

Henryk Maruszczak

Lublin

PROBLEME DE L'ACTION EOLIENNE DANS LA ZONE PERIGLACIAIRE PLEISTOCENE A LA LUMIERE DES INDICES GRANULOMETRIQUES

INTRODUCTION

En 1942 A. Cailleux, s'appuyant sur les résultats de l'étude des cailloux et des grains de sable éolisés, avança la thèse du rôle important du vent en milieu périglaciaire. Il y ajouta l'idée que les sables déposés avant le front des glaciers pléistocènes en Europe montrent un degré plus élevé d'usure éolienne que ceux du Sahara. Cette thèse a été assez universellement acceptée dans la suite, et d'autres faits ont été proposés à l'appui (Dylik 1952). Ils ont trouvé l'expression dans l'excellent ouvrage „Initiation à l'étude des sables et des galets” publié en 1959 par A. Cailleux et J. Tricart. Ils y qualifient le vent comme le facteur essentiel d'usure des grains de roche. L'indice indubitable d'un tel façonnement est, pour les auteurs, la présence de grains de sable ronds et mats.

Dans ce qui suit, seront présentées certaines des observations qui servent de base à la discussion sur la question des indices granulométriques de l'action éolienne. Ces observations touchent le degré d'usure des grains de sable dans diverses formations du Pléistocène supérieur dans la partie orientale de l'Europe Centrale. La grande différenciation dans l'espace exige, semble-t-il, une étude distincte des observations relatives aux terrains qui, dans le Pléistocène, se trouvaient: (1) avant le front du glacier, dans la partie intérieure de la zone périglaciaire (Pologne), (2) dans la partie extérieure de cette zone (Hongrie Septentrionale) et enfin (3) dans la zone tempérée (plaines danubiennes de Roumanie et de Bulgarie).

On a soumis à l'analyse les échantillons des dépôts étudiés sur le terrain par l'auteur. Le degré d'usure des grains, pour la majeure partie des échantillons, a été déterminé par M. J. Rzechowski, licencié, attaché à la Chaire de Géologie de l'Université Maria Curie-Skłodowska à Lublin. Il a appliqué, pour le faire, la méthode d'agrandissement photographique décrite par J. Morawski (1955).

DEGRE D'USURE DES GRAINS DE SABLE DANS LA PARTIE INTERIEURE
DE LA ZONE PERIGLACIAIRE PLEISTOCENE

L'analyse granulométrique des formations éoliennes n'a porté jusqu'ici, en Pologne, que sur le sable dunaire. Les résultats de base en cette matière sont fournis par les travaux de B. Krygowski (1956, 1958). Selon cet auteur, la part des grains usés, dans la fraction de 1 mm, peut varier de 20 à 60%, dont 20 à 30% seulement pour le Nord-Ouest de la Pologne, et 40 à 60% pour le Sud-Est. Des résultats semblables ont été obtenus par d'autres auteurs, étudiant l'indice d'usure à l'aide de méthodes différentes (Maruszczak et Trembaczowski 1960; Wojtanowicz 1960). J. Morawski, par contre, a constaté que dans le sable dunaire de la partie occidentale du Plateau de Lublin la proportion des grains usés dans la fraction 1—0,6 mm dépasse même 80% (Morawski 1959; Racinowski et Rzechowski 1960). Si nous prenons encore en considération les résultats obtenus par J. Wojtanowicz (1960), il apparaîtra que dans la fraction 1—0,5 mm des sables dunaires de la Pologne du Sud-Est, il y a 30 à 90% de grains usés. Le reste de cette fraction est fourni surtout par des grains émoussés; les grains anguleux n'y entrent que dans la proportion de quelques unités pour cent (tab. I).

Dans le Sud-Est de la Pologne à côté de dunes apparaissent les loess éoliens. Les échantillons provenant de ces formations de la partie Ouest du Plateau de Lublin ont une proportion de grains usés, dans la fraction 1—0,5 mm, oscillant entre 67 et 96%. La moyenne de 13 échantillons, contenant une quantité de grains de cette fraction suffisante pour l'analyse, est de 80%. Les grains de sable séparés du loess par tamisage sont plus usés que ceux en provenance des dunes. Il convient de souligner que tous les loess analysés appartiennent à la dernière glaciation, tandis que les sables dunaires sont du déclin de cette période ou du début de l'Holocène.

L'usure la plus faible caractérise les sables dunaires de la Pologne Nord-Ouest. B. Krygowski a constaté qu'ils n'étaient guère plus usés que les dépôts fluvioglaciaires, matériaux de départ des dunes. Réfléchissant sur la raison d'un tel état de choses, il en est venu à la conclusion que „... la période d'éolisation a certainement duré ici (c. à d. en Pologne Nord-Ouest) plus court ou bien les conditions climatiques y ont été plus défavorables; une humidité excessive pouvait gêner le roulement des grains". (Krygowski 1958, p. 84).

Pourtant, dans la partie Sud-Est de la Pologne, où les sables dunaires sont nettement plus usés, les différences entre dépôts éoliens et leur substratum sont également peu élevées. Les matériaux de départ pour les sables éoliens consistaient ici en sédiments fluviatiles, caractérisés par un

dégré élevé d'usure. B. Krygowski (1958) l'a constaté en Polésie, voisine de la Pologne du Sud-Est. Des recherches menées par J. Wojtanowicz (1960) il apparaît qu'il en est de même dans le Bassin de Sandomierz. Les loess du Plateau de Lublin ont pareillement des indices d'usure des grains à peine supérieurs à ceux des épôts fluviatiles avoisinants ou sous-jacents (tab. I).

Il semble donc que les conditions dynamiques d'éolisation des grains de sable aient été analogues dans les deux parties comparées de la Pologne, ce qui nous autorise à énoncer la thèse qu'un cycle unique d'éolisation pour l'ensemble de la Pologne a produit partout des effets semblables¹.

Les écarts dans le degré d'usure des sables dunaires en Pologne reflètent donc les différences dans les formations de départ. Dans la Pologne de Sud-Est, ces dernières ont souvent le grain bien plus usé que les sables dunaires du Nord-Ouest du pays. Aussi B. Krygowski (1958), parlant des sables fluviatiles comme des formations de départ pour les dunes de la Polésie, exprima-t-il, en 1958, l'hypothèse qu'ils „...représentaient les dunes détruites d'une époque dunaire plus ancienne” (p. 82). En 1960, attirant l'attention sur le haut degré d'usure des sables fluviatiles du Plateau de Lublin, j'exprimai l'idée, partagée par J. Trembaczowski, que ces sables „...ont subi, dans le passé, divers cycles de sédimentation, entre autres l'éolien, sans doute, avant d'être déposés à l'endroit actuel” (Maruszczak et Trembaczowski 1960, p. 171).

Les sables dunaires de la Pologne du Nord-Ouest sont issus principalement des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires de la dernière glaciation. Il est donc permis d'accepter que le degré d'usure du grain dunaire représente ici en principe l'effet de l'action d'un seul cycle d'éolisation. Les recherches faites par B. Krygowski fournissent une base pour l'évaluation quantitative des effets de l'action éolienne durant ce cycle. Il a calculé que la proportion des grains roulés dans la fraction de 1 mm est de 18% dans les sables fluvio-glaciaires, et de 26% dans les sables dunaires. Ainsi donc un seul cycle d'éolisation dans la Pologne du Nord-Ouest a eu comme effet un accroissement de 8% de la proportion de ces grains. La comparaison avec indices correspondants pour les formations éoliennes et les sables fluviatiles en Pologne du Sud-Est, donne des chiffres de même ordre (tab. I).

L'évaluation quantitative des effets de l'action d'un cycle d'éolisation fournit une base pour le calcul du nombre de ces cycles pour les grains de sable dans la Pologne du Sud-Est. La source primaire des sables dunaires

¹ Par cycle d'éolisation j'entends ici l'ensemble des processus façonnant les grains au cours du transport aérien, depuis le moment où ils ont quitté le gisement de départ jusqu'à leur déposition à l'endroit où on les trouve aujourd'hui.

Tableau I

Usure mécanique des grains de quartz dans les dépôts éoliens et autres de la partie intérieure de la zone périglaciale pléistocène (Pologne). La dernière colonne indique la source des données. Le degré de matité n'a été calculé que pour les grains usés

No	Genre de formation; provenance de l'échantillon	Diamètre des grains analysés en mm	Pourcentage quantitatif des grains						Source des données	
			selon le degré d'usure			selon le degré de matité				
			usés	émuossés	anguleux	mats	mats en partie	luisants		
Sables dunaires										
1	Niezdów près d'Opole Lubelskie	1,00—0,50	51	49	—				Maruszczak, Trembaczowski 1960	
		0,50—0,25	25	74	1					
2	Rudnik s/le San	1,00—0,50	48	46	6	23	43	34	Wojtanowicz 1960	
3	Idalin au Sud d'Opole Lubelskie	1,00—0,60	85	14	1				Morawski 1959	
Loess subaériens										
4	Lublin-Rury	1,00—0,50	79	18	2	73	24	3	Rzechowski	
		0,50—0,25	49	47	4	61	33	4		
		0,25—0,10	14	67	19	63	29	8		
5	Puławy—Włostowice	1,00—0,50	81	18	1	80	18	2	Rzechowski	
		0,50—0,25	59	39	2	72	25	3		
		0,25—0,10	18	75	7	83	14	3		

Tab. I (suite)

No	Genre de formation; provenance de l'échantillon	Diamètre des grains analysés en mm	Pourcentage quantitatif des grains						Source des données
			selon le degré d'usure			selon le degré de matité			
			usés	émuossés	anguleux	mats	mats en partie	luisants	
6	Kluczkowice près d'Opole Lubelskie	0,50—0,25	52	47	1	47	51	2	Rzechowski
		0,25—0,10	21	67	12	41	52	7	
Sables fluviatiles									
7	Rudnik s/le San	1,00—0,50	32	60	8	11	44	45	Wojtanowicz 1960
8	Lublin-Rury	1,00—0,50	72	27	1	74	20	6	
		0,50—0,25	40	54	6	53	42	5	Rzechowski
		0,25—0,10	20	61	19	73	12	15	
9	Jakubowice Mur. près de Lublin	1,00—0,50	70	27	3	63	30	7	Rzechowski
		0,50—0,25	41	53	6	86	12	2	
		0,25—0,10	20	72	8	76	21	3	
Sables de versant									
10	Kluczkowice près d'Opole Lubelskie	1,00—0,50	73	23	4	74	21	5	Rzechowski
		0,50—0,25	55	40	5	77	20	3	
		0,25—0,10	20	58	22	75	20	5	
11	Jakubowice Mur. près de Lublin	1,00—0,50	65	31	4	63	30	7	Rzechowski
		0,50—0,25	41	53	6	86	12	2	
		0,25—0,10	20	72	8	76	21	3	

et des loess sur ce terrain était constituée principalement par les dépôts glaciaires quaternaires et les dépôts marins tertiaires, caractérisés par la proportion réduite des grains usés. Ce sont les sables tertiaires qui en contiennent le moins, tandis que les dépôts fluvio-glaciaires en ont apparemment le plus. Dans la partie Est du Plateau de Lublin, ces derniers comptent en moyenne 19% de grains usés dans la fraction 1—0,5 mm (Racинowski et Rzechowski 1960). L'indice correspondant pour les sables dunaires du Bassin de Sandomierz est supérieur de 10 à 30%. Dans l'hypothèse où ces sables n'auraient été façonnés que par le vent nous obtiendrions pour eux de 1 à 4 cycles d'éolisation. Les sables dunaires du Plateau de Lublin ont de 50 à 85% de grains usés. L'écart est, dans ce cas, de 30 à 65%, ce qui correspondrait à 4—8 cycles d'éolisation. Une différence aussi sensible dans le nombre de cycles ne saurait s'expliquer par des conditions climatiques distinctes. Les deux régions mentionnées, à savoir le Bassin de Sandomierz et le Plateau de Lublin, voisinent en effet, et appartiennent au même domaine. Elles diffèrent par contre très nettement sous le rapport du relief. Sur le Plateau de Lublin les hauteurs relatives atteignent 100 m et plus, tandis qu'elles dépassent rarement 50 m dans le Bassin de Sandomierz. Dans la zone au relief plus marqué les grains de sable étaient sans doute plus souvent déplacés par diverses forces, entre autres par le vent. C'est la raison probable pour laquelle les grains de sable des dépôts éoliens et de leur substratum sont nettement plus usés sur le Plateau de Lublin que dans le Bassin de Sandomierz.

Les sables dunaires et les loess du Plateau de Lublin, montrant des indices élevés d'usure des grains, apparaissent dans le domaine glaciaire de l'avant-dernière glaciation. Les formations glaciaires et fluvio-glaciaires d'alors représentent donc la source principale des matériaux primitifs. Il semble peu vraisemblable qu'ils aient pu subir huit cycles d'éolisation. Même si nous admptions, en effet, qu'au cours d'une glaciation se soient succédé plusieurs cycles d'activité éolienne, il serait malaisé de se figurer que les sables aient été soumis à l'action du vent dans chacun d'eux. Voilà pourquoi il faut accepter que les grains de sable étaient façonnés par d'autres facteurs également.

Parmi ces facteurs non éoliens qui donnent au grain une forme arrondie, A. Cailleux et J. Tricart (1959) placent au premier plan l'eau. L'action de cette dernière cependant donne naissance à un autre type de grain, à savoir, émoussé et luisant surtout. De tels grains ne représentent qu'une faible proportion dans les formations éoliennes du Plateau de Lublin. Ils n'ont quelque importance que dans le Bassin de Sandomierz (tab. I). La part de l'eau dans le processus de façonnement des grains n'a pas donc été apparemment fort grande. Il semble par contre que d'autres facteurs,

jusqu'ici sous-estimés, aient pu jouer un rôle marqué. Je pense en particulier à la gélivation qui, selon A. Cailleux et J. Tricart (1959, p. 73), ne donne que des grains non usés. M'appuyant sur les résultats préliminaires de l'étude de la couverture d'altération apparaissant en Pologne, j'estime qu'une telle opinion est trop extrême.

La couverture d'altération en Pologne diffère très souvent sensiblement de son substratum par une plus forte proportion de grains pulvérulents. A titre d'illustration, voici la description d'une telle formation dans les environs de Kluczkowice près d'Opole Lubelskie, dans la partie occidentale du Plateau de Lublin:

- (a) 0—0,30 m — Horizon humique, limono-sableux, gris (horizon du sol „A₁”);
- (b) 0,30—0,90 m — Couche limono-sableuse, gris-clair-jaunâtre, à la partie inférieure taches et mouchetures brun-clair (horizon „A₂” et partiellement „AB”). Dans les fractions au-dessus de 0,1 mm, prédominance du quartz, qui constitue 95 à 97% de la totalité des grains;
- (c) 0,90—1,40 m — Sable et argile-sable; brunâtre avec taches et mouchetures cendré-jaunâtre (horizon „B”);
- (d) 1,40—2,90 m — Dépôt sableux stratifié, couleur cendré-jaunâtre avec traînées brunes. Couches inclinées à 1—2° selon la pente douce du versant et marquées par des différences de coloration. Dans les fractions au-dessus de 0,1 mm, le quartz constitue 96 à 98% de l'ensemble des grains.

Les horizons (a) — (c) représentent donc la formation d'altération développée sur un sous-sol de sables de la couche (d). Notons en marge que les sables de ce type sont qualifiés par J. Dylik (1955) de „dépôts périglaciaires de versant, rythmiquement stratifiés”, tandis que A. Jahn (1956) les définit comme des „sables pulvérulents de versant”. La formation d'altération, et en particulier la couche (b), diffère de son substratum par une proportion nettement plus élevée de fractions pulvérulentes (tab. II). W. Pożaryski (1953) définissait de tels produits d'altération comme du „loess sus-jacent”. Certains auteurs étrangers sont, eux aussi, enclins à considérer les formations de ce type comme du loess (Birman 1952). Quant à J. Dylik (1952, Dylik et Klatka 1952), qui les a reconnus sur le terrain de la Pologne centrale, il les définit comme „semblables au loess”, mais lie décidément leur genèse avec la gélivation.

Nous avons donc le droit de suggérer que les processus d'altération, auxquels nous devons la naissance de la formation décrite ci-dessus, se

sont déroulés avec la participation évidente du gel. Malgré cela, il n'y a pas eu d'accroissement de grains anguleux, bien au contraire, c'est le nombre de grains usés qui s'en est trouvé augmenté (tab. III). On peut donc estimer qu'au moment du gel et du dégel, les grains de sable subissaient des déplacements et s'usaient par frottement à l'intérieur de la formation de couverture. En conséquence ils devenaient plus arrondis et mats.

Il semble donc que les indices élevés d'usure mécanique des grains de sable dans la partie intérieure de la zone périglaciaire pléistocène soient dus non seulement à l'action du vent et de l'eau mais encore à celle du gel.

Tableau II

Composition granulométrique de la formation d'altération et de son substratum à Kluczkowice près d'Opole Lubelskie. Résultats de l'analyse obtenue par voie de tamisage

Description de la formation et profondeur de prélèvement de l'échantillon	Contenu en % de poids de grains dans la fraction (en mm)					
	plus de 1	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,10	0,10—0,08	moins de 0,08
dépôt d'altération pulvérulent; horizon (b); 0,75 m	0,02	1,9	38,5	23,7	4,3	31,6
sables de versant; horizon (d); 1,6 m	0,1	3,4	52,0	32,1	2,6	9,8

Tableau III

Usure mécanique des grains de quartz dans la formation d'altération et son substratum à Kluczkowice près d'Opole Lubelskie. Analyse effectuée par J. Rzechowski

Description de la formation et profondeur de prélèvement de l'échantillon	Fraction des grains en mm	Pourcentage quantitatif des grains					
		selon le degré d'usure			selon le degré de maturité		
usés	émoussés	anguleux	mats	mats en partie	luisants		
dépôt d'altération pulvérulent; horizon (b); 0,75 m	1,00—0,50	75	19	6	80	17	3
	0,50—0,25	63	32	5	84	11	5
	0,25—0,10	29	58	13	82	15	3
sables de versant; horizon (d); 1,60 m	1,00—0,50	73	23	4	74	21	5
	0,50—0,25	55	40	5	77	20	3
	0,25—0,10	20	58	22	75	20	5

DEGRE D'USURE DES GRAINS DE SABLE DANS LA PARTIE EXTERIEURE DE LA ZONE PERIGLACIAIRE PLEISTOCENE

Ces dernières années on a constaté en Hongrie la présence de certains phénomènes qui tendraient à indiquer l'existence de gel perpétuel au Pléistocène (Pécsi 1961). La thèse de J. Büdel (1951) qui, dans son essai de restitution du climat de l'Europe à l'époque de la dernière glaciation, plaçait ce pays dans la zone de steppe loessique, n'est donc pas entièrement valable à présent. Il semble qu'on peut traiter au moins le Nord et le Nord-Ouest de la Hongrie comme des terrains représentatifs de la partie extérieure de la zone périglaciaire. C'est là qu'ont été prélevés, pour l'analyse, les échantillons de formations éoliennes provenant de l'époque de la dernière glaciation et partiellement de l'Holocène inférieur.

Les formations éoliennes hongroises sont en général beaucoup plus faiblement usées que leurs analogues en Pologne (tab. IV). C'est ce qu'a constaté aussi E. Mycielska-Dowgiallo (1963). D'entre les 15 échantillons de sable dunaire analysés (dont 3 provenaient du territoire slovaque au voisinage immédiat de la Hongrie) 3 seulement, en provenance de la partie occidentale de la Hongrie, contenaient 52—54% de grains usés dans la fraction 1—0,50 mm. Les dunes des environs de Budapest n'en ont que 20 à 30% celles du Nord-Est de la Hongrie et des plaines de la Slovaquie Orientale environ 20%, très souvent même moins de 10%. Les loess hongrois se distinguent encore plus nettement des loess polonais par des indices moins élevés d'usure. Parmi les autres formations, non éoliennes, les sables et les argiles de versant dans l'Ouest de la Hongrie ont le grain relativement bien usé (tab. IV).

Les différences entre les indices d'usure des formations éoliennes et ceux de leur substratum sont de même ordre qu'en Pologne. C'est ce qu'indique en particulier la comparaison avec les sables fluviatiles, source principale des matériaux dunaires (tab. IV). L'usure plus faible des grains provenant de la partie extérieure de la zone périglaciaire témoigne donc qu'ils ont subi moins de cycles d'éolisation. L'on peut supposer en même temps, que c'est la moindre proportion d'usure par gélivation qui, jusqu'à un certain point, en a décidé aussi. En Hongrie, en effet, les formations de couverture, laissant supposer la participation du gel dans les processus d'altération, sont moins développées et apparaissent plus rarement qu'en Pologne.

Les résultats de l'analyse des formations éoliennes hongroises laissent suggérer que leur usure est plus faible dans la partie Est du pays que dans l'Ouest. Les sables dunaires et même les dépôts de versant apparaissant à l'Ouest du Danube ont le grain sensiblement plus usé que les dépôts

Tableau IV

Usure mécanique des grains de quartz des dépôts éoliens et autres dans la partie extérieure de la zone périglaciaire pléistocène (Hongrie). Analyse effectuée par J. Rzechowski

No.	Genre de dépôt; provenance de l'échantillon	Diamètre des grains analysés en mm	Pourcentage quantitatif des grains					
			selon le degré d'usure			selon le degré de matité		
			usés	émolusés	anguleux	mats	mats en partie	luisants
Sables dunaires								
1	Nagydorog à W de Paks	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	54 25 21	36 50 51	11 25 28	93 80 87	5 19 11	2 1 2
2	Dunaharasti près de Budapest	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	24 19 14	57 54 53	19 27 33	88 88 95	8 9 2	4 3 3
3	Teglas au N de Debrecen	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	4 3 3	68 56 45	28 41 52	28 32 34	91 94 90	— — 2
Loess subaériens								
4	Nagymaros près de Visegrád	0,50—0,25 0,25—0,10	34 21	34 45	32 34	91 94	59 63	— —
5	Kislok près de Sárbo-gárd	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	24 13 12	34 42 43	42 45 45	95 79 90	5 18 8	— 3 2
6	Tiszafüred au NW de Debrecen	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	5 2 2	52 41 36	43 57 62	— — —	— — —	—
Sables fluviatiles								
7	Budapest	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	31 21 20	53 57 56	16 22 24	85 95 93	11 5 7	4 — —
8	Velence au SW de Budapest	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	2 6 10	64 60 63	34 34 27	— — —	— — —	—
9	Tiszafüred au NW de Debrecen	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	4 3 3	67 49 9	29 48 88	— — —	— — —	—
10	Szigliget sur le Balaton	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	55 38 14	36 44 55	9 18 31	75 83 81	21 13 17	4 4 2

Tabl. IV (suite)

No.	Genre de dépôt; provenance de l'échanitillon	Diamètre des grains analysés en mm	Pourcentage quantitatif des grains:					
			usés	émous-sés	angu- leux	selon le degré d'usure	selon le degré de matité	mats en partie
11.	Andráshida à W de Zalaegerszeg	1,00—0,50	38	49	13	97	3	—
		0,50—0,25	17	57	26	90	8	2
		0,25—0,10	12	57	31	94	6	—
Dépôts d'altération								
12.	Szigliget sur le Balaton	1,00—0,50	61	34	5	92	6	2
		0,50—0,25	25	62	13	84	13	3
		0,25—0,10	9	54	37	80	13	7

Remarque: le degré de matité n'a été évalué que pour les grains usés. Quand la proportion de ceux-ci était inférieure à 5%, les indices de matité n'étaient pas calculés.

éoliens des environs de Debrecen et de la Slovaquie du Sud-Est. Une telle constatation paraît inattendue car l'on aurait pu estimer que le climat nettement plus continental dans l'Est a favorisé le processus d'éolisation. Pourquoi donc grains de sable à l'Ouest ont-ils subi un plus grand nombre de cycles d'éolisation, et peut-être même la gélivation? Le fait est probablement à lier avec différences dans la „mobilité” des dépôts. Un relief plus accentué et un climat plus humide ont favorisé, à l'Ouest, le développement de la solifluxion et du ruissellement. Grâce à une plus grande mobilité, les grains de sable ont pu être, plus souvent qu'à l'Est, exposés à l'action des agents qui les façonnaient.

On peut donc penser que le degré d'usure des grains dans la partie extérieure de la zone périglaciaire fut également, dans une mesure réduite, directement dépendant des conditions climatiques à l'époque de l'éolisation. Il est par contre vraisemblable qu'un rôle important a été joué par les conditions climatiques et le relief dans la détermination du caractère et de la vitesse des processus de déplacement des dépôts meubles.

DEGRE D'USURE DES GRAINS DE SABLE DANS LA ZONE TEMPEREE PLEISTOCENE

Dans leurs travaux parus ces dernières années, les auteurs roumains tendent à voir des traces de phénomènes périglaciaires dans les plaines fluviatiles du bas Danube (Morariu *et al.* 1960). Sur la base de mes observations personnelles, j'estime cependant que ces plaines ne portent pas de traces certaines de gel perpétuel. Voilà pourquoi je considère que cette

région faisait partie de la zone tempérée à l'époque de la dernière glaciation. Aussi est-ce à juste titre que J. Büdel (1951) les a placées dans la zone de la steppe loessique. De ces plaines également ont été prélevés, pour l'analyse, des échantillons de formations datant de la dernière glaciation, ou éventuellement, de l'Holocène le plus ancien.

Dans mon ouvrage de 1960, publié en collaboration avec J. Tremba-
czowski, j'attirais déjà l'attention sur le fait que les grains des formations éoliennes sur le bas Danube se distinguaient par leur faible usure. Dans les fractions 0,50—0,10 mm des sables dunaires et des loess, le grain anguleux est le plus caractéristique (tab. V). Les grains usés, même dans la plus grande des fractions étudiées, à savoir 1—0,50 mm, entrent pour moins de 10% en règle générale.

Tableau V

Usure mécanique des grains de quartz des dépôts éoliens et autres dans la zone pléisto-cène tempérée (plaines danubiennes de Roumanie et de Bulgarie). Analyse effectuée par J. Rzechowski

No.	Genre de dépôt; provenance de l'échantillon	Diamètre des grains analysés en mm	Pourcentage quantitatif des grains:					
			selon le degré d'usure			selon le degré de matité		
			usés	émoussés	anguleux	mats	mats en partie	luisants
Sables dunaires								
1	Galicea Mare au SW de Craiova	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	9 5 2	71 60 36	20 35 62	70 64	17 22	13 14
2	Novo Selo au NW de Vidin	1,00—0,60 0,50—0,25 0,25—0,10	5 6 7	64 54 35	31 40 58	57 82 80	36 18 20	7
Loess subaériens								
3	Segarcea de Vale près de Turnu-Magurele	0,50—0,25 0,25—0,10	1 1	51 33	48 66			
4	Bujoru au SW de Giurgiu	0,50—0,25 0,25—0,10	1 1	21 9	78 90			
5	Bucuresti	0,25—0,10	4	42	54			
Sables fluviatiles								
6	Gomotarcy près de Vidin	0,50—0,25 0,25—0,10	3 2	26 25	71 73			
7	Bucuresti—Colentin	1,00—0,50 0,50—0,25 0,25—0,10	3 1 0,3	63 42 27	34 57 73			

Remarque: pour l'évaluation de la matité il a été procédé comme dans le tab. IV.

Les formations du substratum, d'où le vent puisait les matériaux des dunes et du loess sur le bas Danube, sont représentés, dans le tableau annexe (tab. V), par les dépôts fluviatiles. C'était décidément du reste la source prédominante. Ces dépôts fluviatiles ont, il va sans dire, des indices encore plus bas d'usure mécanique. Un nombre insuffisant d'analyses ne permet pas, pour le moment, de déterminer plus exactement le „rendement” d'un cycle d'éolisation. Il paraît toutefois certain que les grains de sable de la zone tempérée, sur le bas Danube, ont subi un nombre moindre de cycles que ceux de la zone périglaciaire.

Je voudrais encore attirer l'attention sur certains faits qui précisent indirectement le rôle du vent dans la zone tempérée. Ainsi la grande extension et l'épaisseur de la couverture de loess subaérien sur le bas Danube permettent de penser que les effets géomorphologiques de l'action du vent au Pléistocène y étaient marqués. En même temps cependant, l'emplacement des loess et d'autres faits montrent que la force de ces vents était plus réduite que dans la zone périglaciaire en Pologne (Maruszczak, 1964). C'est aussi pour cette raison peut-être que les effets d'éolisation des grains y étaient inférieurs. Il ne paraît pas que ce fût la cause principale de leur faible usure.

Les sédiments fluviatiles qui constituent le substratum et la source des dépôts éoliens sur le bas Danube, contiennent beaucoup de grains de minéraux facilement altérables. Dans les sables fluviatiles des environs de Vidin, le quartz constitue près de 50% de l'ensemble des grains, et 80% dans la région de Bucarest. Les feldspaths et les carbonates entrent pour 5 à 11%, les micas jusqu'à 60%. Dans les dépôts correspondants du Plateau de Lublin, en Pologne, la proportion des grains de quartz dépasse le plus souvent 90%, tandis que celle des feldspaths et des calcaires ne représente que quelques unités pour cent. La composition des sables fluviatiles du Danube permet donc de suggérer qu'ils ont une histoire moins complexe et moins riche en événements. Il se peut qu'ils n'aient subi que le cycle de transport par eau et n'aient été soumis à aucun façonnement éolien.

La faible usure des grains de sable sur le bas Danube résulte donc certainement, dans une grande mesure, du peu de mobilité des dépôts; en ont décidé les conditions géologiques, géomorphologiques et climatiques de la région. Une partie importante des plaines danubiennes appartient à des terrains qui s'enfonçaient assez intensivement durant le Quaternaire (Liteanu 1959). Ce fait entraîne la faiblesse du relief et une sédimentation continue de couches de plus en plus jeunes. En conséquence les matériaux une fois déposés, n'avaient qu'une chance limitée d'être déplacés vers des gisements nouveaux. Le climat, au caractère sec et continental marqué,

ne favorisait pas non plus ce déplacement. Cet ensemble de conditions s'exprime, entre autres, dans l'excellent état de conservation, sur les vastes plaines, des sols fossiles loessiques.

CONCLUSIONS

(1) Les formations éoliennes du Pléistocène supérieur en Europe Centrale présentent beaucoup de différences quant aux indices d'usure des grains. Dans la partie intérieure de la zone périglaciale pléistocène (Pologne), la proportion des grains usés oscille entre 20 et 95%, pour la fraction 1—0,50 mm, tandis qu'elle varie de 5 à 55% dans la partie extérieure de cette zone (Hongrie Septentrionale), et ne dépasse pas 10% dans la zone tempérée pléistocène (plaines du bas Danube). Ces écarts reflètent les différences d'usure des grains dans les formations de départ des dépôts éoliens. Le grain dunaire ou loessique est d'autant plus arrondi que l'était le grain dans la formation de départ.

(2) Les différences dans le degré d'usure des formations éoliennes et des dépôts de départ, sous-jacents, sont relativement peu élevées. En Pologne, cet écart n'est que de 5—10% de l'ensemble des grains, pour la fraction 1—0,5 mm. Nous pouvons considérer l'indice donné comme exprimant l'effet de l'action d'un cycle d'éolisation dans la partie intérieure de la zone périglaciale. Cet effet a été de même ordre dans la partie extérieure de cette zone (Hongrie Septentrionale). Il est donc permis de penser que dans la zone périglaciale, les effets de l'action éolienne sur les grains de sable au cours d'un cycle dépendaient dans une faible mesure des conditions climatique de cette action.

(3) Les sables dunaires contenant 20 à 30% de grains usés dans la fraction 1—0,5 mm, apparaissent dans la partie intérieure de la zone périglaciale qui comprenait les terrains couverts par le glacier durant la dernière glaciation (Würm). Les matériaux primaires de ces sables étaient constitués principalement par les sédiments fluvio-glaciaires de cette époque. Ils n'ont donc été soumis, sans nul doute, qu'à l'action d'un seul cycle d'éolisation, ce qui rend compte entièrement du faible degré d'usure des dépôts éoliens. Des dépôts éoliens à indices supérieurs d'usure apparaissent dans le domaine des glaciers des glaciations plus anciennes, (Riss et Mindel). Là aussi, les matériaux primaires étaient constitués dans une large mesure par les sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires de ces époques anciennes. Cependant, avant d'entrer dans la composition des dépôts éoliens du Pléistocène supérieur, étudiés ici, ils ont dû passer par des processus complexes. Ils ont dû, sans aucun doute, maintes fois être déplacés et façonnés par des forces diverses, entre autres par le vent.

(4) Il est difficile d'expliquer exclusivement par l'action du vent les indices élevés d'usure des grains dans la partie intérieure de la zone périglaciaire. En présence du faible rendement d'un cycle d'éolisation il faudrait admettre, en effet, une fréquence trop élevée de ces cycles. Aussi doit-on attribuer une partie de l'effet d'usure des grains à l'action d'autres facteurs, non éoliens. D'entre ces derniers on éliminait jusqu'ici à tort l'influence de gel, considérant qu'elle ne donnait naissance qu'à des grains non usés. L'examen de certaines formations d'altération périglaciaires permet de suggérer qu'en suite de gels et dégels répétés, les grains subissaient des déplacements dans la couche active et par là s'émoussaient et s'arrondissaient.

(5) La prise en considération de l'action du gel nous permet d'expliquer, en partie, la différence d'usure des grains dans les dépôts des zones distinguées. Les écarts sont trop élevés pourtant pour qu'on puisse les interpréter simplement comme l'effet de l'action décroissante du gel, du Nord au Sud. On peut donc supposer que la fréquence des périodes de soumission des grains à l'action du vent est allée en diminuant dans le même sens. Cette fréquence toutefois n'a pas été conditionnée uniquement par les particularités de la dynamique de l'atmosphère dans les zones étudiées.

(6) Les indices d'usure des grains manifestent une certaine relation avec le relief du terrain. Ils sont plus forts dans les régions au relief plus prononcé. Dans ces régions, les dépôts meubles faisaient plus souvent l'objet de déplacements, les grains pouvaient donc être plus fréquemment exposés à l'action du vent ou du gel. Dans des conditions morphologiques semblables, la vitesse d'un tel déplacement était plus grande en zone périglaciaire qu'en zone tempérée. Dans la première il s'accompagnait en effet de solifluxion et de ruissellement. Dans la partie de la zone tempérée étudiée ici, les conditions tectoniques créaient en outre des circonstances supplémentaires particulièrement défavorables au déplacement des grains. En effet, l'enfoncement de vastes étendues sur le bas Danube, durant le Pléistocène, entraînait la superposition de dépôts de plus en plus jeunes, ce qui réduisait grandement la circulation des grains.

Bibliographie

- Birman, J. H. 1952 — Pleistocene clastic dikes in weathered granite-gneiss, Rhode Island. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 250; p. 721—734.
- Büdel, J. 1951 — Die Klimazonen des Eiszeitalters. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Bd. 1; p. 16—26.

- Cailleux, A. 1942 — Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Mém. Soc. Géol. France*, N. S., 21, no 46; p. 1—176.
- Cailleux, A., Tricart, J. 1959 — Initiation à l'étude des sables et des galets. Paris.
- 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). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 67; p. 231—332.
- Dylik, J. 1955 — Rhythmically stratified periglacial slope deposits. *Biuletyn Peryglacjalny*, nr 2; p. 175—185.
- Dylik, J., Klatka, T. 1952 — Recherches microscopiques sur la désintégration périglaciaire. *Bull. Soc. Sci. Lettr. de Łódź*, vol. 3, nr 4.
- Jahn, A. 1956 — Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd (summary: Geomorphology and Quaternary history of Lublin Plateau). *Prace Geogr. Inst. Geogr. PAN*, nr 7;
- Krygowski, B. 1956 — Z badań granulometrycznych nad utworami plejstoceńskimi w Polsce zachodniej (summary: Granulometric investigations of the Pleistocene of Western Poland). *Biul. Inst. Geol.*, 100; p. 503—608.
- Krygowski, B. 1958 — Niektóre dane o piaskach wydm śródlądowych na terenie Polski i obszarów przyległych (résumé: Quelques données sur les sables des dunes continentales). En: *Wydmy śródlądowe Polski*, cz. 1; p. 73—86, Warszawa.
- Liteanu, E. 1959 — Karta tchetvertitchnykh otlojenij v nekarpatskoy tchasti Rumunskoy narodnoy respubliki (Carte des dépôts quaternaires de la partie extracarpatique de la R. P. Roumaine). *Biul. Kom. po izuch. tchetvertitchnogo perioda*, 25; p. 17—34, Moskva.
- Maruszczak, H. 1964 — Conditions d'accumulation du loess [dans la partie orientale de l'Europe Centrale *Geogr. Polonica*, vol. 2.
- Maruszczak, H., Trembaczowski, J. 1960 — Próba porównania wydm śródlądowych okolic Widina (Bułgaria) i Wyżyny Lubelskiej (summary: Attempt of comparing continental dunes of the Vidin region, Bulgaria, with dunes on the Lublin Plateau, Poland). *Czas. Geogr.*, t. 31; p. 163—178, Wrocław.
- Morariu, T. et al. 1960 — Le stade actuel des recherches sur le périglaciaire de la R. P. Roumaine. *Recueil d'études géographiques* ...; p. 45—53, Bucarest.
- Morawski, J. 1955 — Metoda badania morfologii ziarn piasku za pomocą powiększalnika fotograficznego (summary: Morphological analysis of sand grains by a photographic enlarger). *Annales Univ. M. Curie-Skłodowska*, sec. B, vol. 10; p. 199—221.
- Morawski, J. 1959 — Deluwia piaszczyste z działu wodnego Wyżnicy i Podlipia (Sandy deluvia in watershed between Wyżnica and Podliphie). *Przegl. Geol.*, 7; p. 207—210, Warszawa.
- Mycielska-Dowgiałło, E. 1963 — Pomiary stopnia obtoczenia ziarn piasku i zastosowanie ich do badań geomorfologicznych (summary: Measurements of rounding of grain and the use made of them in geomorphological studies). *Przegl. Geogr.*, t. 35; p. 65—76, Warszawa.
- Osnowy geokriologii, merzlotovedenia (Principes de géocryologie). Moskva, 1959.
- Pécsi, M. 1961 — A periglaciális talajfagyjelenségek föbb típusai Magyarországon (Zfs.: Die wichtigeren Typen der periglazialen Bodenfrosterscheinungen in Ungarn). *Földrajzi Közlemények*, 9; p. 1—24.

- Pożaryski, W. 1953 — Plejstocen w przełomie Wisły przez wyżyny południowe (summary: The Pleistocene in the Vistula gap across the Southern Uplands). *Prace Inst. Geol.*, t. 9, Warszawa.
- Racinowski, R., Rzechowski, J. 1958 — Próba wykorzystania stopnia obtoczenia ziarn skalnych dla genetycznej klasyfikacji osadów pleistoceńskich (summary: An attempt of using the degree of rounding of rocky grains for the genetic classification of the Pleistocene deposits). *Annales Univ. M. Curie-Skłodowska*, sec. B, vol. 13; p. 107—117.
- Racinowski, R., Rzechowski, J. 1959 — Z badań nad granulometrią osadów pleistoceńskich okolic Chełma Lubelskiego (summary: On the granulometric investigations of Pleistocene deposits found in the environs of Chełm Lubelski). *Annales Univ. M. Curie-Skłodowska*, sec. B, vol. 14; p. 207—292.
- Wojtanowicz, J. 1960 — Wydmy okolic Rudnika nad Sanem (Dunes aux environs de Rudnik sur le San). Manuscript Univ. M. Curie-Skłodowska.