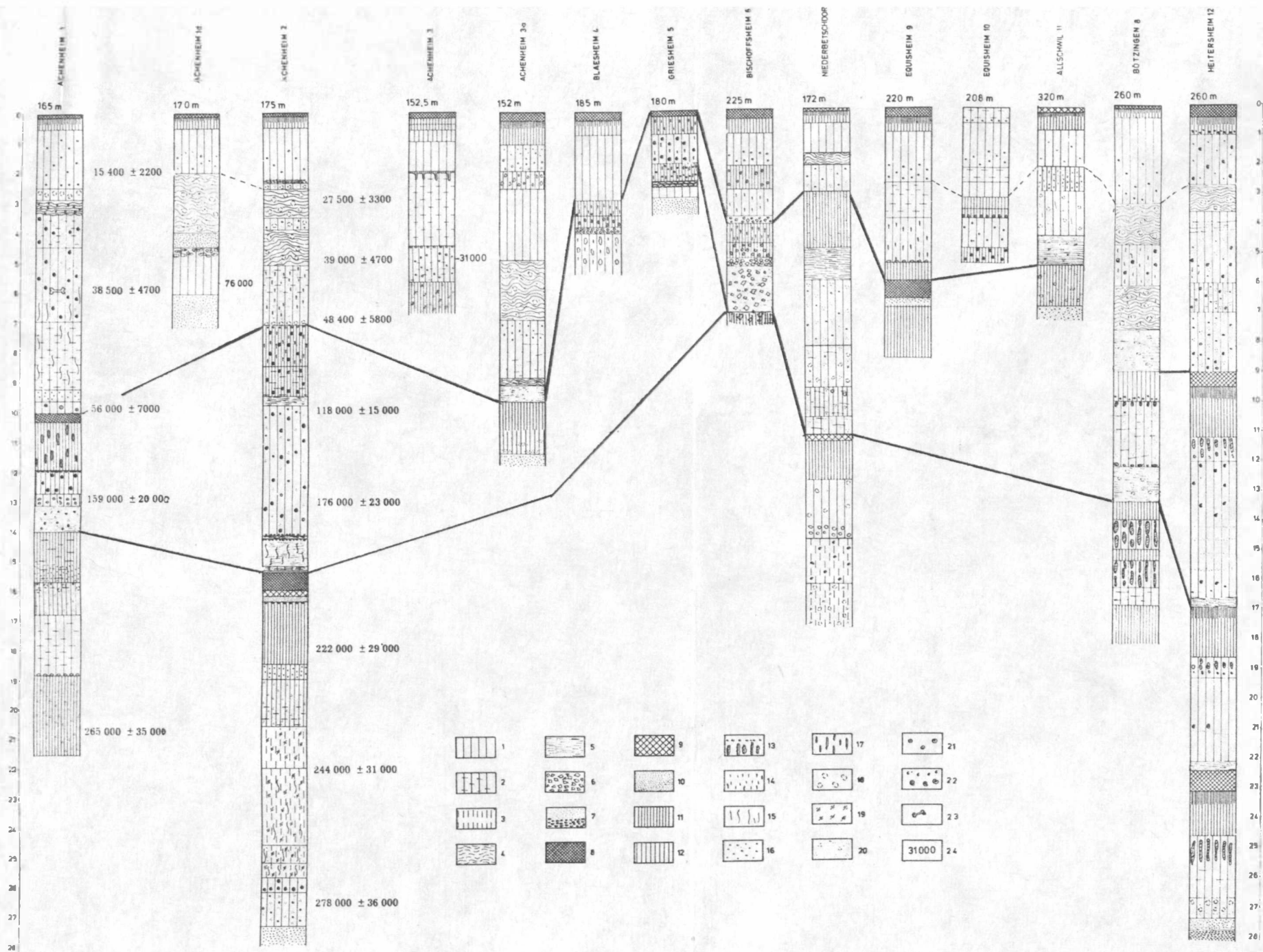


Fig. 14. Coupes lithologiques des loess d'Alsace et de Bade. Lithologie: 1 — loess, 2 — loess lité, 3 — argile, loess décalcifié, 4 — loess de solifluxion, 5 — colluvions, 6 — dépôts de versant, grèzes litées, 7 — sables et graviers fluviaux; Processus et sols: 8 — chernozem, 9 — humus, 10 — horizon lessivé, 11 — sol brun, horizon B_{t1} , 12 — sol brun, horizon B_{t2} , 13 — concrétions de carbonates, 14 — concrétions de carbonates tubulaires post-racines, 15 — pseudomycelia, 16 — charbons, 17 — ancien réseau de racines, 18 — loess gléyifié, 19 — taches rouilles concrétions ferro-manganésiques, 20 — fines concrétions ferro-manganésiques, 21 — taupinière, 22 — faune de mollusques, 23 — bois de renne, 24 — âge absolu BP

Profile litologiczne lessów Alzacji i Badenu. Osady: 1 — less, 2 — less smugowany, 3 — glina, less odwapniony, 4 — less soliflukcyjny, 5 — deluwia, 6 — osady stokowe z gruzem, 7 — piaski i żwiry rzeczne. Gleby i procesy glebowe: 8 — czarnoziem, 9 — humus, 10 — poziom lessiwé, 11 — poziom brunatnienia B_{t1} , 12 — poziom brunatnienia B_{t2} , 13 — konkrecje węglanowe, 14 — konkrecje węglanowe rurkowe, 15 — pseudomycelia, 16 — węgielki, 17 — kanałiki pokorzeniowe wypełnione lessiem, 18 — ślady oglejania, 19 — konkrecje żelaziste, 20 — konkrecje manganowe, 21 — kretowiny, 22 — fauna ślimaków, 23 — kość renifera, 24 — datowanie bezwzględne, lat BP

La composition quantitative des minéraux lourds se présente comme suit:

pour les loess récents:

AMPH > EPI — ZIR — TOUR — GRE — CHL — BIO

pour les loess anciens:

EPI = ZIR > GRE — TOUR — RUT — AMPH

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 régions de la France on a constaté également une haute teneur en épidote et amphibole. Le zircon et la tourmaline se présentent souvent en quantités importantes dans les loess de la Normandie et de la Bretagne (Lautridou 1968, Coutard et al. 1970, Monnier 1974). La variabilité de la composition en minéraux lourds est due aux différences des terrains d'alimentation en tant que source du loess, ou aux processus d'altération. L'action de l'altération se manifeste dans les loess par de changements de proportions des groupes de minéraux transparents, dûs à leur résistance différentielle à l'altération mécanique ou chimique.

On a caractérisé l'intensité des variations de la composition des minéraux sous l'action de l'altération par l'indice de l'altération $\frac{\text{zircon} + \text{tourmaline}}{\text{hornblende}}$, qui s'élève à 0,2—14,0 dans le profil d'Achenheim 2. Dans le loess récent, il s'élève à 2,0—3,0. Dans le loess ancien, le zircon et la tourmaline prédominent sur la hornblende et 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 (Buraczynski 1978, 1980). Les loess du Fossé rhénan montrent une différenciation spatiale du degré d'altération des minéraux, ce qui indique des terrains d'alimentation diverse.

STRATIGRAPHIE DES LOESS ET DES PALÉOSOLS

En même temps que le développement des études paléopédologiques, on remarque un progrès dans les études stratigraphiques des loess (Bronger 1966, 1981, Jamagne 1971, Jersak 1973, 1976, Smolikova 1972). L'analyse détaillée des paléosols dans les profils d'Achenheim (fig. 14) a permis de définir les types de ces sols, ainsi que de préciser leur rang interstadiaire ou interglaciaire (Buraczynski 1978, 1979, Fouquaire 1978). Le paléosol développé sur le série V de loess joue le rôle fondamental dans la définition de la position stratigraphique des loess. L'importance de son épaisseur, ainsi que l'intensité des processus pédologiques témoignent du développement de ce com-

plexe de sol dans des conditions climatiques et botaniques diverses, qui ont pu avoir lieu uniquement au cours d'une période interglaciaire, et dans le cas précis, au cours de l'interglaciaire le plus récent. Ce complexe de sol portant un caractère pédologique est considéré comme un horizon-répère dans la stratigraphie des loess (Fink 1962, Lieberoth 1964, Veličko et Morozova 1969, Kukla et Koči 1972, Jersak 1973).

Woillard (1975, 1978), en se basant sur l'analyse pollinique de la tourbière de la Grande Pile, située près de Belfort à l'altitude de 330 m,

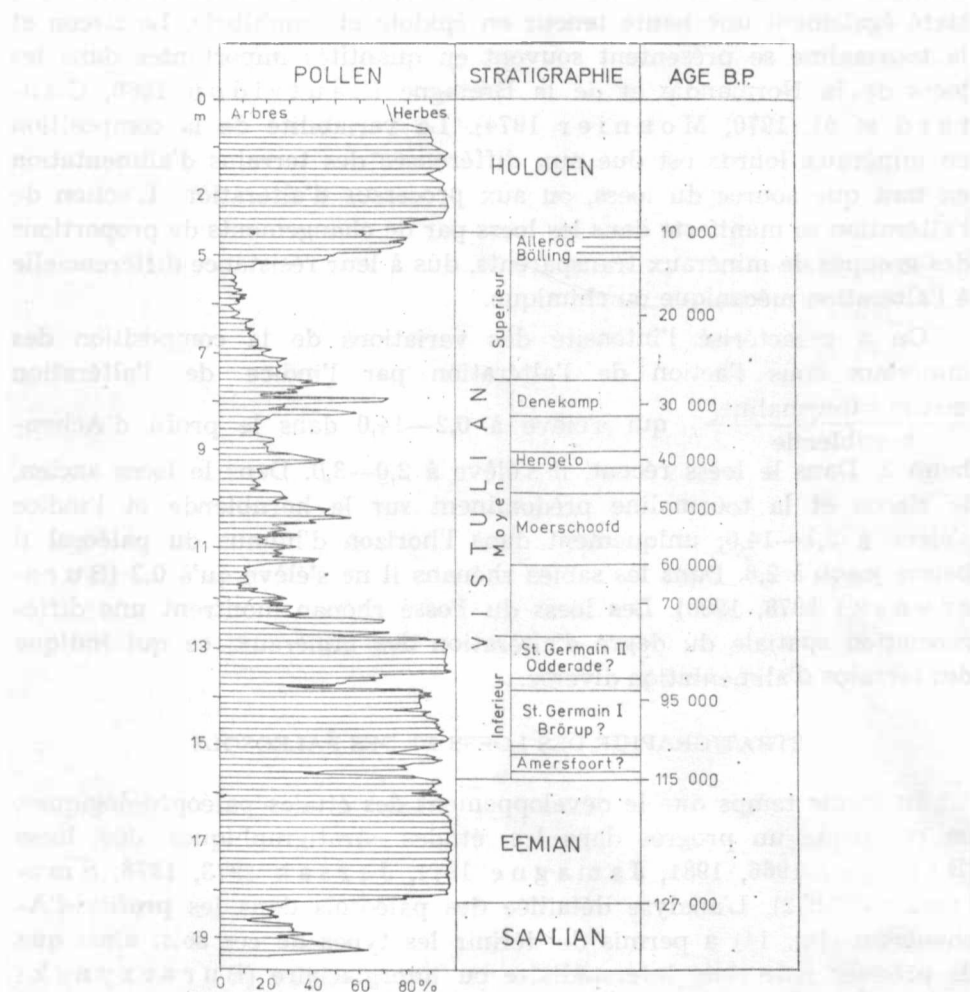


Fig. 15. La séquence pollinique de la tourbière de la Grande Pile (d'après Woillard 1978)

Diagram pyłkowy torfowiska Grande Pile (według Woillard 1978)

a reconstruit l'évolution de la végétation et les conditions climatiques au cours de la période de 140 000 dernières années. La situation des profils d'Alsace aux pieds des Vosges permet d'admettre une ressemblance des conditions climatiques et botaniques présenté par Woillard (fig. 15).

L'interprétation stratigraphique des loess d'Alsace (tab. 4) est basée sur leur datation à l'aide de la méthode de thermoluminescence (TL) et sur de nouvelles opinions concernant les conditions climatiques et végétales, et les datations de la dernière période interglaciaire et du début de la période glaciaire (Kukla, Koči 1972, Kukla et al. 1972, Sancedda et al. 1973, Woillard 1975, 1978, Woillard, Mook 1982, Maruszczak 1980, Buraczyński, Butrym 1984).

La grande différenciation des conditions d'accumulation des loess et de l'évolution des paléosols, enregistrés dans les profils d'Alsace, permet de présenter le développement des loess particulièrement au cours du Riss et du Wurm (tab. 4).

Le loess le plus ancien Mindel n'est pas bien connu en Alsace. Le loess le plus ancien, ainsi que le sol interglaciaire ancien ont été le mieux étudiés dans le pays de Bade, dans les profils de Heitersheim et de Bötzingen (Bronger 1966, Khodary-Eissa 1968). Dans le profil de Heitersheim le sol est bien développé et se présente sous la forme d'un sol brun lessivé ($A_1-B_{t1}-B_{t2}-Ca/C$), développé au-dessous d'un complexe forestier. Le sol du type de Heitersheim, „unterer Heitersheim Boden”, distingué par Bronger (1966) correspond à un horizon pédologique „Kremser Boden” décrit par Fink (1962).

Le loess ancien inférieur du Riss I (310 000—240 000 ans B. P.) se présente sous la forme du loess éolien (série I), bien développé dans le profil d'Achenheim 2. Son âge fut défini à l'aide de TL pour $278\,000 \pm 36\,000$ (Lub-42) ans B. P. Au-dessous on observe un loess argileux décalcifié (série II), daté de $244\,000 \pm 31\,000$ (Lub-41) ans B. P., qui a dû se développer en milieu humide avec d'importantes oscillations de la nappe phréatique. Dans le profil d'Achenheim 1 on trouve sur le même niveau une couche daté de $265\,000 \pm 35\,000$ (Lub-34) ans B. P., qui est tronquée par l'érosion et recouverte par les sables. Dans cet horizon, Fouquière (1978) a observé un sol de toundra peu développé. Dans le profil de Niederbetschdorf, on observe aussi le loess dans le faciès humide. Dans le pays de Bade, il se présente dans le faciès éolien (Bronger 1966).

Le sol interstadiaire du Riss I/II (240 000—190 000 ans B. P.) forme un complexe composé de sol brun forestier et de chernozem ($A_1-A_2-A_3-B_{t1}-B_{t2}-B_{t3}-C$). Il est reconnu dans de nombreux profils d'Alsace (Achenheim 1, 2, Bischoffsheim 6, Niederbetschdorf 7, Equisheim 9), mais on n'en trouve que l'horizon de brunification. Il est le mieux

développé dans le profil d'Achenheim 2 où il forme un complexe pédologique composé du sol brun lessivé, ainsi que de chernozem. L'horizon de brunification atteint 3 m d'épaisseur, une date de $222\,000 \pm 29\,000$ (Lub-40) ans B. P. a été obtenu. Ce sol se caractérise par un horizon lessivé (A_3) bien marqué et un horizon A_1 avec une teneur en humus de 0,8%. Au-dessus du sol brun il y a le chernozem dont la teneur en humus atteint 2,2%. Dans les autres profils, le sol est tronqué et il est recouvert du colluvion.

Le complexe du sol du type d'Achenheim s'est développé dans les conditions climatiques diverses. Le sol brun lessivé correspond à une longue période chaude et humide et le chernozem, à une période froide et sèche. Bronger (1966) distingue dans le pays de Bade un sol portant des traits pareils en le définissant comme sol du type de Riegel. Il correspond au sol interstadaire du complexe pédologique PK IV (Kukla 1969, Smolikova 1972), ainsi qu'au „Boden in Ebersbrunn” distingué par Fink (1962) en Autriche.

Le loess ancien supérieur du Riss II (190 000—127 000 ans B.P.) est bien développé dans les profils d'Achenheim 1, 2, de Bischoffsheim 6 et de Niederbetschdorf 7 où il atteint l'épaisseur de 4 à 7 m (série IV). Il se présente sous la forme d'un loess éolien, carbonaté (20—30%). Le début du stade suivant se manifeste par une action intense des processus de versant, ce qui est prouvé par la présence des couvertures de dépôt de versant de 1 à 2 m d'épaisseur. Dans les profils d'Achenheim, ce sont des limons stratifiés, inclinés jusqu'à 10° et dans le profil de Bischoffsheim, des limons intercalés de grèzes litées. Dans le profil d'Achenheim 2, sa partie inférieure date de $176\,000 \pm 23\,000$ (Lub-39) ans B.P. et la partie supérieure de $118\,000 \pm 15\,000$ (Lub-38) ans B.P. Dans le profil d'Achenheim 1, la même couche date de $159\,000 \pm 20\,000$ (Lub-33) ans B.P.

Le profil 1b a été effectué sur la paroi E—W de la briqueterie (fig. 1), là où Sainty et Thévenin (1978) ont distingué l'horizon archéologique („sol 74”), qu'ils ont daté du Wurm ancien. Pourtant, l'autre profil présenté par ces auteurs, situé sur la paroi S—N (Sainty, Thévenin 1978, fig. 5), démontre que le sol 74 se situe sur une surface d'érosion tronquant un limon à la structure prismatique (horizon E). Cette surface, d'après mon étude, correspond au sol interstadaire du Riss I/II. Il en résulte alors que l'horizon du sol 74 a dû se développer au cours du Riss II.

Le sol interglaciaire de l'Eemien (127 000—116 000 ans B.P.) constitue un complexe de sol répandu dans les loess de la région du Rhin Moyen et il est considéré comme un horizon stratigraphique — repère (Bronger 1966, Buraczyński 1978, 1979, Fouquière

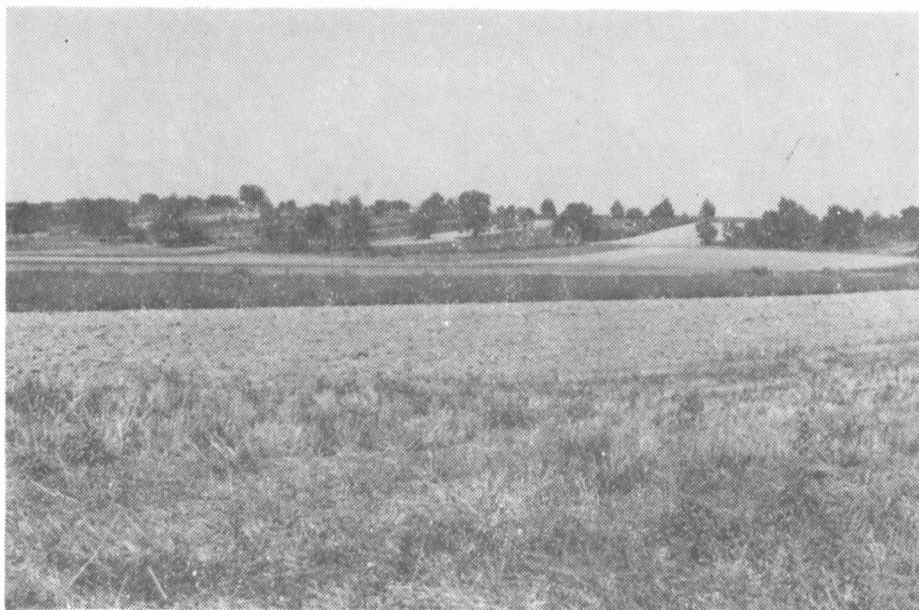


Photo 1

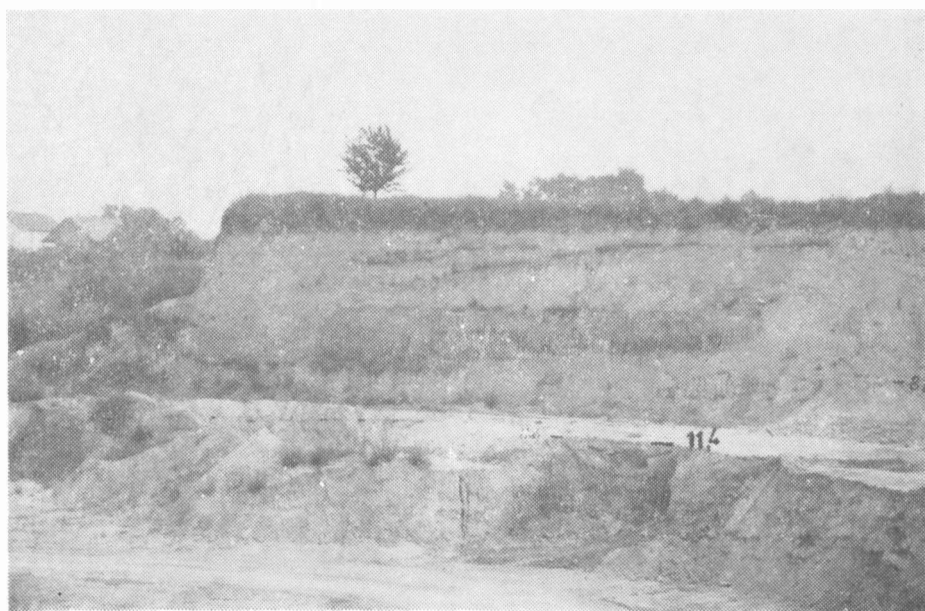


Photo 2



Photo 3

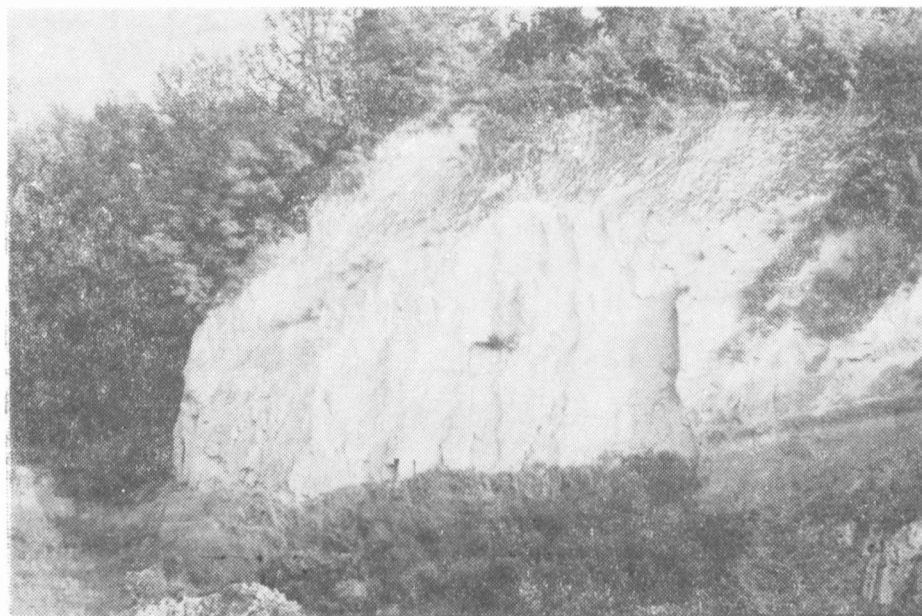


Photo 4

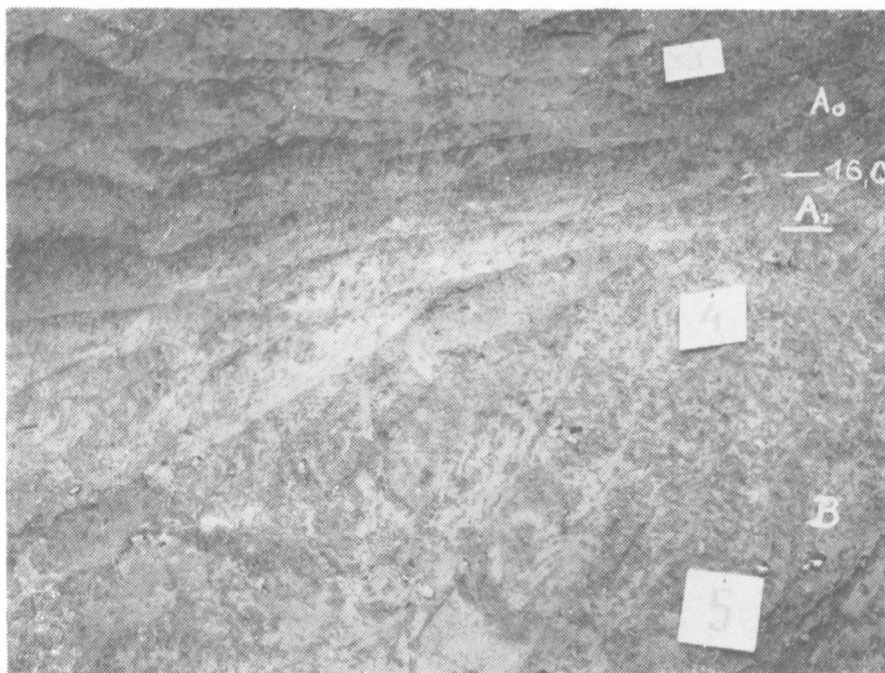


Photo 5

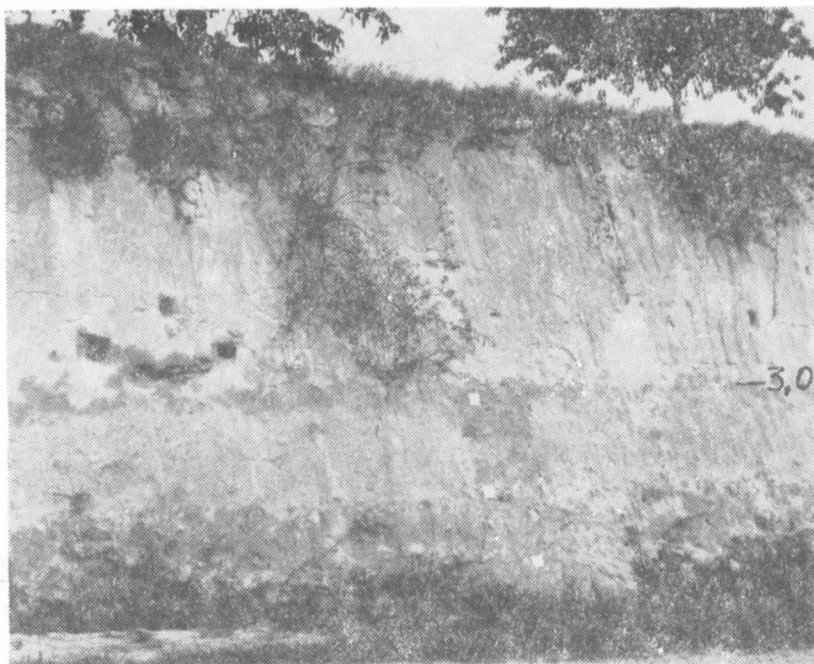


Photo 6



Photo 7



Photo 8



Photo 9



Photo 10

Tab. 4. Stratigraphie des loess d'Alsace
Stratygrafia lessów Alzacji

AGE ABSOLU B.P.	CHRONOLOGIE			DATATION THERMOLUMINESCENCE	PROCESSUS ET DEPOTS	VEGETATION (Vuillard 1978)	CLIMAT				
	COURBE CLIMATIQUE (Kukla et al. 1972) Froid Chaud										
10 000	HOLOCENE				Sol brun A ₁ —(B)—C	Forêt boréale — <i>Betula</i> , <i>Pinus</i>	Tempéré Réchauffement				
20 000	VISTULIAN	W III	Alleröd Bölling		15 400 ± 2200 (Prósz)	Accumulation du loess „aride”	Steppe — <i>Gramineae</i> , <i>Artemisia</i>	Très froid			
30 000			WURM II		Denekamp	27 500 ± 3300 (Lub-35)	Sol de toundra à pseudo-gléy, cryoturbations	Toundra-parc — <i>Pinus</i> , <i>Betula</i>	Réchauffement humide		
40 000		Hengelo			39 000 ± 4700 (Lub-36)	Sol brun arctique, gléyifié,	Steppe — <i>Gramineae</i> , <i>Artemisia</i> Forêt — <i>Betula</i> , <i>Pinus</i>	Réchauffement Froid			
50 000		Meerschootd			48 400 ± 5800 (Lub-37)	Accumulation du loess „humide”	Steppe — <i>Gramineae</i> , <i>Artemisia</i> avec forêt vide — <i>Betula</i> , <i>Pinus</i>	Réchauffement Froid			
60 000					WURM I	Odderade	56 000 ± 7000 (Lub-32)	Accumulation du loess „aride”	Steppe — <i>Gramineae</i> , <i>Artemisia</i>	Réchauffement	
70 000							Brörup	Amersfoort	Sol (?)	Forêt boréale — <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> Forêt tempérée — <i>Quercetum</i> mix. Forêt boréale — <i>Betula</i> , <i>Pinus</i>	Tempéré Chaud Tempéré
80 000										Faible accumulation du loess Colluvions	Steppe — <i>Gramineae</i> , <i>Artemisia</i>
90 000		Chernozem									Forêt boreale — <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> Forêt tempérée — <i>Quercetum</i> mix., <i>Carpinus</i> , <i>Abies</i>
100 000					Steppe — <i>Graminée</i>	Froid					
110 000			Sol brun lessivé A—B ₁₁ —B ₁₂ —C		Forêt boréale — <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> Forêt tempérée — <i>Quercetum</i> mix., <i>Carpinus</i> , <i>Abies</i>	Tempéré Chaud humide					
120 000	EEMIAN R-W										
130 000	S A L I A N	RISS II			118 000 ± 15 000 (Lub-38)		Forêt subarctique — <i>Betula</i> <i>Juniperus</i>	Froid humide			
150 000					159 000 ± 20 000 (Lub-33)	Accumulation du loess „aride” Processus intenses de versant	Steppe — <i>Cyperaceae</i> , <i>Gramineae</i>	Très froid Tempéré			
190 000		RISS I/II	RISS I		176 000 ± 23 000 (Lub-39)	Colluvions Chernozem Sol brun lessivé A ₁ —A ₂ —B ₁₁ —B ₁₂ —C type Achenheim	Steppe et steppe boisée Forêt tempérée Forêt boreale	Chaud humide			
240 000				222 000 ± 29 000 (Lub-40)							
260 000	HOLSTEINIAN	MINDEL-RISS	244 000 ± 31 000 (Lub-41)	Accumulation du loess „humide”	Steppe boisée	Froid humide					
280 000			265 000 ± 35 000 (Lub-34)	Accumulation du loess „aride”	Steppe froide	Froid sec					
310 000			278 000 ± 36 000 (Lub-42)								
370 000	ELSTERIAN	MINDEL		Colluvions Sol brun lessivé A ₁ —B ₁₁ —B ₁₂ —Ca/C type Heitersheim	Forêt tempérée	Tempéré Chaud humide					
500 000				Alluvions rhénanes							

J. Buraczyński, 1983

J. Buraczyński, 1983

1978, Heim et al. 1982, Puisségur 1978). Il se présente sous la forme du sol brun forestier ($A_1-B_{11}-B_{12}-C$) développé sur la série V de loess. Il est le mieux conservé dans le profil d'Achenheim 1; dans d'autres profils il est érodé et dépourvu de l'horizon d'humus. Son horizon humifère gris contient de nombreux charbons de bois et l'horizon de brunification argileux (2—3 m) se caractérise par une structure polyédrique. Dans ce dernier on trouve de nombreux petits canaux post-racines, remplis par le loess ou d'humus, ce qui explique une grande teneur en humus (0,6%).

C'est Woillard (1978) qui a décrit les conditions climatiques et végétales de l'évolution du complexe pédologique dans la région du Rhin Moyen. Elle confirme l'opinion qui place cette évolution dans les conditions favorables d'interglaciaire et de début glaciaire (Fink 1962, Bastin 1970, Jersak 1973, 1976, Smolikova 1972). Selon ces études le pédo-complexe s'est développé sous forêt tempérée et ensuite sous forêt boréale avec de courtes interruptions steppiques, pendant la période correspondant à l'interglaciaire éémien et aux interstades d'Amersfoort-Brörup-Odderade (fig. 15, tab. 4). L'analyse du profil confirme l'évolution continue du sol, malgré les changements des conditions climatiques.

Les sols portant les traits semblables à cités, sont connus de nombreuses régions de loess en Europe. En Autriche, ils sont connus comme Stülfried A (Fink 1962), dans le pays de Bade, comme le sol supérieur de Heitersheim (Bronger 1966), en Belgique et en France, comme le sol Rocourt (Gullentops 1954, Paeppe 1967, Bastin 1970, Lautridou et Sommé 1974, Sommé 1971), en Tchécoslovaquie, comme le complexe du sol PK III (Kukla 1969, Smolikova 1972) et sur la Plaine Russe, comme le complexe du sol de Mezin (Veličko, Morozova 1969). On considère que le sol brun lessivé s'est développé dans un milieu humide et chaud et le chernozem dans un milieu sec (Brunacker 1964, Fink 1966, Ložek 1966, Jersak 1973, 1976, Mojski 1965, Veličko, Morozova 1972, Wojtanowicz, Buraczyński 1975). Les études de Woillard (1975, 1978), documentant les conditions climato-végétales de l'évolution du sol témoignent en faveur de l'opinion que le complexe correspond à la période interglaciaire et celle du début du glaciaire, avec les interstades d'Amersfoort et Brörup.

Le loess récent inférieur du Vistulien I, (116 000—76 000 ans B.P.) n'a pas été observé dans les profils analysés. Dans l'horizon qui lui correspond, on trouve des vestiges d'une évolution continue du sol interglaciaire qui s'est poursuivie au cours des interstades d'Amersfoort-Brörup-Odderade. La position stratigraphiques des loess du Vistulien II (48 000 $\pm$ 5 800 (Lub-37) et 56 000 $\pm$ 7 000 (Lub-32) ans B.P.)

qui repose directement sur le complexe du sol décrit ci-dessus, est en faveur de cette opinion. Peut-être des études détaillées ultérieures des profils d'Alsace permettront de constater le loess récent inférieur, qui est bien développé dans les autres régions (Jersak 1976, Maruszczak 1980).

Le loess récent moyen du Vistulien II (76 000—28 000 ans B.P.) est un dépôt éolien poreux, avec une teneur en carbonates de 25% et il est lié à un climat sec et rude. Ce „loess aride” s'est formé au cours de la période de froid maximal qui a régné de 70 000 à 62 000 ans B.P. (Woillard 1978). L'adoucissement léger du climat en conditions océaniques se marquait par les sols d'interstades Hengelo (42 000—39 000 ans B.P.) et Denekamp (33 000—28 000 ans B.P.). Un faible adoucissement dû à l'océanisation du climat n'a pas liquidé de pergélisol qui a été présent au cours de toute la période.

Dans les profils d'Achenheim 1 et 2, ainsi que de Niederbetschdorf les sols interstades Hengelo et Denekamp sont représentés par un loess gris, stratifié et perturbé par la solifluxion. Il est fortement gléyifié, avec de couches d'alias au sommet. C'est un sol à pseudoglé de la toundra. Dans le profil de Bischoffsheim il y a un horizon de brunification marqué par un abaissement net de la teneur en carbonates et de la teneur en humus de 0,7 à 0,9%. Le profil du sol se compose des horizons A—(B)—C, l'horizon de brunification étant un élément typique du sol arctique brun. Dans le profil d'Achenheim 2, le sol Hengelo date de $39\,000 \pm 4\,700$ (Lub-36) ans B. P. et celui de Denekamp de $27\,500 \pm 3\,300$ (Lub-35) ans B.P. Ces deux horizons sont séparés par une mince couche du loess éolien.

Les loess récent supérieur du Vistulien III (28 000—10 000 ans B.P.) forme une couche d'épaisseur de 2—3 m. C'est un loess éolien poreux, très carbonaté (30—40%). Son accumulation a eu lieu lors de la période du maximum du froid entre 20 000 et 12 000 B.P.

Au cours du Tardiglaciaire dans la période de Bölling-Alleröd daté de 11 170—10 175 ans B.P., il y a eu un rapide adoucissement du climat et un développement des forêts (Woillard, Mook 1982). Un sol brun A_1 — B_1 — B_2 —C qui a commencé à se former dans cette période se développe jusqu'à nos jours sans des interruptions nettes.

BIBLIOGRAPHIE

- Alimen H. 1967, The Quaternary of France. In: The Quaternary. Ed. Rankama, vol. 2.
- Andrae A. 1884, Der Diluvialsand von Hangenbieten im Unter-Elsass. Abhandlungen zur geol. Spezialkarte von Elsass-Lothringen, 4, 2, p. 91.

- Bastin B. 1970, La chronostratigraphie du Wurm esn Belgique, à la lumière de la palynologie des loess et limons. Ann. Soc. géol. Belgique, 93/III.
- Bastin B. 1971, Recherches sur l'évolution du peuplement végétal en Belgique durant la glaciation de Würm. Acta Geogr. Lovan. v. 9.
- Blanch J-P., Wacquant J-P. 1971, Contribution à l'étude des formations loessiques d'Equisheim (Sud-Ouest de Colmar, Haut-Rhin, France). Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 24/2—3.
- Bordes F. 1969, Le loess en France. Bull. AFEQ, suppl. Paris.
- Bronger A. 1966, Löss, ihre Verbraunungszonen und fossilen Böden. Ein Beitrag zur Stratigraphie des oberen Pleistozäns in Südbaden. Schrift. Geogr. Inst. Univ. Kiel, 24, 2.
- Buraczyński J. 1971, Lessy okolic Strasburga, Francja (Les loess des environs de Strasbourg). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sec. B, vol. 26, Lublin.
- Buraczyński J. 1978, Litologia i stratygrafia lessów Niziny Środkowego Renu. Uniwersytet M. Curie-Skłodowskiej, Wyd. Biol. i Nauk o Ziemi, Lublin.
- Buraczyński J. 1979, Caractéristiques lithologiques des loess d'Achenheim (près Strasbourg, France). Acta Geol. Ac. Sc. Hungaricae, 22, Budapest.
- Buraczyński J. 1980, Heavy Mineral composition of the Middle Rhine Lowland Loesses. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sec. B, vol. 32/33, Lublin.
- Buraczyński J., Butrym J. 1983, La datation des loess du profil d'Achenheim (Alsace) à l'aide de la méthode de thermoluminescence (Thermoluminescence dating of the Loess Profiles of Achenheim — Alsace). Bulletin AFEQ, Paris (sous presse).
- Cailleux A. 1954, Les loess et limons éoliens en France. Bull. S. C. Géol. Fr. 51, 240, Paris.
- Commont V. 1912, Note sur le Quaternaire du N de la France, de la Vallée du Rhin et de la Belgique. Ann. Soc. Géol. Nord., 41.
- Coutard J-P., Ozouf J. C., Pellerin J. 1970, Les loess de la Campagne de Caen. Bull. Centre Geomorph. 8, Caen.
- Dubois G. 1931, Les principaux types de limons en France septentrionale. Rev. Scientifique du 11 juillet.
- Dubois G., Dubois P. 1955, La géologie de l'Alsace. Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr. 13, Strasbourg.
- Duchaufour P. 1964, Evolution de l'aluminium et du fer complexes par la matière organique dans certains sols. Science du Sol, Nancy.
- Fedoroff N. 1969, Caractères micromorphologiques des pédogenèses quaternaires en France. Etudes sur la Quaternaire dans le Monde. VIII Congr. INQUA, vol. 1, Paris.
- Fink J. 1962, Die gliederung des Jungpleistozäns in Österreich. Mitteilungen der Geol. Gesell. in Wien, 54, B, 1.
- Fink J. 1966, Zamietki k woprosu o lioessie. Sowriemiennyj i czetwierticznyj kontinentalnyj litogieniez. Moskwa
- Fouquiere J. 1978, Contribution à l'étude lithostratigraphique des loess d'Achenheim (loessière Hurst). Recherches Géogr. à Strasbourg No 7.
- Franc de Ferrière J. 1937, Géologie et pédologie. Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace. Strasbourg.
- Galluser W. A. 1967, Die naturräumliche Zonierung der Basler Region. Regio Basiliensis, 8/2, Basel.
- Geissert F., Marnot-Houdayer J., Menillet F., Vogt H. 1978, Les sables gris du Quaternaire ancien en Basse-Alsace. Recherches Géogr. à Strasbourg 7.

- Gouda G. H. 1962, Untersuchungen an Lössen der Nordschweiz. Geogr. Helvetica, 17, 3, Bern.
- Grahmann R. 1932, Der Löss in Europa. Mitteil. der Gesellschaft für Erdkundler Leipzig, 51.
- Guillien Y. 1968, Chronostratigraphie de l'Europe würmienne. Bull. AFEQ, 3.
- Hädrich F. 1975, Zur Methodik der Lössdifferenzierung auf der Grundlage der Carbonat-verteilung. Eiszeitalter u. Gegenwart, 26.
- Hammen T., Maarleveld G., Vogel I. C., Zagvijn V. H. 1967, Stratigraphy, Climatic Succession and Radiocarbon Dating of the Last Glaciation in the Netherlands. Geologie en Mijnbouw, 46, 3, Delft.
- Heim J., Lautridou J. P., Maucorps J., Puisségure J. J., Sommé J., Thévenin A. 1982, Achenheim: une séquence-type des loess du Pléistocène moyen et supérieur. Bull. AFEQ, Paris.
- Jamagne M. 1971, Sols et paléosols sur loess dans le Nord de la France. Etudes sur le Quatern. dans le Monde — VIII Congr. INQUA, vol. 1, Paris.
- Jamagne M., Mathieu C. 1971, Contribution à l'étude de la stratigraphie des loess dans le N-E du Bassin de Paris. Bull. AFEQ, 8, Paris.
- Jersak J. 1973, Litologia i stratygrafia lessu wyżyn Południowej Polski (Lithology and Stratigraphy of the Loess on the southern Polish Uplands). Acta Geogr. Lodz., 32, Łódź.
- Jersak J. 1976, Charakter gleb kopalnych w lessach i ich znaczenie paleogeograficzne (Nature of Fossil Soils and Their Paleogeographic and Stratigraphic Implications). Biuletyn IG, 297, Warszawa.
- Juillard E. 1949, Une carte des formes du relief dans la plaine d'Alsace-Bade. L'information Geogr.
- Khodary-Eissa O. 1968, Feinstratigraphische und pedologische Untersuchungen an Lössaufschlüssen im Kaiserstuhl (Südbaden). Freiburger Bodenkundliche Abhand. 2. Freiburg in Breigen.
- Kukla J. 1969, Die zyklische Entricklung und die absolute Datierung der Löss-Serien. Perigl. Löss Paläolit. Tschechoslov. Tschech. Akad. Wiss. Geogr. Inst. Brno.
- Kukla J., Koči A. 1972, End of the Last Interglacial in the Loess Record. Quatern. Res. 2.
- Kukla J., Kukla H. 1972, Insolation Regime of interglacials. Quatern. Res. 2.
- Kukla J., Matthews R. K., Mitchell J. M. 1972, Guest editorial: The end of the Present Interglacial. Quatern. Res. 2.
- Lautridou J-P. 1968, Les loess de Saint-Romain et de Mesnil-Esnard (Pays de Caux). Bull. Centre Geomorph. 2. Caen.
- Lautridou J-P., Sommé J. 1974, Les loess les provinces climato-sédimentaires du Pléistocène supérieur dans le Nord-Ouest de la France. Essai de corrélation entre le Nord et le Normandie. Bull. AFEQ, 10.
- Ložek W. 1966, Liossy i liossowidnyje porody Czechosłowakii (Loesses et les formations loessoides de la Tchecoslovaquie). Sowriemiennyj i czetwierticznyj kontinentalnyj litogieniez. (Izd. Nauka, A.N. SSSR). Moskwa.
- Macoun J. 1969, Główny osobiennosti rasprostranienija i strojenija liossowoj tołszczy. Lioss, pierigl., paleolit na terrytorii sriedniej i wostocznoj Jewropy.
- Marnot-Houdayer J., Thévenin A., Vogt H. 1978, L'importance géologique et géomorphologique du site d'Achenheim. Recherches Géographiques à Strasbourg 7.

- Maruszczak H. 1980, Stratigraphy and Chronology of the Vistulian Loess in Poland. Quaternary Studies in Poland, 2, Warszawa.
- Mazenot G. 1963, Recherches malacologiques sur les loess et les complexes les loess et lehms d'Achenheim. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr. 16, Strasbourg.
- Monnier J. P. 1974, Les dépôts pleistocènes de la région de Saint-Brienc. Bull. Soc. Géol. minéral. Bretagne, C, 6, 1, Rennes.
- Morozova T. D. 1969, Les sols fossiles du pléistocène supérieur en Europe Centrale et Orientale. VIII Congr. INQUA, Paris. Moskva.
- Paeppe R. 1969, Les unités litho-stratigraphiques du pléistocène supérieur de la Belgique. Bulletin AFEQ, suppl. Paris.
- Panizza M. 1970, Geomorfologia del territorio di Mundolsheim, in Alsazia. Rivista Geogr. Italiana, 77, 3, Firenze.
- Puisségur J. J. 1965, La terrasse de Schiltigheim (Alsace). Etude stratigraphique et malacologique. Bull. AFEQ, 2, Paris.
- Puisségur J. J. 1978, Les mollusques des séries loessiques à Achenheim. Recherches Géogr. à Strasbourg 7.
- Rassai G. 1971, Feinstratigraphische Untersuchungen der Lössablagerungen des Gebietes un Hangenbieten südwestlich von Strassburg in Elsass. Quartärz, Bd. 22.
- Sainty J., Thévenin A. 1978, Le sol 74. Recherches Géographiques à Strasbourg 7.
- Schönhals E. 1953, Gesetz-mässigkeiten im Feinbau von Talrandlössen mit Bemerkungen über die Entstehung des Lösses. Eiszeitalter u. Gegenwart, Bd. 3, Öhringen.
- Schumacher E. 1890, Die Bildung und der Aufbau der oberrheinischen Tieflandes. Mitt. Comm. Geol. Landes-Untersuchung von Elsass-Lothringen. Bd. 2, n. 3, Strassburg.
- Schumacher E. 1900, Excursion 9, Strassburg, Achenheim, Hangenbieten, Lingolsheim, Strassburg. v. Geologischer Führer durch das Elsass. Berlin.
- Schumacher E. 1914, Achenheim als geologisch-prähistorische Station. Die Vogesen, 8.
- Semmel A. 1969, Stratigraphie du loess dans les Hess méridionales et rhénanes. Bull. AFEQ, suppl. Paris.
- Smolikova L. 1972, Genesis of Fossil Soil Types in the Loess Series of Czechoslovakia. Acta Univ. Carolinae.
- Théobald N. 1948, Carte de la base des formations alluviales dans le Sud du fossé rhénan. Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr. 19, Strasbourg.
- Théobald N. 1955, Les alluvions anciennes au S de la Bruche et aux environs d'Obernai. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr. 8, 1.
- Théobald N. 1969, Chronologie des dépôts quaternaires le long de la bordure méridionale des Vosges. Ann. Sci. Univ. Besançon, géol. 6. Besançon.
- Thévenin A. 1972, Du paléolithique ancien au Néolithique dans l'Est de la France. Revue archéologique de l'Est, 23, 3—4.
- Thévenin A. 1976, Civilisations paléolithiques et mésolithiques en Alsace. In: La Préhistoire française, I. CNRS.
- Velasquez C. 1978, Problèmes géomorphologiques en terrain loessique du Kochersbergerland (entre Truchtersheim et Mundolsheim). Recherches Géogr. à Strasbourg 7.
- Vogt H. 1978, L'agencement des unités géomorphologiques entre le Rhin et les Vosges à la hauteur de Strasbourg. Recherches Géogr. à Strasbourg 7.

- Vogt H., Thévenin A. 1976, Les limons quaternaires et les dépôts de pente en Alsace. In: *Le préhistoire française*, I. CNRS.
- Wernert P. 1957, *Stratigraphie paléontologique et préhistorique des sédiments quaternaires d'Alsace*. Achenheim. Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr. 14, Strasbourg.
- Woillard G. 1978, Grande Pile Peat Bog: A Continuous Pollen Record for the last 140 000 Years. *Quatern. Res.* 9.
- Woillard G. 1978, Végétation et climat des derniers 140 000 ans dans la tourbière de la Grande Pile (NE France). In: *Palaeoecology of Africa* vol. 10/11, E. M. van Zinderen Bakker and J. A. Coetzee, Eds. Balkema, Rotterdam.
- Woillard G., Mook W. G. 1982, Carbon-14 Dates at Grande Pile: Correlation of Land and Sea Chronologies. *Science* 215.
- Wojtanowicz J., Buraczyński J. 1975, Materiały do chronologii bezwzględnej lessów Grzędy Sokalskiej (Materials to the Absolute Chronology of the Loesses of Grzęda Sokalska). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sec. B*, vol. 30/31, Lublin.

DESCRIPTION DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1. La terrasse inférieure Schiltigheim et l'escarpement de la terrasse supérieure de Hangenbieten-Mundolsheim, près d'Achenheim.

Photo 2. Achenheim 1. La paroi W—E de la briqueterie Hurst. Le sol brun lessivé (10,3—12,0 m).

Photo 3. Achenheim 2. Sol brun lessivé tronqué au sommet par l'érosion (7,0 m).

Photo 4. Achenheim 2. Le versant gauche de la vallée de la Bruche. Complexe de sol Riss I/II.

Photo 5. Achenheim 2. Complexe de sol — le chernozem (15,3—16,0 m) sur le sol brun lessivé.

Photo 6. Blaesheim 4. Le profil sur la colline Gloeckelsberg.

Photo 7. Les sables et les graviers avec la couverture de loess près de Griesheim.

Photo 8. Griesheim 5. Sol brun (1,8—2,4 m), au dessous une croûte concrétionnée de carbonates.

Photo 9. Bischoffsheim 6. Le profil sur le versant E de la colline sous-vosgienne.

Photo 10. Equisheim 9. La briqueterie, le sol brun lessivé (5,8—8,4 m).

STRESZCZENIE

W pracy scharakteryzowano rozmieszczenie i litostratygrafię lessów Alzacji na podstawie dziesięciu szczegółowo zbadanych profili. Lessy występują w rowie Renu po zachodniej stronie pasem o szerokości kilkunastu kilometrów wzdłuż Wogezów, a po wschodniej stronie pasem szerokości kilku kilometrów wzdłuż Szwarzwald. W południowej części łączą się one na wyżynie Sundgau (ryc. 1).

Na podstawie cech litologicznych (granulometrii, zawartości węglanów, tlenków żelaza, humusu i minerałów ciężkich) wyróżniono siedem serii lessów, odpowiadających lessom starszym i młodszym. Pod względem granulometrii lessy młodsze (seria VI—VII) zawierają 45—50% frakcji podstawowej (0,01—0,05 mm), lessy starsze górne mają podobną zawartość frakcji 0,01—0,05 i 0,05—0,1 mm, a w lessach star-

szych dolnych wzrasta frakcja ilasta (tab. 1). Lessy starsze są najczęściej bezwęglanowe. Lessy młodsze dolne mają 10–25% węglanów, a młodsze górne do 30%. Zawartość węglanów wskazuje przestrzenne zróżnicowanie, przy czym ilość ich wzrasta w centralnej części rowu Renu. Lessy młodsze górne zawierają 2,5% tlenków żelaza, młodsze dolne 3%. W lessach starszych zawartość ich wzrasta do 4,0–4,5% (tab. 2).

Duże zróżnicowanie wykazuje także zawartość minerałów ciężkich w lessach. Skład jakościowy minerałów ciężkich przeźroczystych przedstawia się następująco: w lessach młodszych: a fibole-epidoty-cyrkon-granat-chloryt-biotyt; w lessach starszych: epidoty-cyrkon-granat-turmalin-rutyl-amfibole.

Stratygrafię lessów Alzacji opracowano na podstawie analizy lessów i gleb kopalnych oraz datowania lessów metodą termoluminescencji. Szczegółową interpretację warunków klimatyczno-roślinnych rozwoju lessów w Vistulianie umożliwiły badania Woillard (1975, 1978) torfowiska Grande Pile, położonego w południowej części Wogezów.

Zbadane profile Alzacji obejmują lessy risckie i wurmskie. Lessy risckie są najlepiej rozwinięte w profilu Achenheim 2, są to lessy starsze dolne i górne. Lessy starsze dolne (Riss I) występują bezpośrednio na piaskach rzecznych reńskich. Reprezentują je lessy eoliczne węglanowe (wiek TL 278 000 $\pm$ 36 000 (Lub-42) lat BP) oraz lessy odwapnione (244 000 $\pm$ 31 000 (Lub-41) lat BP).

Lessy risckie dzieli gleba interstadialna Riss I/II (240 000–190 000 lat BP) tworząca kompleks glebowy, gleby brunatnej lessivé i czarnoziem (A₁–A₁–B_{t1}–B_{t2}–B_{t3}–C). W profilu Achenheim 2 rozwinięta jest gleba leśna z dobrze zaznaczonym poziomem lessivé i poziomem A₁ o zawartości 0,8% humusu. Na niej nałożona jest gleba czarnoziemna o zawartości humusu 2,2%. Wiek TL poziomu brunatnienia wynosi 222 000 $\pm$ 29 000 (Lub-40) lat BP. Kompleks glebowy tworzy glebę typu Achenheim, którego gleba leśna rozwinęła się w klimacie ciepłym i wilgotnym, czarnoziem zaś w klimacie suchym.

Less starszy górny (Riss II) jest lessem eolicznym o miąższości 4–7 m (Achenheim 1, 2, Bischoffsheim 6, Niederbetschdorf 7). Wiek jego w profilu Achenheim 2 wynosi 176 000 $\pm$ 23 000 (Lub-39) i 118 000 $\pm$ 15 000 (Lub-38), a w profilu Achenheim 1 – 159 000 $\pm$ 20 000 (Lub-33) lat BP.

W lessach Alzacji powszechnie występuje gleba interglacialna eemska, która tworzy kompleks gleby brunatnej niekiedy z czarnoziemem (A₁–B₁–B₂–C). W profilu Achenheim 1 jest ona dobrze zachowana. Kompleks glebowy rozwinął się w warunkach lasu liściastego, w klimacie ciepłym i wilgotnym, a następnie w klimacie borealnym z krótkimi przerwami stepowymi. Mimo zmiennych warunków klimatycznych rozwój gleby wskazuje na ciągłość. Warunki klimatyczne na początku glacialu zaznaczyły się natężeniem procesów erozyjnych oraz rozwojem pokryw deluwialnych. Badania Woillard (1975, 1978), dokumentujące warunki klimatyczno-roślinne, przemawiają za rozwojem kompleksu glebowego w okresie interglacialu oraz we wczesnym glacialu, w interstadialach Amersfoort-Brörup-Odderade (ryc. 15, tab. 4).

Lessy młodsze reprezentuje seria lessów węglanowych miąższości 10 m. Less młodszy dolny nie został stwierdzony w Alzacji. Bezpośrednio na kompleksie glebowym leżą lessy młodsze środkowe (Vistulian II), datowane na 48 400 $\pm$ 5800 (Lub-37) i 56 000 $\pm$ 7000 (Lub-32) lat BP. Less młodszy środkowy tworzy less pylasty węglanowy (25–30%) w spągu silnie oglejony. W serii tej występuje gleba tundrowa pseudoglejowa z zaburzeniami kriogenicznymi oraz gleba brunatna arktyczna z interstadialów Hengelo i Denekamp. W profilu Achenheim 2 gleba Hengelo datowana

jest na 39 000 $\pm$ 4700 (Lub-36), a Denekamp na 27 500 $\pm$ 3300 (Lub-35) lat BP. Rozwinęły się one pod wpływem niewielkiej oceanizacji klimatu.

Less młodszy górny, eoliczny o zawartości 30—40% węglanów, akumulowany był w okresie maksimum zimna w latach 20 000—12 000 BP. Na lessie młodszym rozwinęła się gleba brunatna, rozwijająca się bez przerwy od okresu Bölling-Alleröd.

OBJAŚNIENIA FOTOGRAFII

Fot. 1. Terasa niska Schiltigheim i krawędź terasy wyższej Hangenbieten-Mundolsheim, koło Achenheim.

Fot. 2. Achenheim 1. Ściana W—E cegielni Hursta; gleba brunatna *lessivé*.

Fot. 3. Achenheim 2. Gleba brunatna *lessivé* w stropie ścięta erozyjnie (7 m).

Fot. 4. Achenheim 2. Lewe zbocze doliny Bruche. Kompleks glebowy riss I/II.

Fot. 5. Achenheim 2. Kompleks glebowy — czarnoziem (15,3—16,0 m) na glebie brunatnej *lessivé*.

Fot. 6. Blaesheim 4. Profil na wzgórzu Gloeckelsberg.

Fot. 7. Piaski ze żwirami z pokrywą lessową, koło Griesheim.

Fot. 8. Griesheim 5. Gleba brunatna (1,8—2,4 m), poniżej skorupa konkrecji węglanowych.

Fot. 9. Bischoffsheim 6. Profil na zboczu E wzgórza podwogeskiego.

Fot. 10. Equisheim 9. Cegielnia, gleba brunatna *lessivé* (5,8—8,4 m).

РЕЗЮМЕ

В работе схарактеризовано распределение и литостратиграфию Эльзаса опираясь на десяти подробно исследованных профилей. Лессы расположены в грабене Рейна на его западном берегу поясом шириной свыше десяти км вдоль Вогезов, на восточном берегу поясом в несколько км вдоль Шварцвальда. В южной части они соединяются на возвышенности Сундгау (рис. 1).

На основании литологических черт (гранулометрии, содержания карбонатов, описи железа, гумуса и тяжелых минералов) выделены семь серии лессов, соответствующих древним и молодым лессам. В отношении гранулометрии молодые лессы (серия VI—VII) содержат 45—50% основной фракции (0,01—0,05 мм), более древние лессы, верхние имеют аналогичное содержание фракции 0,01—0,05 и 0,05—0,1 мм, но в более древних — нижних растёт содержание фракции ила (табл. 1). Древние лессы обычно лишены карбонатов. Молодые нижние содержат 10—25% карбонатов, а молодые верхние до 30%. Содержание карбонатов проявляет пространственные различия, при этом их количество растёт в центральной части грабена Рейна. Более молодые лессы, верхние содержат 2,5% окиси железа, нижние — 3%. В древних лессах содержание окиси железа растёт до 4,0—4,5% (табл. 2).

Большие различия указывает тоже содержание тяжелых минералов в лессах. Качественный состав прозрачных тяжелых минералов представляется следующим образом: в молодых лессах — амфибол-эпидот-цирконий-гранат-хлорит-биотит; в древних лессах: эпидат-цирконий-гранат-турмалин-рутил-амфибол.

Стратиграфию лессов Эльзаса описано на основании анализа лессов и ископаемых почв, а также датировки лессов методом термолюминесценции. Подробную интерпретацию климато-растительных условий развития лессов во время Вистульяна сделали возможным исследования Woillard (1975, 1978) торфяника Grande Pile, расположенного в южной части Боргезов.

Исследованные профили Эльзаса обнимают лессы Рисса и Вюрма. Рисские лессы лучше всех развиты в профиле Ахенгейм 2, это лессы древние нижние и верхние. Лессы древние нижние (Рисс I) залегают непосредственно на рейнских речных песках. Они представлены золотыми карбонатными лессами (возраст $244\,000 \pm 31\,000$ (Lub-41) лет BP).

Рисские лессы разделяют межстадиальная почва Рисс I/II ($240\,000$ — $190\,000$ лет BP) представляющая почвенный комплекс бурозема лессиве (*lessivé*) и чернозема (A_1 — A_1 — B_{11} — B_{12} — B_{13} —C). В профиле Ахенгейм 2 развита лесная почва с четко проявляющимся горизонтом *lessivé* и горизонтом A_1 содержащим 0,8% гумуса. На ней наложена черноземная почва содержащая 2,2% гумуса. Возраст TL горизонта бурозема составляет $222\,000 \pm 29\,000$ (Lub-40) лет BP. Почвенный комплекс представляет почва типа Ахенгейм, лесная почва которого развивалась в теплом и влажном климате, чернозем же в климате сухом.

Лесс древний верхний (Рисс II) — это золотой лесс мощностью 4—7 м (Ахенгейм 1, 2, Бисхофсгейм 6, Нидербечдорф 7). Возраст профиля Ахенгейм 2, составляет $176\,000 \pm 23\,000$ (Lub 39) и $118\,000 \pm 15\,000$ (Lub-38) а в профиле Ахенгейм 1 — $159\,000 \pm 20\,000$ (Lub-33) лет BP.

В лессах Эльзаса повсеместно наблюдается межледниковая ээмская почва, которая представляет комплекс буроземной почвы иногда с черноземом (A_1 — B_1 — B_2 —C). В профиле Ахенгейм 1 она хорошо сохранилась. Почвенный комплекс развит в условиях лиственных лесов, в климате теплым и влажным, а затем переходящим в бореальный с короткими перерывами степи. Несмотря на изменчивые климатические условия развитие почвы указывает на непрерывность. Климатические условия в начале оледенения отмечены усилением эрозийных процессов и развитием делювиального покрова. Исследования Woillard (1975, 1978), представляющие климато-растительные условия, позволяют поместить развитие почвенного комплекса во время межледниковия и в начале оледенения, в межстадиалах Амерсфорт-Броруп-Оддераде (рис. 15, табл. 4).

Лессы молодые представлены серией карбонатных лессов мощностью в 10 м. Молодой нижний лесс не обнаружен в Эльзасе. Непосредственно на почвенном комплексе залегают молодые средние лессы (Vistulian II), датированные на $48\,400 \pm 5800$ (Lub-37) и $56\,000 \pm 7000$ (Lub-32) лет BP. Молодой средний лесс — это пылеватый карбонатный (25—30%) сильно оглесный у подошвы лесс. В этой серии наблюдается тундровая, псевдоглеевая почва с криогенными нарушениями, а также арктическая буроземная почва из межстадиалов Hengelo и Denekamp. В профиле Ахенгейм 2 почва Hengelo датирована на $39\,000 \pm 4700$ (Lub-36), а Denekamp на $27\,500 \pm 3300$ (Lub-35) лет BP. Они развелись в условиях небольшого океанизма климата.

Лесс молодой верхний, золотой, содержащий 30—40% карбонатов, отличался во время максимума холода во время $20\,000$ — $12\,000$ лет BP. На нем развивалась буроземная почва без перерыва до времени Bölling-Alleröd.

