

BARBARA MANIKOWSKA *

Łódź

ÉTAT DES ETUDES DES PROCESSUS EOLIENS DANS LA REGION DE ŁÓDŹ (POLOGNE CENTRALE)

Abstract

The results of studies on aeolian sediments, forms and processes in the Łódź region during the last 40 years are summarized. Aeolian sediments were described with structural, textural, mineralogical and stratigraphical points of view. Buried soils in dunes were listed and characterized as stratigraphic equivalents of Bölling, Alleröd, Preboreal, Boreal and Atlantic periods. Morphologic effects of wind action in the region were described. The aeolian processes variability in time was analysed using grain abrasion test. Chronology was defined by ^{14}C method.

Dunes and coversands were formed in Late Vistulian in the region since 14 500 years BP. Dune deposition was continued up to Preboreal phase of Holocene with a gap during Alleröd and with decreased intensity during Bölling; coversand accumulation stopped during Alleröd. Early Vistulian was the period of intense wind activity although the typical aeolian deposits of this age are absent. It is proved by the wind abraded grains contribution in the slope, lacustrine and fluvial deposits as well as in the sand filling the frost wedges from this period.

Until Atlantic phase aeolian processes stopped and only local antropogenic influence caused small increase of them during younger Holocene.

L'intérêt à l'activité morphologique du vent date depuis le début des recherches du centre géographique, organisé dans le cadre de l'Université de Łódź, créée après la seconde guerre mondiale. L'étude des processus, des dépôts et des formes éoliennes s'est trouvée à la portée des intérêts concernant la morphogénèse périglaciaire. Cette orientation de recherches a été justifiée de caractère du modelé la région de Łódź, où la morphogénèse périglaciaire du Vistulien s'est superposée à la surface formée par le glacier saalien pendant le stade de la Warta. Le paysage glaciaire fut remanié et enrichi de dépôts et de formes nouvelles auxquelles appartiennent de grands ensembles de dunes.

Dès le début des années 50^{èmes} la connaissance des processus éoliens s'élargissait successivement ce qui s'est exprimé dans tout un nombre de publications. Au fur et à mesure du progrès de la recherche on introduisait de nouvelles méthodes d'analyse qui permettaient de vérifier l'interprétation de certaines observations et révélaient de problèmes nouveaux. Cet article contient un résumé des effets de plus de 40 ans de l'étude du complexe de problèmes concernant l'activité éolienne dans la région de Łódź.

DÉPÔTS ÉOLIENS

SABLES D'ACCUMULATION ÉOLIENNE

Les sables formant des dunes et des couvertures appartiennent aux dépôts éoliens les plus répandus dans la région de Łódź. Ils ont été déposés au Vistulien tardif et ils subissaient souvent l'influence de l'activité humaine à l'Holocène.

* Institut de Géographie Physique et de la Formation de l'Environnement, Université de Łódź, 90-418 Łódź, al. Kościuszki 21, Pologne.

Les traits structuraux des dépôts de dunes, analysés par DYLIKOWA (1958, 1964, 1967) ont permis d'établir la structure tripartite des dunes du Pléistocène tardif. Les séries respectives, séparées de périodes de stagnation, se formaient pendant trois phases: — phase initiale (Dryas inférieur) du développement des couvertures plates, formant actuellement la base des dunes; — phase principale (Dryas moyen), à laquelle correspond la formation de grandes dunes, en général paraboliques, qui ont gardé leur traits morphologiques jusqu'à présent; — phase de la transformation (Dryas supérieur), se manifestant par les processus de déflation et du déplacement partiel des dunes.

La phase correspondant à l'Holocène fut définie comme la phase de destruction des dunes.

Les études postérieures ont permis de constater que la première phase se composait de quelques étapes et que les dunes atteignant quelques mètres d'altitude se formaient déjà à cette époque (MANIKOWSKA 1982a, 1985). De même, on a vérifié l'opinion concernant l'Holocène, où à côté de la destruction des dunes plus anciennes apparaissaient de nouvelles formes des dunes atteignant parfois de dimensions relativement importantes (KRAJEWSKI 1977).

L'épaisseur des dépôts éoliens dans les zones étroites des dunes paraboliques atteint 15 m environ; leurs séries les plus puissantes correspondent à la phase principale. Les dépôts de cette phase s'accumulaient le plus souvent en voie d'aggradation successive des couches du sable sur le versant à l'abri du vent (dunes mouvantes). Ce processus s'enregistrait dans une discordance des angles d'inclinaison des couches: les couches de la série principale sont nettement plus inclinées par rapport au couches de la phase initiale — à faible inclinaison ou même horizontales. Les couches, relativement peu épaisses de la phase de la transformation reposent d'habitude sur les versants des dunes plus anciennes en suivant leurs pentes (fig. 1).

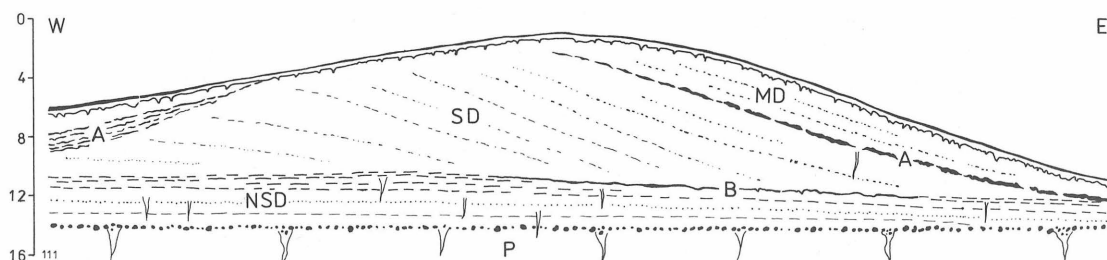


Fig. 1. Schéma de la structure intérieure des dunes tardivistiennes de la région de Łódź

P — substratum disséqué par de grandes fentes de gel, remplies du sable fortement éolisé; NSD — série sablo-limoneuse du Dryas inférieur avec des fentes de gel synchrones; B — sol initial de Bölling; SD — série sableuse du Dryas moyen; A — sol podzolique faiblement développé, de l'Alleröd; du côté ouest — un pédolithe de l'Alleröd; MD — série sableuse du Dryas supérieur

À l'Holocène inférieur la surface stabilisée des dunes n'a subi qu'une transformation peu marquée; sur leurs versants s'accumulait un mince dépôt (plus ou moins 1 m), entièrement remanié par les processus pédologiques. À l'Holocène supérieur les dunes subissaient bien souvent une destruction anthropogène et, par suite, sur les champs de dunes déjà existant, s'accumulaient localement des sédiments éoliens d'une épaisseur considérable (fig. 2).

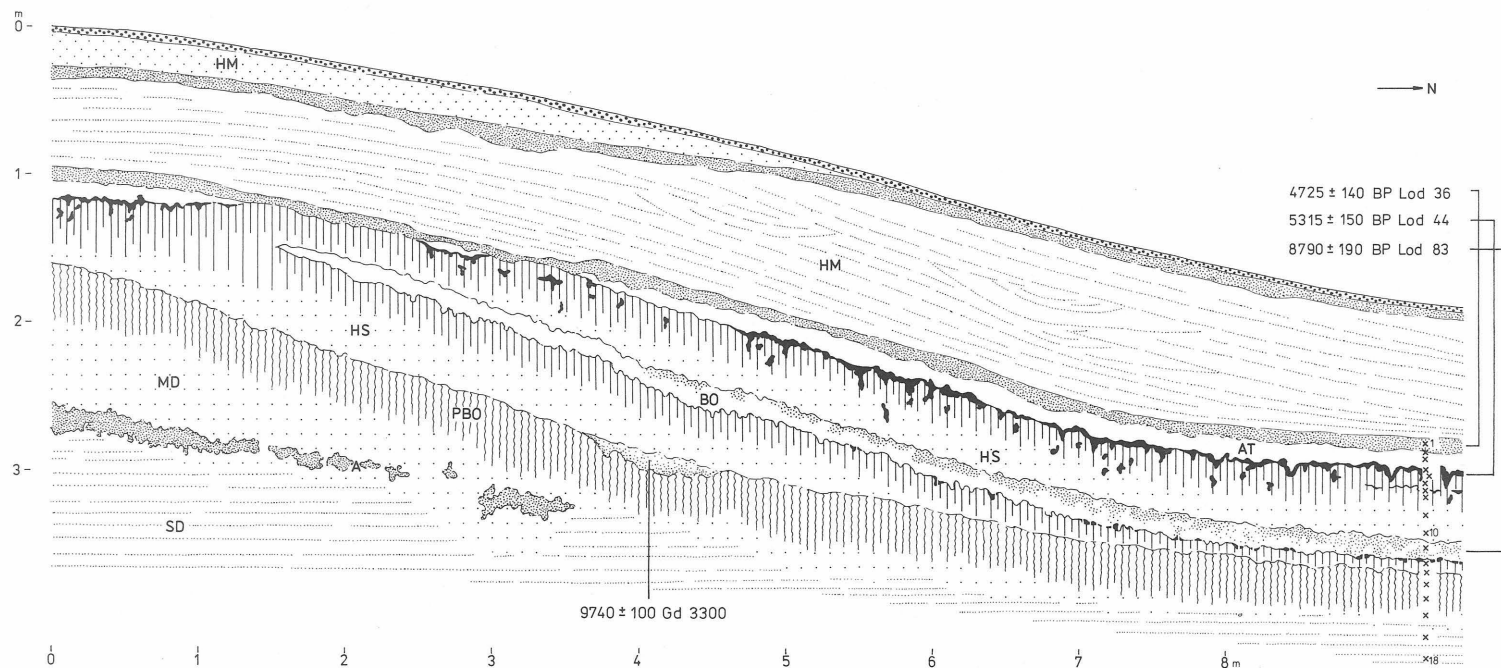


Fig. 2. Complexe de sols et de dépôts sur le versant de la dune à Szynkielów

SD — série sableuse du Dryas inférieur; A — sol de l'Alleröd; MD — série sableuse du Dryas supérieur; complexe des sols et des dépôts (pédolithe) de l'Holocène inférieur: PBO — sol rouillé préboréal, B — sol podzolique boréal, AT — podzol humo-ferrugineux atlantique, HM — sable de l'Holocène supérieur

Les couvertures de sables éoliens du Vistulien tardif, accompagnant d'habitude les dunes, se manifestent aussi sur de vastes terrains dépourvus de dunes. Leur épaisseur atteint en général 1,0–1,5 m. Les couvertures plus minces sont entièrement remaniées par les processus pédologiques holocènes et intégrées aux profils des sols actuels. Les couvertures plus épaisses, atteignant 3–4 m, se sont formées par endroits sur les terrasses.

Les couvertures se composent de minces lamines du sable, en général horizontales, et de lamines du limon formant des intercalations apparaissant à de profondeurs différentes; dans bien des endroits on ne trouve qu'un seul complexe de lamines pulvérulentes. Aux zones du contact des couvertures et des dunes, les couvertures correspondent aux dépôts de la phase initiale et principale. En général les dépôts de dunes dûs à la phase du transformation, ne dépassent pas le voisinage le plus proche des dunes ce qui paraît prouver que l'accumulation des couvertures s'est terminée ou qu'elle a été considérablement limitée, vers la fin du Dryas moyen.

Les dépôts du Vistulien tardif manifestent de traces des processus dûs au pergélisol, sous la forme des fentes de la contraction thermique (photo 1, 2). Ce sont de structures laissées après la fonte des coins de glace, remplies du matériel de leur voisinage, définies comme structures à remplissage primaire de glace (DYLIK 1963) ou structures à remplissage secondaire (GOŹDZIK 1973). Les déformations des dépôts peu marquées prouvent que le contenu de la glace y était peu important; dans bien des cas, c'étaient probablement de fentes singulières d'une année, dans lesquelles il n'y avait pas de glace. Ces fentes se sont pourtant développées en permanence au cours du Dryas inférieur, car elles apparaissent par étages dans les séries de dunes de cet âge, ce qui atteste leur évolution synchrone à celle des dépôts. Dans les dépôts du Dryas moyen ces fentes ne se manifestent que très rarement et on les trouve dans les positions topographiques relativement plus basses qui assuraient l'humidité suffisante du sol. Dans les séries du Dryas supérieur on ne les trouve nulle part (MANIKOWSKA 1985).

La granulométrie des dépôts éoliens du Vistulien tardif (DYLIKOWA 1958, 1964, 1967; GOŹDZIK 1980 a; KRAJEWSKI 1977; MANIKOWSKA 1985; MAROSIK 1988) témoigne qu'ils se composent en majorité de sables du calibre moyen et fin. Le contenu du limon ou de sable grossier n'a pas de plus grande importance, et les graviers fins n'apparaissent que sporadiquement (fig. 3); les éléments plus grands, observés rarement, atteignent 1 cm environ.

Les séries de dunes correspondant aux phases respectives, révèlent une certaine différenciation des traits granulométriques; la série du Dryas inférieur possède de nombreuses intercalations contenant une quantité remarquable de limon; la série du Dryas moyen se distingue par le contenu élevé du sable grossier; la série du Dryas supérieur se compose du sable le plus homogène — à grains fins et moyens.

Dans l'ensemble, les dépôts en question sont plus ou moins modérément triés. Les couches pulvérulentes, généralement mal triées, présentent une bimodalité de la repartition des dimensions des éléments ce qui atteste deux façons du transport éolien — en suspension et par saltation ou par l'entraînement. Donc, ces couches se sont formées par suite du transport du matériel du type de loess que se mélangeait au matériel sableux local. La présence des éléments

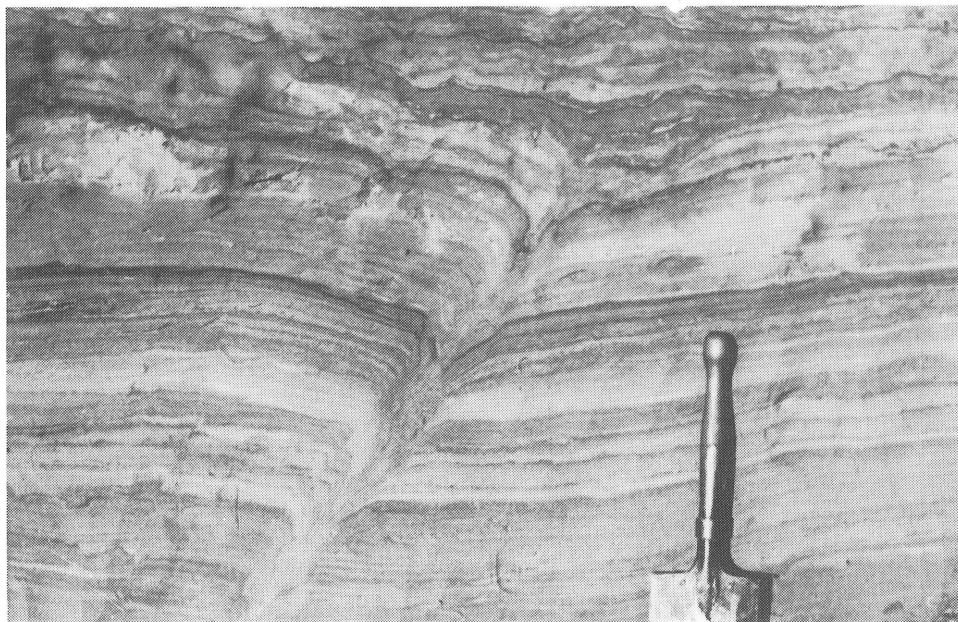


Photo 1. Lubiaszów, Fente de gel à remplissage secondaire dans les dépôts de dune du Dryas inférieur

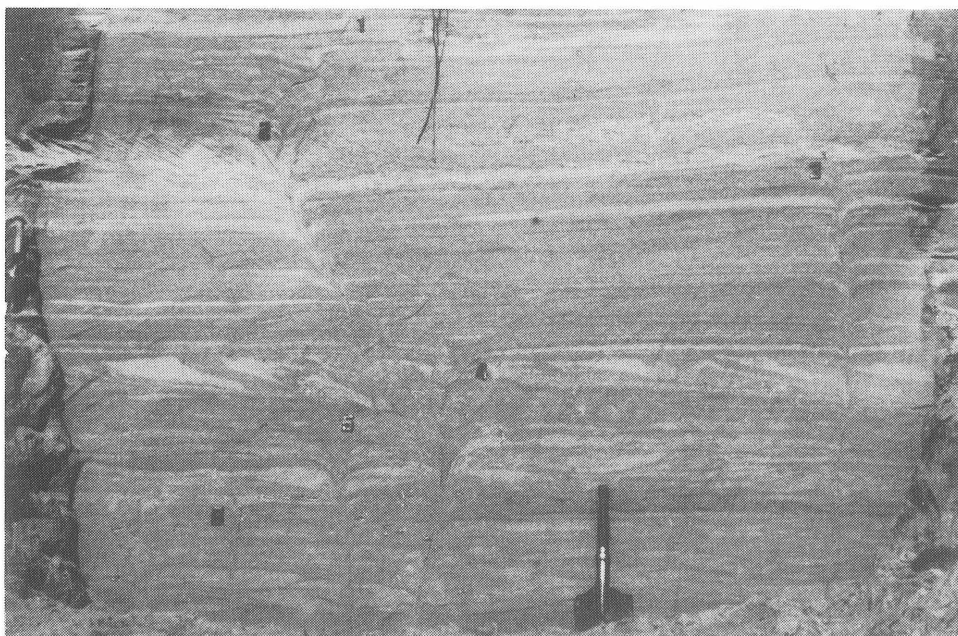


Photo 2. Rogowiec. Fentes de gel syngénétiques dans les dépôts de dune du Dryas inférieur. Les chiffres marquent de surfaces auxquelles correspondent des fentes successives

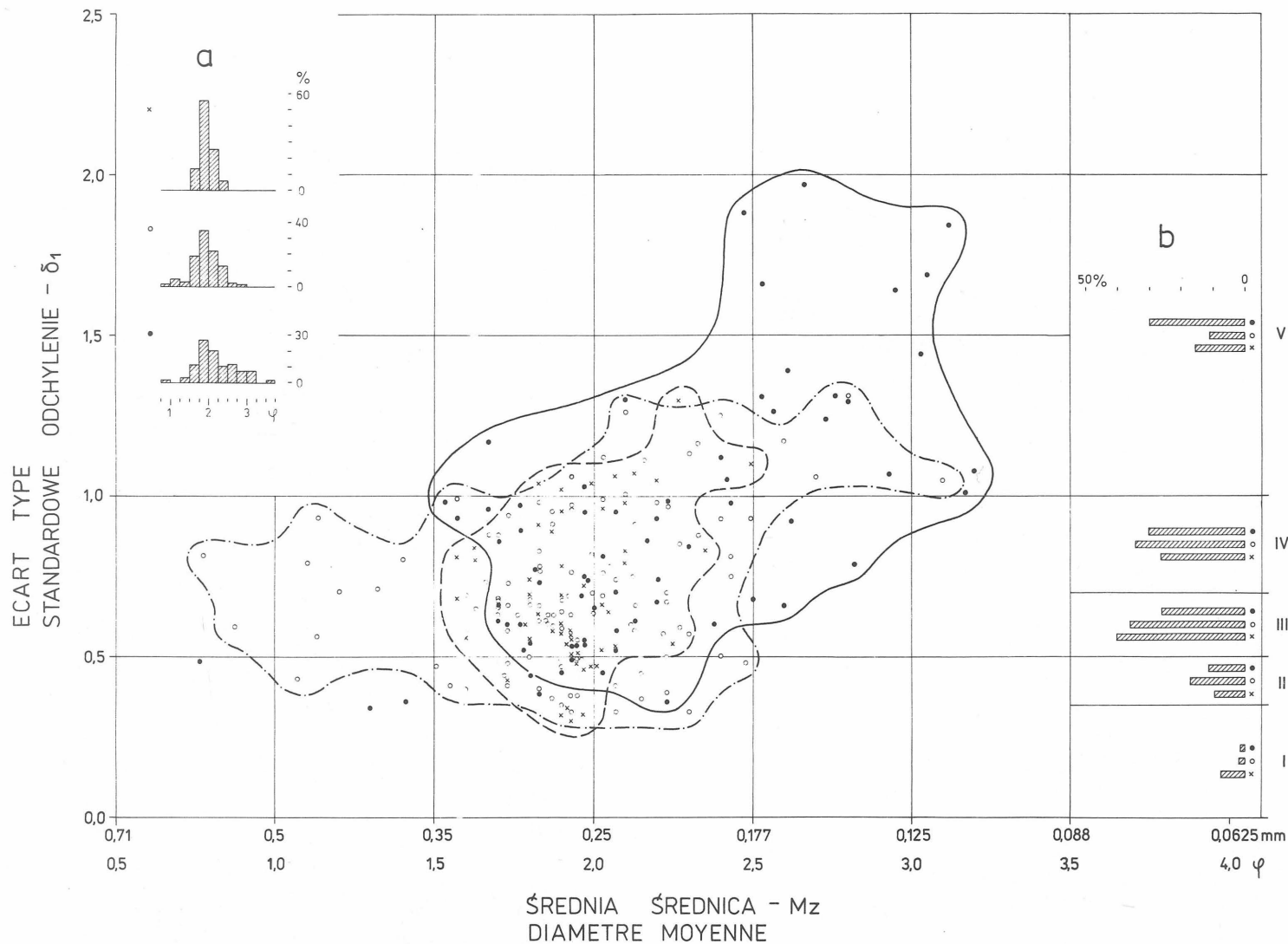


Fig. 3. Granulométrie des dépôts de dunes de la région de Łódź

Diamètre moyen et l'écart de standard des échantillons des dépôts successifs: ronds pleins — série du Dryas inférieur et du Bölling, ronds vides — série du Dryas moyen, croix — série du Dryas supérieur; a — histogrammes de la répartition des valeurs des diamètres moyens dans les séries successives; b — contenu des échantillons du degré différent du triage dans les séries, selon les valeurs δ_1 : I — très bon ($> 0,35$), II — bon (0,35–0,50), III — bon tempéré (0,50–0,71), IV — tempéré (0,71–1,00), V — mauvais (1,00–2,00)

plus grossiers dans la série du Dryas moyen et leur absence dans la série du Dryas supérieur, témoignent d'une diminution de la force des vents.

On a essayé de définir la vitesse des vents transportant le matériel à l'aide de données granulométriques (DYLIKOWA 1958, 1969; KRAJEWSKI 1977) mais la méthode appliquée fut peu précise.

L'usure mécanique des grains du quartz des dépôts éoliens du Vistulien tardif a été analysée par quelques auteurs (DYLIKOWA 1964; GOŹDZIK 1980a, 1980b, 1985; KRAJEWSKI 1977; MANIKOWSKA 1977, 1985; MANIKOWSKA, BALWIERZ 1987; MAROSIK 1988). On a appliqué des méthodes suivantes: l'analyse de morphoscopie, modifiée, de CAILLEUX (CAILLEUX, TRICART 1959), la méthode graniformamétrique de KRYGOWSKI (1964) et l'échelle de KRUMBEIN (1941). L'analyse de morphoscopie de grains 0,5–0,8 mm a fourni d'informations les plus nombreuses, menant à la conclusion que les dépôts éoliens se composent presque exclusivement de grains à la surface plus ou moins arrondie et mate; cela fut logiquement attribué à leur genèse éolienne. Pourtant, les analyses postérieures ont prouvé que le contenu très élevé d'éléments éolisés ne correspond pas aux vents formant les dunes du Vistulien tardif et qu'il faut attribuer les processus d'éolisation aux périodes précédentes.

Les dépôts glaciaires de la région de Łódź présentant la source du matériel, autant pour l'accumulation interglaciaire (éémienne) que périglaciaire (vistulienne), contiennent en moyenne plus ou moins 20% de grains ronds-mats (RM). Les dépôts périglaciaires plus anciens, non-éoliens révèlent l'accroissement progressif du contenu de ces grains, jusqu'à 54% en moyenne dans les dépôts précédant directement le cycle de la formation des dunes. Le même pourcentage de grains ronds-mats caractérise les sables du remplissage des fentes en coin du Plénivistulien.

La différence du contenu de grains éolisés des dépôts périglaciaires non-éoliens par rapport à leur source glaciaire, peut être attribuée à l'activité du vent pendant leur formation. Cette activité favorisait l'éolisation successive des grains qui, postérieurement, s'intégraient aux dépôts de versants, aux dépôts lacustres et fluviaux, au fur et à mesure de leur accroissement.

La différence du contenu de grains éolisés dans les dunes et dans les couvertures éoliennes du Vistulien tardif, par rapport à celui des séries fluviales du Plénivistulien supérieur est peu importante. La moyenne du contenu de grains RM dans les dunes de la Pologne Centrale est 52% et elle se maintient dans les séries successives, bien qu'il y ait parfois de cas de dunes, où ce pourcentage subit de faibles oscillations.

L'accroissement du contenu de grains RM et M (partiellement éolisés) a été accompagné d'une diminution des quantités de grains d'autres groupes — EL (emoussés luisants) et NU (non usés) dont le contenu oscille entre plusieurs et plus de 20% dans les dépôts glaciaires et diminue dans les dépôts le mieux éolisés parfois même jusqu'à zéro (tab. 1). Dans les premières phases d'usure on observe l'enrichissement des dépôts en grains éolisés, surtout du type M, aux dépens de grains NU et EL; ensuite les grains M cédaient la place à ceux du type RM.

Les résultats des analyses témoignent qu'il y avait, avant la période tardivistulienne du développement des dunes, de vastes surfaces recouvertes de dépôts de versants et de dépôts fluviaux, composés du matériel fortement éolisé. Ce

Tableau 1
Morphoscopie et altération des dépôts de la dépression fermée
à Kalinko

N° de la série	% moyen des grains du type				C+T A+P
	RM	M	EL	NU	
1	21,6	26,8	29,5	22,1	0,44
2	22,6	35,8	19,9	21,7	0,31
3	23,0	42,4	21,1	13,5	0,63
1 + 2 + 3	23,4	35,0	23,5	19,1	0,46
4	23,6	36,5	24,7	15,2	0,89
5	31,3	39,5	17,4	11,8	0,82
6	32,1	45,2	15,9	6,8	0,94
7	33,3	43,5	15,9	7,3	1,06
8	31,2	50,3	13,2	5,2	1,22
9	33,1	50,5	11,6	4,8	1,36
10	33,4	47,3	12,5	6,8	2,22
11	58,2	37,5	3,0	1,7	2,32
12	57,1	37,9	2,6	2,0	3,15

Types de grains du quartz selon la méthode de CAILLEUX, modifiée: RM — ronds mats, éolisés; M — médiats, partiellement éolisés; EL — émoussés luisants, façonnés par l'eau courante; NU — non usés; C — zircone; T — tourmaline; A — amphiboles; P — pyroxènes. Numéros des séries selon la figure 4 — colonne stratigraphique A

matériel fut intégré dans les dunes en qualité de leur élément principal; la proportion du matériel „frais” glaciaire y jouait le rôle peu important. L'absence du progrès d'usure éolienne dans les séries successives des dunes peut être attribuée au ralentissement considérable de l'abrasion pendant le Vistulien tardif, vu l'efficacité de l'éolisation du matériel pendant la période précédant la formation des dunes.

Le fait, que les dunes de la région de Łódź, possèdent de sables mieux éolisés, se distinguent de celles que se sont formées aux terrains se trouvant à la portée de la dernière glaciation, bien que les dimensions, l'âge et la durée des processus eussent été dans ce deux cas les mêmes, témoigne en faveur des conclusions présentées ci-dessus. Cela signifie que le cycle tardivistulien de la formation des dunes lui-même n'a pas pu aboutir à une éolisation tellement forte que l'on observe dans les dunes de la région de Łódź. La différence consiste à l'éolisation qui en Pologne Centrale a précédé la formation des dunes; l'activité la plus importante des processus d'éolisation y correspond à la période pendant laquelle les terrains du nord de la Pologne ont été encore recouverts du glacier scandinave.

Les traits de grains éolisés de quartz ont été aussi analysés sous le microscope électronique du type de scanning (GOŹDZIK, MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO 1982, 1988; KLATKOWA 1976).

Les sables des dunes et des couvertures éoliennes du Vistulien tardif ont une composition minéralogique spécifique. On a analysé séparément les minéraux légers et lourds dans des fractions choisies de dimension (GOŹDZIK 1980a; MANIKOWSKA 1976, 1985; MAROSIK 1988; WOJCIECHOWSKI 1961). Parmi les minéraux légers (du calibre 0,5—0,8 mm) on observe la prédominance du quartz, tandis que les feldspaths présentent à peine 4,8% en moyenne; on n'y

trouve point de carbonates. Les minéraux lourds transparents (du calibre 0,10–0,25 mm) se présentent dans un ensemble de plus de vingt espèces, dont le contenu de dix atteint au moins 2%. Les grenats et les tourmalines y dominent nettement (40% et 17%), tandis que les autres, comme épidotes, amphiboles, staurolite, zircon, pyroxène, andalusite, titanite, et rutile n'apparaissent que dans de quantités moindres (9–2%).

Les analyses ont révélé des différences essentielles du contenu de minéraux respectifs, autant légers que lourds, dans les dépôts éoliens des dunes et des couvertures, par rapport aux dépôts glaciaires. Ces différences consistent dans la diminution remarquable du contenu de minéraux moins résistants — surtout des amphiboles et des épidotes, de même que des feldspaths — et dans l'augmentation de la fréquence de minéraux plus résistants — en particulier des tourmalines et des grenats. Le trait caractéristique des dépôts éoliens consiste dans une cumulation remarquable des grenats, ce qui prouve leur grande résistance au transport éolien.

L'étude de la composition minéralogique du sable des nappes périglaciaires, plus ancien que celui des dunes et des couvertures éoliennes, a révélé une succession de phénomènes d'altération, correspondant à l'âge de plus en plus récent des sédiments, et un parallélisme de ces phénomènes aux changements du contenu des éléments éolisés (tab. 1); dans les dunes ce contenu diminue progressivement à partir de dépôts plus anciens vers les plus récents. Ces observations prouvent que la diminution de la quantité de minéraux peu résistants dans les dépôts étudiés résulte en principe de leur usure durant le transport éolien et, dans un degré moindre, de l'altération chimique.

Grâce à l'application de la méthode d'une prompt coloration (MANIKOWSKA 1976) on a pu effectuer tout un nombre d'analyses des feldspaths. Leur contenu minimum atteint dans les dunes en moyenne 4,8% et dans de séries successives 5,1–4,8–4,3%, tandis que dans l'argile morainique — en moyenne 14,1, dans les sables et dans les graviers glaci-fluviaux 9,0% et dans les dépôts périglaciaires sablo-limoneux de vallées 5,6%. Ces faits témoignent d'un appauvrissement extrême de minéraux alumino-silicateux qui peuvent approvisionner les plantes en éléments nutritifs. Cela s'exprime dans le caractère des ensembles végétaux existant sur les dunes et sur les couvertures éoliennes et dans les traits des sols — les éolianites sableux de la Pologne Centrale favorisent surtout les processus de podzolisation.

Parmi les dépôts sableux d'origine éolienne de la région de Łódź il faut mentionner aussi des remplissages des fentes dues aux processus de gel. Les fentes formées au Plénivistulien supérieur représentent le type de fentes à remplissage primaire et contiennent des sables fortement éolisés (GOŹDZIK 1970, 1980a, 1981, 1986; MANIKOWSKA 1966, 1973, 1987, sous presse). Le degré de leur éolisation ressemble à celui des sables des dunes et des sables fluviaux du Plénivistulien supérieur. Le matériel fortement éolisé, transporté de la surface soumise à l'activité intense du vent, s'accumulait dans les fentes.

L'analyse des remplissages sableux de structures de fentes du Vistulien dans les argiles morainiques, près de leur surface actuelle, faite par GOŹDZIK (1986), démontre une diminution progressive du degré d'éolisation à partir du sud de la Pologne vers le nord. Le degré considérable d'éolisation des sables remplissant les fentes en Pologne Centrale, correspond au Plénivistulien supérieur;

à cette époque il y avait de conditions favorisant simultanément la formation des fentes à remplissage primaire sableux, et l'activité intense du vent. L'éolisation des remplissages des fentes de moins en moins marquée vers le nord, correspond au régime périglaciaire qui successivement envahissait de terrains abandonnés par le glacier, dont la durée devenait vers le nord de plus en plus courte et le climat de moins en moins rigoureux.

LIMONS D'ACCUMULATION ÉOLIENNE

Les dunes et les couvertures éoliennes du Vistulien tardif contiennent de couches limoneuses; elle se manifestent sous la forme d'intercalations, peu épaisses, dans les dépôts les plus anciens des dunes (DYLIKOWA 1964, 1967; KRAJEWSKI 1977; MANIKOWSKA 1969, 1985). Le même limon apparaît dans les couvertures éoliennes à des profondeurs différentes mais d'habitude il n'y a qu'une seule couche, atteignant plus ou moins 40 cm et partageant les sables en deux parties. Cette couche repose bien souvent directement sur les dépôts du substratum, sous les dépôts de la couverture sableuse supérieure, ou sur la couverture sableuse inférieure, tout près de la surface actuelle. Il y a aussi de vastes terrains où les couvertures pulvérulentes apparaissent seules, sans voisinage des dépôts sableux. La présence du matériel pulvérulent dans les couches subsuperficielles dans la région de Łódź a attiré l'attention déjà au début des années 50^{ièmes}; ces dépôts ont été définis en qualité de „ressemblants aux loess” (DYLIK 1952).

Les couches pulvérulentes dans les dunes et dans les couvertures possèdent une fine lamination parallèle. Les lamines pulvérulentes sont d'habitude séparées des lamines sableuses et contiennent souvent une addition des particules sableuses. Cette lamination s'efface dans les zones soumises aux processus pédologiques où le dépôt devient homogène. Cela mène, par suite, à la formation d'une couche sablo-pulvérulente dans la zone subsuperficielle, atteignant plus ou moins 1,5 m d'épaisseur, sans une nette limite inférieure. Cette couche devient, par endroits, discontinue; elle apparaît dans le profil vertical sous la forme des poches peu profondes et sur la surface sous la forme des taches plus ou moins rondes. Ce phénomène peut être attribué soit aux processus de la ségrégation due au gel, soit à l'inégalité de l'accumulation du matériel pulvérulent dans les conditions du toundra et de la couverture végétale discontinue.

Les dépôts en question sont sans aucun doute d'origine éolienne; ils se manifestent comme des intercalations dans les dépôts dont la genèse éolienne est évidente, ou elles ont la forme de vastes couvertures sur des surfaces, même convexes, donc dans les situations qui excluent l'autre activité que celle du vent.

Les dépôts pulvérulents d'une épaisseur considérable se sont formés dans la région de Łódź au Plénivistulien inférieur et moyen. Ce sont de limons souvent massives, parfois alternant avec des couches sableuses, gleyfiées, et contenant par endroits des intercalations organiques; ces dépôts s'accumulaient à cette période dans les vallées et dans les dépressions fermées. Ils sont particulièrement caractéristiques dans les vallées, grâce non seulement à leur masses épaisses qui recouvrent les fonds mais encore à leur ajustement aux pentes des

versants fossils. Cela suggère une supposition que le matériel pulvérulent fut „collé” contre les versants par le vent (GOŹDZIK, KRZYSZKOWSKI 1987). En principe pourtant, les particules transportées par le vent se déposaient surtout dans l'eau et dans les endroits humides — aux fonds des lacs permanents ou saisonniers et dans les eaux stagnantes sur les fonds des vallées. Ce dépôt ne possède donc du caractère du loess subaéral mais il témoigne d'une capacité considérable du transport éolien. Le façonnage éolien des sables trouvés dans la série en question, progressivement de mieux en mieux marqué, présente un autre témoignage de l'activité du vent (MANIKOWSKA 1987).

La série des limons remplissant de petites vallées de la région de Łódź manifeste de traits très proches à ceux qui caractérisent le dépôt nommé „loess des vallées” aux plateaux de la Pologne du Sud (JERSAK 1973).

RÉSIDUS ÉOLIENS GROSSIERS

Parmi les éolianites on distingue aussi de pavages résiduels dûs à la déflation de particules plus fines. Dans la région de Łódź le pavage de ce type existe sur toutes les surfaces d'interfluves dénudées pendant de Vistulien. Il forme un horizon presque continu de débris grossiers, y compris de gros cailloux; on y trouve de nombreux éologlyptolithes révélant un microrelief éolien qui fut analysé de façon détaillée par DYLIK (1952).

L'origine de ce pavage est complexe et partiellement non-éolienne; il y ont participé sans doute, autant de processus de migration des cailloux, dus au gel-dégel (MANIKOWSKA 1982b), que le ruissellement dans les conditions périglaciaires. Ce pavage, se renouvelant constamment, présentait la source principale des éléments grossiers des dépôts de congélifluxion, couches caillouteuses allochtones, ainsi que des dépôts graveleux fluviaux du Plénivistulien (DYLIK 1966; GOŹDZIK 1973; KŁATKOWA 1965, 1985; MANIKOWSKA 1985; TURKOWSKA, WIECZORKOWSKA 1986).

SOLS FOSSILS DANS LES DÉPÔTS ÉOLIENS

Les sols fossils jouent le rôle d'importants horizons stratigraphiques. Ils séparent des séries respectives des sables et permettent de dater les dunes. Les sols des dunes appartiennent aux sols automorphes et servent d'une bonne base aux reconstructions paléogéographiques. Dans les dépressions marécageuses au voisinage des dunes ils se transforment en dépôts organiques du type de tourbe ou de gyttia qui fournissent du matériel aux analyses polliniques.

Das les couvertures éoliennes, les sols n'apparaissent que rarement; on les trouve parfois dans de basses positions topographiques où ils ont le caractère différent de celui des sols dans les dunes.

SOLS DU VISTULIEN TARDIF

En Pologne Centrale les dunes et les couvertures éoliennes du Vistulien tardif révèlent deux sols fossiles, dont le type et l'état de conservation sont différents.

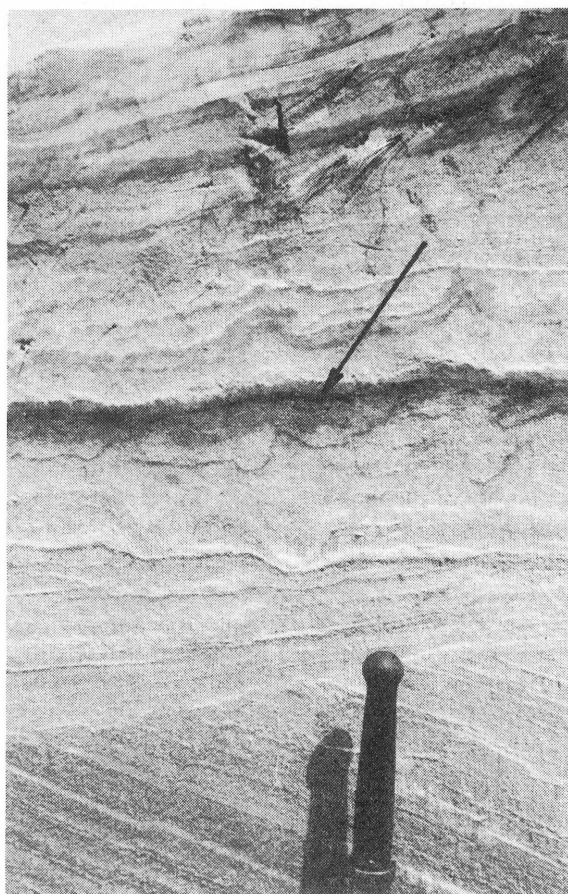
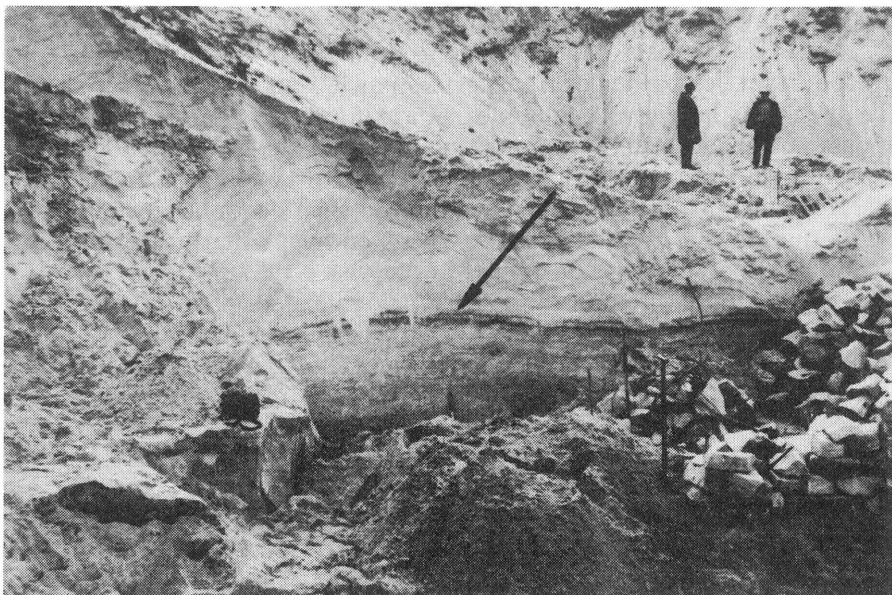


Photo 3. Sol du Bölling dans la dune aux environs d'Annopol

Photo 4. Sol du Bölling dans la dune aux environs de Kamion

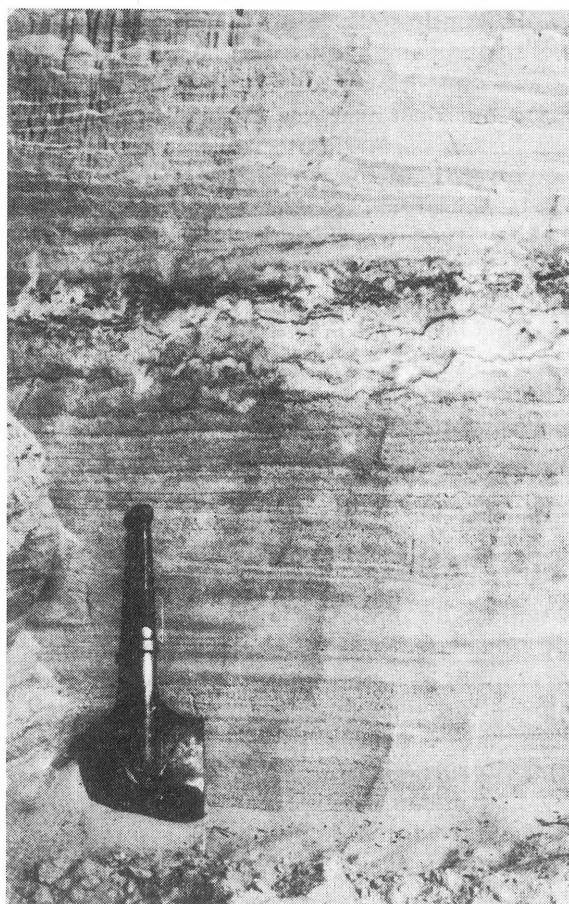


Photo 5. Sol d'Alleröd dans la dune à Rogowiec

Photo 6. Profil du sol d'Alleröd dans la dune à Rogowiec

Le sol du Bölling (photo 3, 4), séparant la série des dépôts dunaires de la phase initiale de ceux qui correspondent à la phase principale, est peu développé et n'observé que très rarement. Il se manifeste sous la forme soit de petites mottes d'humus (DYLIKOWA 1961), soit d'une ou deux couches minces d'humus, accompagnées de l'horizon du sable blanchi de quelques centimètres d'épaisseur (KRAJEWSKI 1977; MANIKOWSKA 1970, 1982a, 1983, 1985). De petites couches à l'humus contiennent du matériel pulvérulent. Au-dessous, il y a de traces peu nettes du système des racines des plantes qui accompagnaient la formation du sol. Dans l'horizon à l'humus d'un de ces sols on a trouvé des macro-restes du pin et du genévrier.

Le sol du Bölling des dunes ne fut trouvé que dans quatre localités, dont deux (MANIKOWSKA 1982a) sont datées par ^{14}C : $12\,235 \pm 260$ B.P. Lod 43 (Kamion) et $11\,980 \pm 70$ B.P. Gro 6632 (Annopol). Dernièrement (KRAJEWSKI, BALWIERZ 1985), on a attribué l'âge du Bölling au sol qui ressemble au sol d'Usselo (Alleröd) en Hollande et diffère d'autres sols du Bölling, reconnus en Pologne.

Au terrain de la mine du lignite à Belchatów on a trouvé le sol du Bölling dans les sables de couverture. Ce sol est représenté par une couche de 8 à 25 cm d'épaisseur, discontinue mais visible dans les sections éloignées de quelques dizaines de mètres; elle se compose de minces lamines contenant une quantité remarquable d'humus amorphique, et de lamines du matériel pulvérulent et du sable. Au-dessous et au-dessus de cette couche il y avait de lamines pulvérulentes sans humus. Des concentrations de la matière organique apparaissaient dans les endroits situés plus bas — dans des vallées sèches aux fonds légèrement enfoncés par rapport au voisinage, et disparaissaient au dehors de ces formes où on n'observait que des couches pulvérulentes.

Le sol de l'Alleröd, fréquemment observé, sépare des séries des dunes de la phase principale et celle de leur transformation (CHMIELEWSKA, CHMIELEWSKI 1960; DYLIKOWA 1961, 1964, 1967; KRAJEWSKI 1977; MANIKOWSKA 1966, 1969, 1970, 1982a, 1985). C'est un sol podzolique faiblement développé, présentant de différents degrés de podzolisation — à partir du stade à peine marqué jusqu'au stade nettement enregistré par la migration des oxydes de fer et d'aluminium — gardant toujours la stratification de la roche-mère dans l'horizon illuvial. Dans bien des endroits, surtout dans les sections supérieures des versants, ce n'est qu'une couche de plus ou moins 10 cm d'épaisseur, composée de taches grises, blanches et brunâtres; dans d'autres endroits on y peut distinguer tous les horizons propres aux sols podzoliques — celui d'accumulation d'humus, éluvial et illuvial (photo 5, 6).

Dans les sections inférieures des versants des dunes, ainsi qu'à la surface des dépressions de déflation, ce sol se manifeste sous la forme d'un pédolithe, composé de plusieurs horizons initiaux d'humus, séparés de couches minces de sable (photo 7, 8). Ce complexe atteint parfois l'épaisseur de 1,5 m. Les pédolithes se sont formés dans les conditions où le processus pédologiques ont été constamment interrompus par suite de l'accumulation de petites portions du sable, déposé à la surface du sol en train de son évolution par le vent ou en voie du ruissellement.

Le contenu d'humus amorphique dans le sol d'Alleröd est peu marqué mais il y a, par contre, de nombreux macro-restes des plantes, surtout du pin mais parfois du bouleau, du genévrier et du saule. Au — dessous du sol on trouve

souvent de traces des racines. Les déformations de ces traces et les structures de petits lobes, ainsi que le fissurage du sol, témoignent en faveur des mouvements de masses sur de raides couverts du sol d'Alleröd. Ce sol, couvrant la surface entière des dunes du Dryas moyen, a arrêté enfin complètement les processus éoliens.

L'âge du sol fut défini dans de nombreuses localités par ^{14}C . Les dates obtenues le plus souvent oscillent entre 11 200–10 800 ans B.P.; les dates extrêmes des pédolithes se placent entre $11\,770 \pm 80$ et $10\,365 \pm 95$ ans B.P.

Dans les couvertures éoliennes on n'observe nulle part du sol fossile d'Alleröd, ce qui prouve que l'accumulation des sables en dehors des dunes fut terminée au Dryas moyen; le sol d'Alleröd y fut incorporé au sol holocène.

SOLS HOLOCÈNES

Le complexe de sols de l'Holocène inférieur englobe le sol préboréal, boréal et atlantique. Le sol préboréal possède l'horizon B, bien développé, et l'horizon A_1 , avec peu d'humus, rarement bien conservé. Les traits de ce sol permettent de le définir — selon la classification des sols de la Pologne — comme sol rouillé. La phase boréale s'est marquée par le début de la podzolisation; elle s'est enregistrée dans la formation du sol peu podzolisé ou dans la transformation du sol rouillé en sol rouillé-podzolisé. Le sol atlantique possède de traits du podzol humo-ferrugineux. Cette succession des sols se répète sur les versants des dunes tardivistuliennes dans de nombreux endroits et peut être considérée comme typique pour l'Holocène inférieur (MANIKOWSKA 1982a, 1985).

Les sols mentionnés se développaient successivement sur de minces couches du sable, d'habitude entièrement transformés par les processus pédologiques (fig. 2, photo 8). Ils forment un complexe dont les éléments respectifs révèlent la variabilité des processus pédologiques, tandis que le total présente l'évolution de l'environnement à l'Holocène inférieur. Le sol rouillé, le plus ancien, s'y distingue grâce à son originalité; il ne possède pas de traces de podzolisation, malgré son évolution bien avancée, se manifestant dans la composition minéralogique (MANIKOWSKA 1977, 1986). Deux dates de ^{14}C , des macro-restes des plantes trouvés dans l'horizon A_1 de ce sol — $9\,740 \pm 100$ B.P. Gd 3300 et $9\,380 \pm 50$ B.P. Gro 6914 — témoignent de son âge préboréal. Dans la situation, dans laquelle tous les sols fossils plus récents manifestent de traces de la podzolization, le sol rouillé joue le rôle d'un indice stratigraphique définissant la limite entre le Pléistocène et l'Holocène.

La phase atlantique se distingue par la formation d'un podzol fortement avancé dans son évolution; ce podzol a localement subsisté à la surface actuelle, bien que, dans beaucoup d'endroits, il soit détruit ou recouvert de dépôts plus récents. Ce sol a atteint un degré remarquable de podzolisation, exprimé entre autres, par la diminution bien marquée du contenu des minéraux peu stables; cet appauvrissement de minéraux approfondissait dans le cas où le sol restait près de la surface, dans un environnement ressemblant à l'environnement naturel.

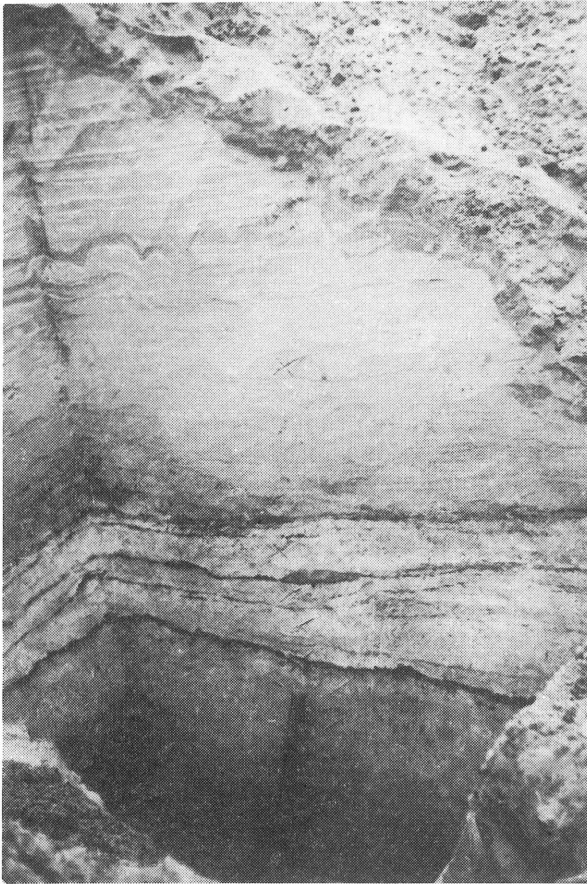


Photo. 7. Pédolithe d'Alleröd dans la dune à Dobroń. L'âge de la couche inférieure — $11\,770 \pm 80$ B.P.



Photo 8. Pédolithe d'Alleröd dans la dune à Aleksandrówek

Les sols fossils de l'Holocène supérieur se sont développés dans les endroits où les dunes ont été soumises à la destruction sous l'influence de l'activité humaine, de plus en plus intense dès la seconde moitié de la phase atlantique; de cette façon, de nouvelles surfaces ont été exposées aux processus pédologiques. Par suite de l'activité humaine le sol atlantique passait souvent à l'état fossil. Successivement d'autres sols, plus récents, devenaient de sols fossils. Ces sols appartiennent souvent au type de ranker faiblement développés et là où le processus pédologique était plus avancé, ils sont toujours podzolisés.

ACTIVITÉ MORPHOGÉNÉTIQUE DU VENT

L'accumulation éolienne du Vistulien tardif a abouti à la formation des dunes dispersées dans toute la région de Łódź. De grands ensembles des dunes se développaient aux terrains de vastes dépressions et de plaines; des dunes isolées ou leurs petits groupes sont éparpillées partout, à l'exception des sommets des terrains plus élevés, comme par exemple ceux du rempart formé du côté intérieur du lobe du glacier de la Warta. La généralité des dunes correspond à l'abondance des dépôts mobiles du Plénivistulien, autant sur des interfluves que dans les vallées, et d'autre part, aux conditions de l'environnement au Vistulien tardif.

Les dunes tardivistuliennes dans la région de Łódź, de même que dans d'autres régions de la Pologne, possèdent des formes paraboliques ou en ramparts. Les bras des paraboles se joignent souvent en formant de festons ou de chaînes étendues à la longueur de beaucoup de kilomètres. Les dunes les plus élevées dans les parties frontales des paraboles, atteignent plusieurs mètres d'altitude, tandis que la longueur de leur bras arrive jusqu'à 1–1,5 km. Les paraboles sont ouvertes vers O ou vers NO et leurs bras ont l'orientation E–O. Ces traits, y compris l'inclinaison des couches de la série correspondant à la phase principale de la formation des dunes, témoignent que les vents venaient pour la plupart du secteur NO. La phase successive, celle de transformation des dunes, se distingue par une déviation du vent vers le secteur SO (DYLIKOWA 1958, 1967; GAWLIK 1969, KRAJEWSKI 1977, MANIKOWSKA 1966).

La surface des dunes, jusqu'à ce temps douce, régulièrement arquée s'est changée au cours de l'Holocène supérieur en surface par endroits irrégulière, avec de nombreuses convexités et cavités réparties d'une façon chaotique; ces traits correspondent à l'activité destructive humaine et à la déflation des surfaces dépourvues du sol et de la couverture végétale.

On n'observe pas dans la région de Łódź de dépressions dues à la déflation du matériel pour la formation de dunes; la déflation englobait de vastes terrains et atteignait exclusivement des dépôts subsuperficiels, sans pénétrer plus profondément. Par suite, il n'y s'effectuait qu'un abaissement léger de vastes surfaces au lieu de l'érosion concentrée sur de terrains plus restreints. De cette façon, durant la première étape se sont accumulées des masses de dépôts qui ont formé de vastes couvertures et des dunes du Dryas inférieur. Ces dépôts, à leur tour, ont servi à la formation des dunes du Dryas moyen; celles-ci, soumises à la déflation au Dryas supérieur, fournissaient du matériel formant de nouveaux éléments du modelé dunaire sans y introduire de remaniements plus marqués.

Le modelé éolien a eu donc lieu d'abord sur de larges surfaces, en voie de déflation et de formation de vastes couvertures avec de petites dunes. Ensuite, les processus d'accumulation se concentraient sur de terrains limités, en y formant de grandes dunes et de minces couvertures de sable au dehors de ces formes. A l'étape finale, il n'y avait que de retouches des dunes individuelles.

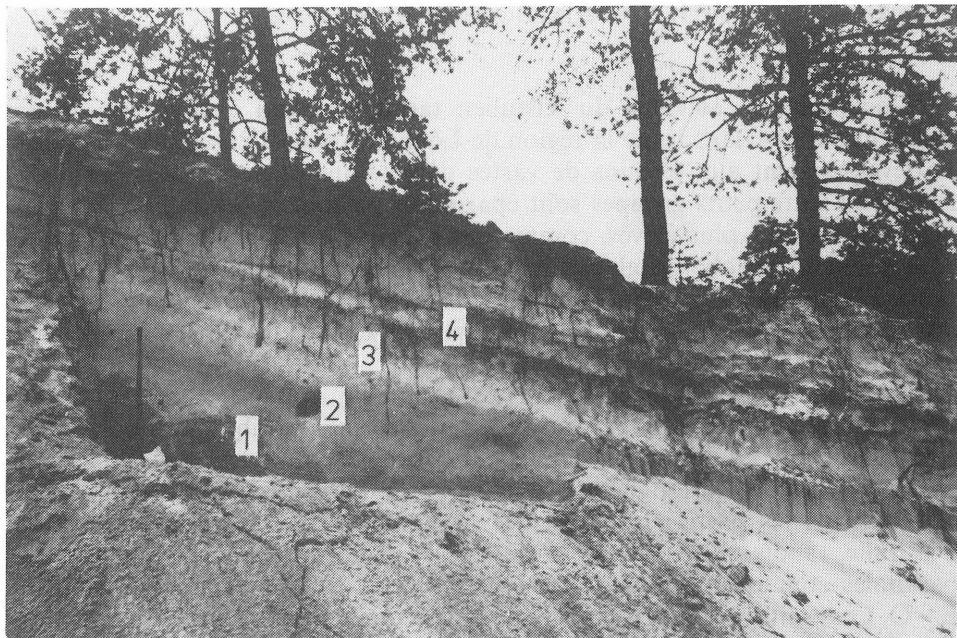


Photo 9. Szynkielów. Complexe de sols fossils sur le versant de la dune

1. sol d'Alleröd, 2. sol préboréal, 3. sol boréal, 4. sol atlantique

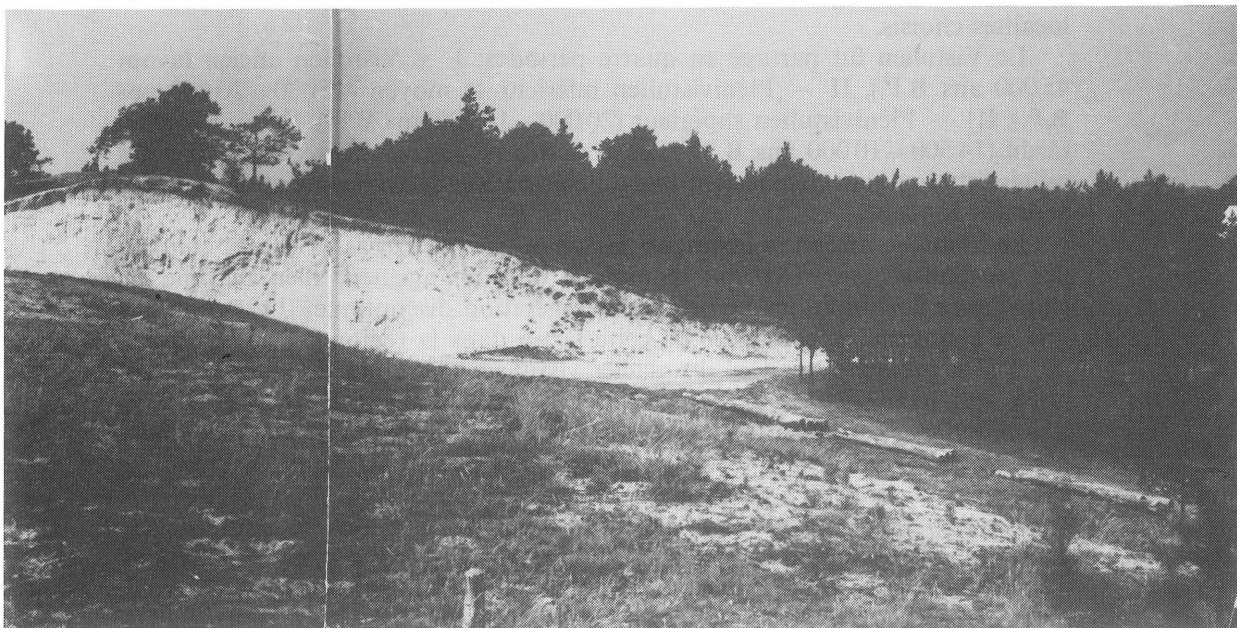
Photo 10. Rempart de la dune à Zamęty



Dans les vallées de la région de Łódź il y a des dunes, de même que des couvertures éoliennes tardivistuliennes. Les dunes, bien grandes se trouvent assez souvent sur les hautes terrasses du Plénivistulien, autant qu'aux niveaux glaciaires des vallées, à peu près de même altitude. Les couvertures sur les terrasses atteignent l'épaisseur de 3–4 m et élèvent remarquablement leur niveau. Dans les vallées plus importantes, perpendiculaires par rapport au vent approximativement d'ouest au Vistulien tardif, on rencontre de dépôts éoliens sableux adhérents aux versants raides; ces dépôts révélant des couches fortement inclinées, atteignent plus ou moins 3 m d'épaisseur. Ils ont été déposés en voie de la déflation du matériel des interfluves avoisinants et forment une sorte de cône adoucissant les pentes des versants.

L'évaluation de l'influence des processus éoliens sur le modelé pendant les périodes plus anciennes du Vistulien, n'est pas facile. Certainement, ces processus y étaient actifs; cela s'exprime dans de quantités considérables du matériel pulvérulent accumulé à ce temps mais avant tout dans l'éolisation des composants sableux de dépôts respectifs. Ces processus n'ont pourtant laissé ni de sédiment typiques, ni de formes éoliennes. Le matériel de surface était bien des fois soumis à la déflation et ses particules ont subi le façonnage éolien, tandis que la déposition finale s'effectuait par de processus non-éoliens.

Les vallées et les dépressions fermées se remplissaient à cette époque de dépôts aux épaisseurs considérables, accumulés par l'eau et dans l'eau, ou déplacés par les mouvements des masses. L'accumulation éolienne ne peut être



attribuée qu'à de certaines parties de ces dépôts, vu leur structure et leur localisation témoignant en faveur de la sédimentation éolienne subaérale. Les couches sableuses de la série du Plénivistulien moyen et supérieur dans les vallées sèches en peuvent servir d'exemple, vu leurs pendages considérables s'accordant au versant sous-jacent, ou le matériel pulvérulent „collé” contre les versants raides de ces vallées.

Parmi les dépôts éoliens du Plénivistulien supérieur il faut aussi mentionner des remplissages sableux de fentes de gel.

Les faits présentés témoignent que les surfaces convexes d'interfluves au cours du Vistulien, jusqu'à l'accumulation éolienne typique au Vistulien tardif, étaient soumises à l'activité destructive du vent; cette activité a été particulièrement efficace au Plénivistulien supérieur, en précédant directement le développement des dunes.

SUCCESSION DES PROCESSUS ÉOLIENS ET LEUR CHRONOLOGIE

Le premier aperçu synthétique de l'activité éolienne au cours de Vistulien dans la région de Łódź, fut présenté par DYLIK (1969). Des épreuves plus récentes se trouvent dans les travaux de GOŹDZIK (1980b, 1981) et de MANIKOWSKA (1985). A présent, on peut interpréter des processus éoliens d'une façon plus précise grâce aux datations de plus en plus nombreuses de ^{14}C .

La figure 4 présente des courbes de l'évolution de ces processus. Ces courbes sont basées sur l'analyse du façonnage éolien des grains de sable des dépôts et sur l'évaluation de la masse du matériel formant des dunes, présentées sur le fond de la stratigraphie des sédiments du Vistulien et de dépôts sous-jacents de localités choisis.

Le Vistulien fut partagé en quatre périodes: I — Vistulien ancien (avant 45 000 ans B.P.), II — Plénivistulien inférieur et moyen (45 000—20 000 ans B.P.), III — Plénivistulien supérieur (20 000—14 500 ans B.P.), IV — Vistulien tardif (14 500—10 000 ans B.P.). Les périodes respectives représentées par des unités lithologiques manifestent une différenciation de l'intensité et du type des activités éoliennes.

Le Vistulien ancien se distingue par un accroissement assez net du contenu des particules éolisées ce qui témoigne d'un changement bien marqué du climat vers de conditions favorisant la végétation discontinue. Il est probable que ce changement, enregistré de cette façon dans la région de Łódź, correspond à la première avancée du glacier vistulien au terrain de la Pologne du nord, qui avait lieu avant plus ou moins 50 000 ans B.P. (MOJSKI 1985). L'accumulation des dépôts plénivistuliens fut précédé par l'érosion accompagnant probablement la retraite de ce glacier qui, à son tour, a provoqué l'abaissement du niveau de base.

Les processus éoliens au Plénivistulien inférieur et moyen n'ont pas été particulièrement intenses mais ils assuraient l'accroissement permanent, d'éléments éolisés (plutôt du type M que RM). Cet accroissement est devenu plus intense après 32 000 ans B.P. environ. Au début, la surface était probab-

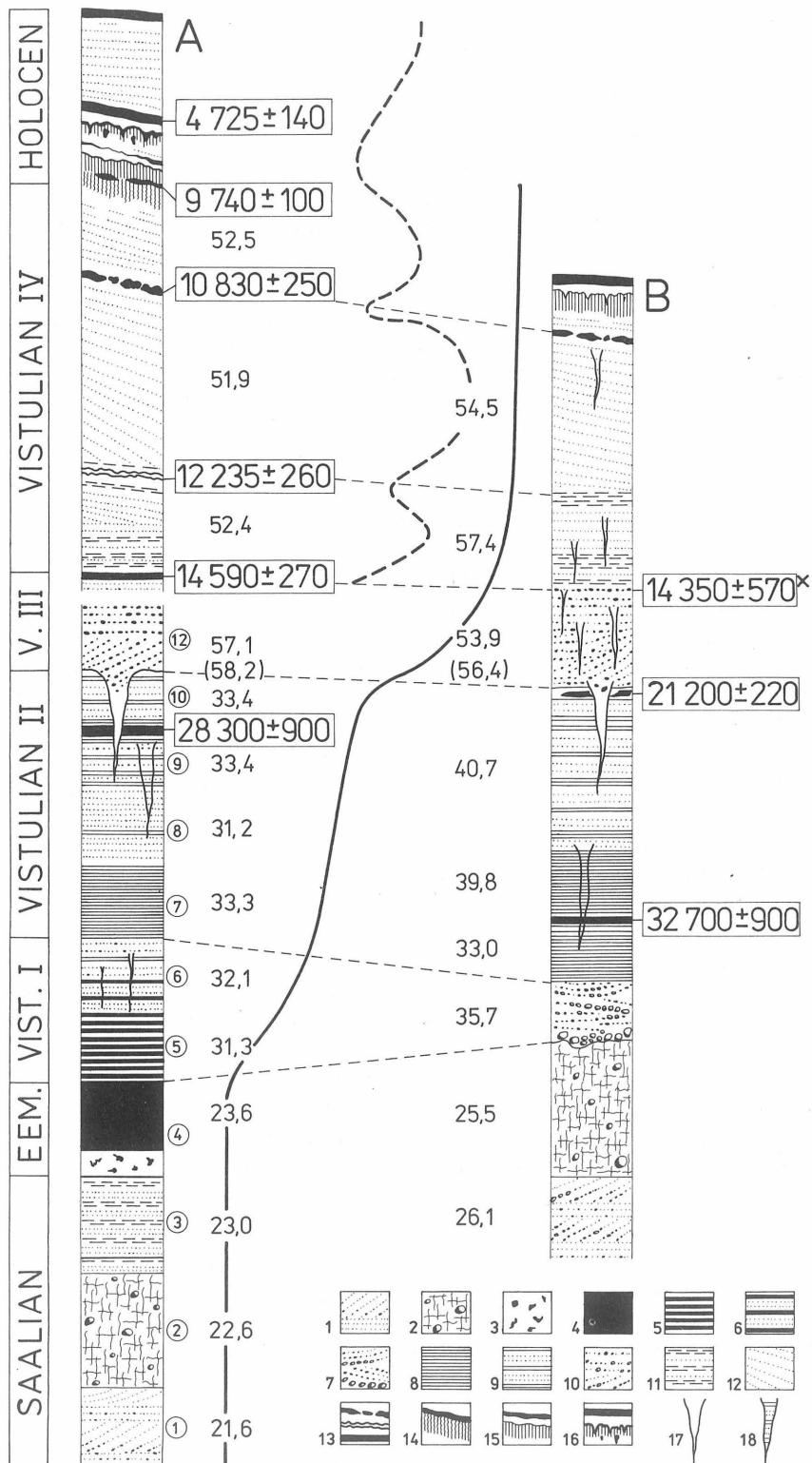
lement couverte de végétation continue de toundra; cette couverture végétale devenait progressivement de plus en plus discontinue, ce qui permettait au vent de pénétrer jusqu'à la surface. C'était la période favorisant la déflation et l'accumulation du matériel pulvérulent.

Au Plénivistulien supérieur, plus ou moins 20 000 – 15 000 ans B.P., eut lieu un changement nettement marqué, correspondant à la seconde avancée du glacier. Ce changement s'est enregistré dans un apport le plus abondant du matériel éolisé aux dépôts, distribués ensuite par les eaux de fonte saisonnières, s'écoulant des interfluves, par les versants, aux vallées et aux dépressions fermées. La couverture végétale a disparu et le paysage de la Pologne Centrale a gagné de traits du désert froid au climat continental rigoureux et au pergélisol avec la couche active peu profonde. Dans ces conditions les processus éoliens agissaient avec l'intensité particulière sur tout le terrain mais ils ne touchaient que la surface de la couche active, dégélée et asséchée pendant l'été. Les particules pulvérulentes, transportées par le vent au dehors du désert froid, vers la Pologne du sud, participaient à la formation du loess, tandis que le matériel sableux restait sur place; soumis bien des fois à la déflation, il fut finalement déposé en voie du ruissellement ou du transport fluvial. On le trouve aussi sous la forme de remplissage des fentes dues à la contraction thermique. En même temps, le vent participait dans la formation des pavages résiduels à la surface.

Au Vistulien tardif, par suite de l'adoucissement du climat et de la retraite du glacier au dehors de la Baltique, les conditions se sont radicalement changées; le plafond du pergélisol s'est abaissé en favorisant le développement de la végétation, les rivières, approfondissant leur lits, ont provoqué le drainage intensive des dépôts superficiels et leur assèchement en été. Vers 14 500 – 14 000 ans B.P. a eu lieu le début de l'accumulation des dépôts éoliens englobant de vastes terrains. Elle s'est manifestée d'abord par la formation des couvertures sablo-pulvérulentes peu épaisses; les monticules de dunes primitives atteignant quelques mètres d'altitude n'apparaissaient que rarement. Le matériel pulvérulent, transporté à la longue distance, s'est accumulé sur les surfaces à peine recouvertes de la végétation du type steppe-toundra. Au Bölling, la couverture végétale est devenue plus dense et les arbres ont apparu, ce qui présentait de conditions favorables pour l'initiation du développement des dunes, si nombreuses au Dryas moyen. L'invasion de la forêt continue de l'Alleröd a arrêté entièrement les processus éoliens qui n'ont pas pu reprendre leur activité que pendant le Dryas supérieur; cette fois, pourtant, cette activité s'est limitée aux formes singulières de dunes déforestées.

Il paraît paradoxal que les dépôts de dunes ne manifestent pas du degré plus avancé d'éolisation, par rapport aux dépôts du Plénivistulien. On peut l'expliquer soit par le ralentissement du façonnage éolien du matériel plénivistulien servant de source pour les dunes, déjà fortement éolisé, soit par l'apport du matériel moins éolisé qui ne subissait pas de ce façonnage qu'uniquement pendant le cycle de la formation des dunes. Ces deux causes de ressemblance du niveau d'éolisation du matériel original et celui des dunes, paraissent probables.

Les processus éoliens, après une stagnation à l'Holocène inférieur, ont repris leur activité vers la fin de la phase atlantique, sous influence de l'inter-



vention humaine de plus en plus intense au milieu naturel. A cette époque tout le territoire de la Pologne était déjà occupé par la population des agriculteurs, même les terrains où les sols étaient peu fertiles.

Il faut souligner que l'éolisation représente le trait caractéristique des dépôts périglaciaires de l'âge différent, non seulement vistuliens. On a trouvé de mêmes traits, entre d'autres, dans les dépôts sableux intermorainiques de la glaciation saalienne, aussi que dans les sables remplissant des fentes de gel de la même période (GOŹDZIK 1980b; MANIKOWSKA sous presse).

Traduction de A. Dylikowa

Bibliographie

- CAILLEUX, A., TRICART, J., 1959 — Initiation à l'étude de sables et des galets. C.D.U., Paris.
- CHMIELEWSKA, M., CHMIELEWSKI, W., 1960 — Stratigraphie et chronologie de la dune de Witów, distr. Łęczycza. *Biul. Peryglacjalny*, 8.
- DYLIK, J., 1952 — Głazy rzeźbione przez wiatr i utwory podobne do lessu w środkowej Polsce (summary: Wind worn stones and loess-like formations in Middle Poland). *Państw. Inst. Geol., Biul.*, 67.
- DYLIK, J., 1963 — Nowe problemy wiecznej zmarzliny plejstocenijskiej (résumé: Problèmes nouveaux du pergélisol pléistocène). *Acta Geogr. Lodziensis*, 17.
- DYLIK, J., 1966 — The main elements of Upper Pleistocene paleogeography in Central Poland. *Biul. Peryglacjalny*, 16.
- DYLIK, J., 1969 — L'action du vent pendant le dernier âge froid sur le territoire de la Pologne Centrale. *Biul. Peryglacjalny*, 20.
- DYLIKOWA, A., 1958 — Próba wyróżnienia faz rozwoju wydm w okolicach Łodzi (résumé: Phases du développement des dunes aux environs de Łódź). *Acta Geogr. Univ. Lodziensis*, 8.
- DYLIKOWA, A., 1961 — Katarzynów. The Łódź Region. Guide-Book of Excursion C, VIth INQUA Congress, Poland.
- DYLIKOWA, A., 1964 — Les dunes de la Pologne Centrale et leur importance pour la stratigraphie du Pléistocène tardif. Report of the VIth International Congress on Quaternary, Warsaw 1961, vol. IV.
- DYLIKOWA, A., 1967 — Wydmy środkowopolskie i ich znaczenie dla stratygrafii schyłkowego plejstocenu (Les dunes de la Pologne Centrale et leur importance pour la stratigraphie du Pléistocène tardif). En: Czwartorzęd Polski. Warszawa.
- DYLIKOWA, A., 1969 — Le problème des dunes intérieures en Pologne à la lumière des études de structure. *Biul. Peryglacjalny*, 20.
- GAWLIK, H., 1969 — Wydmy w Kotlinie Szczercowskiej (résumé: Les dunes éoliennes dans le Bassin de Szczerców). *Inst. Geogr. PAN, Prace Geogr.*, 75.
- GOŹDZIK, J. S., 1970 — Geneza szczelin zmarzlinowych w regionie łódzkim w świetle analizy ich wypełnień (résumé: Genèse des fentes de gel dans la région de Łódź à la lumière de l'analyse de leur remplissage). *Acta Geogr. Lodziensis*, 24.

Fig. 4. Succession des processus éoliens au Vistulien et à l'Holocène dans la région de Łódź

A — stratigraphie du Vistulien, fondée sur les dépôts de la dépression fermée à Kalinko et sur les dépôts de dunes à Kamion et à Szykielów; B — stratigraphie du Vistulien dans une vallée sèche au terrain de la mine „Bełchatów”. 1. sable et gravier glaci-fluvial; 2. argile morainique; 3. sable avec de macro-restes de plantes — dépôt lacustre de près du bord; 4. tourbe; 5. gyttia argilo-sableuse; 6. sable et sable limoneux avec de couches de la matière organique redéposée — dépôt de versant; 7. sable et gravier, cailloux, intercalations limoneuses — dépôt de vallée correspondant à la phase d'érosion; 8. limon massif avec de rare couches du sable — dépôt de l'eau stagnante, peu profonde; 9. couches alternantes de limon et de sable — dépôt du ruissellement et des eaux stagnantes, peu profondes; 10. sable et gravier fin, cailloux — dépôt fluvial en nappe; 11. couches alternantes de sable pulvérulents — dépôt éolien; 12. sable stratifié — dépôt éolien; 13. horizon humique ou une couche de tourbe; 14. sol rouillé; 15. sol podzolique; 16. podzol humo-ferrugineux; 17. fente de gel à remplissage primaire, sableux; 18. fente de gel à remplissage secondaire. Chiffre en cadre — âge B.P. de ^{14}C de l'horizon organique; chiffre sans cadre — pour-cent moyen du contenu de grains RM dans le dépôt; chiffre sans cadre, entre parenthèses — contenu moyen de grains RM dans les fentes de gel à remplissage primaire sableux; chiffre dans le cercle — numéro de dépôt dans le tableau I. La courbe continue présente le taux du processus d'éolisation, basé sur la variabilité du contenu de grains RM et M dans les dépôts successifs; la courbe discontinue présente la variabilité de l'intensité de l'accumulation éolienne, basé sur la masse des dépôts des dunes. D'après GOŹDZIK (1980a)

- GOŹDZIK, J., 1973 — Geneza i pozycja stratygraficzna struktur peryglacialnych w środkowej Polsce (summary: Origin and stratigraphical position of periglacial structures in Middle Poland). *Acta Geogr. Lodziensia*, 31.
- GOŹDZIK, J., 1980a — Würmskie osady peryglacialne w Łodzi-Teofilowie (summary: Periglacial sediments of the Würm period in Łódź-Teofilów). *Zeszyty Nauk. Uniw. Łódzkiego, Nauki Mat.-Przyr.*, seria II, 22.
- GOŹDZIK, J., 1980b — Zastosowanie morfoskopii i graniformometrii do badań osadów Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” (L'application de la morphoscopie et de la graniformamétrie pour les études des dépôts dans la mine de lignite de Bełchatów). *Studia Regionalne*, 4.
- GOŹDZIK, J. S., 1981 — Les changements de processus éoliens dans la Pologne Centrale au cours du Vistulien (Würm). *Recherches Géogr. Strasbourg*, 16–17.
- GOŹDZIK, J. S., 1986 — Structures de fentes à remplissage primaire sableux du Vistulien en Pologne et leur importance paléogéographique. *Biul. Peryglacialny*, 30.
- GOŹDZIK, J. KRZYSZKOWSKI, D., 1987 — Osady formacji Piaski w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” (Les dépôts de la formation Piaski dans le rayon de la mine de lignite de Bełchatów). Czwartorzęd rejonu Bełchatowa, II Sympozjum. Państw. Inst. Geol., Wrocław — Warszawa.
- GOŹDZIK, J., MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO, E., 1982 — Badania wpływu niektórych procesów geologicznych na przekształcenie powierzchni ziarn kwarcowych (summary: Investigation of the effect of some geological processes on the modification of the quartz grain surface). *Przegląd Geogr.*, 54, 3.
- GOŹDZIK, J., MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO, E., 1988 — Geneza zmatowienia powierzchni dobrze zaokrąglonych ziarn kwarcu w świetle badań w mikroskopie elektronowym (summary: The genesis of surface frosting of well rounded quartz grains in the light of investigations in the electron microscope). En: Origin of deposits and soils in the light of electron microscope investigations. Wyd. Uniw. Warsz., Warszawa.
- JERSAK, J., 1973 — Litologia i stratygrafia lessu wyżyn południowej Polski (summary: Lithology and stratigraphy of the loess on the southern Polish Uplands). *Acta Geogr. Lodziensia*, 32.
- KLATKOWA, H., 1965 — Niecki i doliny denudacyjne w okolicach Łodzi (résumé: Vallons en berceau et vallées sèches aux environs de Łódź). *Acta Geogr. Lodziensia*, 19.
- KLATKOWA, H., 1976 — Ślady środowiska eolicznego w rzeźbie powierzchni ziarn kwarcowych — wyniki analizy w elektronowym mikroskopie skaningowym (summary: Traces of éolian medium on quartz sand grain surfaces — results obtained with the scanning electron microscope). *Acta Geogr. Lodziensia*, 37.
- KLATKOWA, H., 1985 — Osady depozycji naśnieżnej późnego vistulianu (summary: Over-snow deposition of the Late Vistulian sediments). *Acta Geogr. Lodziensia*, 50.
- KRAJEWSKI, K., 1977 — Późnoplejstocénskie i holocénskie procesy wydymotwórcze w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej w widłach Warty i Neru (summary: Late-Pleistocene and Holocene dune-forming processes in the Warsaw-Berlin Pradolina). *Acta Geogr. Lodziensia*, 39.
- KRAJEWSKI, K., BALWIERZ, Z., 1985 — Stanowisko böllingu w osadach wydymowych schyłku vistulianu w Roślu Nowym k/Dąbia (summary: The site of Bölling in the dune sediments of the Vistulian decline at Rośle Nowe near Dąbie). *Acta Geogr. Lodziensia*, 50.
- KRUMBEIN, W. C., 1941 — Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *J. Sed. Petr.*, 11.
- KRYGOWSKI, B., 1964 — Graniformametria mechaniczna. Teoria, zastosowanie (Zfs.: Die mechanische Graniformametria — Theorie und Anwendung). Prace Kom. Geogr.-Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk 2.
- MANIKOWSKA, B., 1966 — Gleby młodszego plejstocenu w okolicach Łodzi (résumé: Les sols du Pléistocène supérieur aux environs de Łódź). *Acta Geogr. Lodziensia*, 22.
- MANIKOWSKA, B., 1969 — Gleba z interstadiału Alleröd na tle układu stratygraficznego utworów fazy zstępującej Würmu w okolicach Łodzi (summary: Fossil soil from Alleröd interstadial on background of deposits of waning phase of the Würm in the Łódź region). *Inst. Geogr. PAN, Prace Geogr.*, 75.
- MANIKOWSKA, B., 1970 — Późnoplejstocénskie gleby kopalne w wydmy koło Annapola and Wisła (résumé: Les sols fossiles tardiglaciaires dans la dune près d'Annapol sur la Vistule). *Acta Geogr. Lodziensia*, 24.
- MANIKOWSKA, B., 1976 — Metoda barwienia skaleni azotynokobaltanem sodu i jej zastosowanie w badaniach czwartorzędu okolic Łodzi (résumé: La méthode de la coloration des feldspaths

- à l'aide du cobaltnitrite de sodium et son emploi dans les études du Quaternaire des environs de Łódź). *Acta Geogr. Lodziensia*, 37.
- MANIKOWSKA, B., 1977 — The development of the soil cover in the Late Pleistocene and Holocene in the light of the fossil soils from dunes in Central Poland. *Quaestiones Geogr.*, 4.
- MANIKOWSKA, B., 1982a — Gleby kopalne w wydmach Polski środkowej (summary: Fossil soils in dunes of central Poland). *Roczniki Gleboznawcze*, 33, 3—4.
- MANIKOWSKA, B., 1982b — Upfreezing of stones in boulder clay of Central and North Poland. *Biul. Peryglacjalny*, 29.
- MANIKOWSKA, B., 1983 — Études paléopédologiques dans les régions des dunes de la Pologne Centrale. *Recherches Géogr. Strasbourg*, 18.
- MANIKOWSKA, B., 1985 — O glebach kopalnych, stratygrafii i litologii wydym Polski środkowej (summary: On the fossil soils, stratigraphy and lithology of dunes in Central Poland). *Acta Geogr. Lodziensia*, 52.
- MANIKOWSKA, B., 1986 — Sol fossile de la phase de transition Pléistocène — Holocène dans les dunes continentales de la Pologne Centrale. *Biul. Peryglacjalny*, 31.
- MANIKOWSKA, B., sous presse — Litostratigraphy of the Middle-Polish glaciation deposits in the open-pit mine at Bełchatów and the problem of an interstadial between the Radomka (maximum) and Warta stadials. *Quaternary Studies in Poland*.
- MANIKOWSKA, B., BALWIERZ, Z., 1987 — Analiza vistuliańskiego wypełnienia suchej doliny w północnej części odkrywki kopalni „Bełchatów” (L'analyse des dépôts vistuliens remplissant une vallée sèche dans la partie nord de la mine de lignite „Bełchatów”). Czwartorzęd rejonu Bełchatowa, II Sympozjum. Państw. Inst. Geol., Wrocław—Warszawa.
- MAROSIK, A., 1988 — Przykład litologicznego zróżnicowania osadów wydymowych na obszarze zlodowacenia środkowopolskiego i północnopolskiego (An exemple of lithological differentiation of dune sands in the area of Middle and North Polish glaciation). *Acta Univ. Lodzensis, Folia Geogr.*, 9.
- MOJSKI, J. E., 1985 — Quaternary. Geology of Poland, vol. I, part 3 b. Wyd. Geol., Warsaw.
- TURKOWSKA, K., WIECZORKOWSKA, J., 1986 — L'influence du relief sur le caractère des dépôts de versant périglaciaire dans la région de Łódź. *Biul. Peryglacjalny*, 31.
- WOJCIECHOWSKI, J., 1961 — Essai de l'identification des dépôts quaternaires d'après l'analyse minéralogique sur l'exemple de Katarzynów et de Dąbrówka près de Łódź. *Bull. Soc. Sci. Lettr. Łódź*, 12, 11.