

LES CAILLOUX FAÇONNÉS ET LA DIRECTION DU VENT QUI LES A FORMÉS (VENT "FOSSILE")

Sommaire

I. Etablissement du fait qu'il y a deux genres essentiellement différents de faces, et — ce qui est le plus important — deux genres d'arêtes de ces cailloux: faces rabotées par le vent, et faces vierges — d'une part — et arêtes se trouvant entre deux faces rabotées (1^{er} genre), et arêtes se trouvant entre une face rabotée et une autre vierge (2^{ème} genre). Différence essentielle entre la disposition (relative au vent) des arêtes du premier genre et celle du deuxième. Impossibilité foncière de déterminer la direction du vent à partir de l'ensemble de tous les arêtes et nécessité de les traiter à part.

II. Exemples statistiques de distributions des directions des arêtes des cailloux façonnés pour tous trois cas: arêtes du 1^{er} genre, arêtes du deuxième, toutes arêtes réunies. Confirmation des résultats du I: disjonction de l'ensemble "toutes arêtes réunies" en deux ensembles particuliers.

III. Direction du vent. Considération de résultats antérieurs. Lois de A. Heim et de A. Cailleux. Loi plus différenciée qui doit être établie sur la base de la distinction fondamentale des deux genres d'arêtes.

IV. Quelques remarques sur la théorie du façonnement des cailloux par le vent, donné par l'auteur anciennement (*C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 242, p. 1683, 1956), et existence de deux genres décrits de faces et d'arêtes. Conclusions.

1. Les cailloux plus ou moins arrondis grâce à l'action de différentes formes d'érosion peuvent, comme il est bien connu, devenir de nouveau anguleux sous l'influence assez prolongée de l'érosion éolienne. C'est ainsi qu'on trouve des cailloux façonnés par le vent dans des endroits très divers mais de préférence dans les déserts ou dans le voisinage des glaciers, actuels ou ayant existé à des époques glaciaires lointaines. Ces cailloux façonnés ont fait l'objet des observations et des recherches de nombreux auteurs, dont une partie est citée ¹. Pour fixer les idées, soulignons que ces cailloux ont le plus souvent une dizaine de centimètres, quoique les cailloux mesurant quelques centimètres ou plusieurs mètres ne soient pas exclus.

Le passage à la forme anguleuse s'effectué évidemment par la formation de faces et d'arêtes, et précisément celles-ci ont été le sujet préféré des recherches antérieures. Malheureusement personne ne semble avoir donné assez d'attention à un fait fondamental: les faces se partagent en deux groupes essentiellement différents, et les arêtes aussi.

Un malentendu se produit à cause de l'impossibilité de déterminer

* Professeur à l'Institut de Statistique de l'Université de Paris. Adresse private: 41, rue Albert Peuvrier, St Michel-sur-Orge (S & O), France.

¹ Cette petite bibliographie à la fin n'a aucune prétention d'être complète.

sur un champ de cailloux éolisés la direction du vent immédiatement à partir de la position des arêtes et des faces. Toutefois cette impossibilité est due à deux causes: (1) incessant changement de la direction du vent au cours de chaque journée, semaine, année (la direction moyenne du vent d'une époque donnée, actuelle ou passée, a toujours une dispersion considérable), et (2) changement de cette direction moyenne (le vent actuel et le vent fossile ne sont pas forcément les mêmes). Cette impossibilité ne doit pas nous inciter à fermer les yeux sur le fait fondamental que — comme les expériences dans les laboratoires le montrent — le vent peut raboter de préférence les faces qu'il rencontre soit de front, soit dans un passage parallèle (assez long); les faces opposées au vent, abritées par le corps même du caillou sont plus ou moins protégées et ne subissent pas un rabotage pareil à celui que réalise le vent sur les autres faces. Il faut ainsi distinguer, au moins théoriquement, les faces qui viennent d'être rabotées par le vent, et les faces non-rabotées, qu'on puisse les distinguer sur le terrain ou non. Naturellement, on comptera parmi ces faces „non-rabotées” aussi celles qui ont entièrement ou en parties rabotées à une époque antérieure et devenues relativement moins rabotées par rapport à d'autres faces actuellement soumises à l'influence de l'érosion éolienne. L'existence des deux sortes de faces s'explique théoriquement par la remarque que l'action du vent derrière un obstacle est dû à un tourbillon stabilisé, ce qui n'est possible que dans le cas des obstacles réguliers (des dunes par exemple; Matschinski 1952) et ce qui n'est pas le cas des cailloux façonnés, qui sont disposés — comme on l'observe toujours — très irrégulièrement.

Du fait élémentaire de l'existence de deux genres de faces, découle un autre, beaucoup moins évident, celui de l'existence de deux genres d'arêtes celles déterminées et formées exclusivement par l'érosion éolienne (arêtes se trouvant entre deux faces rabotées), et arêtes déterminées non seulement par cette érosion, mais aussi par la forme primitive (arêtes se trouvant entre une face nouvellement rabotée et une autre face vierge ou rabotée antérieurement). Un troisième genre serait celui des arêtes entre deux faces vierges; mais dans le cas de la géomorphologie périglaciaire ou proglaciaire qui nous intéresse ici spécialement, le matériel primitif est formé par les cailloux émoussés par les glaciers et leurs eaux de fonte, pour lequel la quantité relative des cailloux du troisième genre est négligeable.

Le but de cet essai est précisément l'indication sur une possibilité d'arriver, utilisant la statistique, à la détermination de la direction du vent fossile à partir de mesures des angles des arêtes, quoique l'observation immédiate des faces ne nous dit rien exact du temps de leur rabotage.

2. Il est évident que — comme pour les faces — il existe une différence essentielle entre la disposition (relative au vent) des arêtes du premier genre et celle du deuxième. En effet, comme le montrent les figures 1—a et 1—b — la direction des arêtes du premier genre sera — en projection horizon-

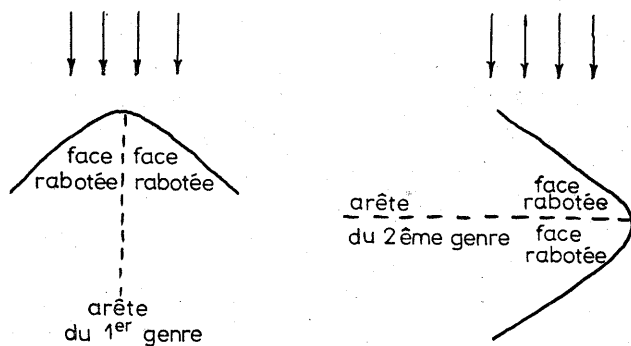


Fig. 1

talement — à peu près parallèle au vent ², — quoique pouvant avoir une inclinaison allant jusqu'à quelques dizaines des degrés; tandis que la direction des arêtes du deuxième genre — toujours projetée sur le plan horizontal — sera beaucoup plus inclinée, allant jusqu'à être perpendiculaire au vent.

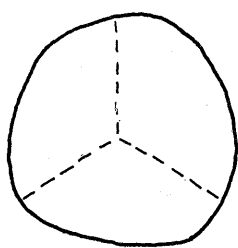
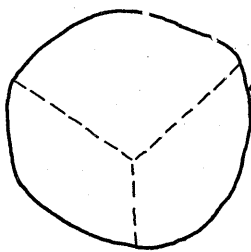
1-ère hypothèse
(vraisemblable)2-ème hypothèse
(vraisemblable)

Fig. 2

Dans le cas élémentaire (fig. 2) d'un *Dreikanter* régulier et d'un vent d'une direction dominante constante — cas qui illustre parfaitement le résultat obtenu — il n'y a qu'une arête du premier genre, parallèle au vent, et deux arêtes du deuxième genre qui ont l'angle d'inclinaison (par rapport au vent) de 60°; et ceci indépendamment de l'hypothèse de la fig. 2-a,

² Parce que seules les faces exposées au vent peuvent être rabotées.

ou de 2-b, qu'on puisse faire. C'est-à-dire elles sont deux fois plus proche à „l'état perpendiculaire” (angle = 90°) qu'à „l'état parallèle” (angle = 0°). Naturellement en général le vent ne conserve pas la direction, et les formes (primitives et créées par l'érosion) ne sont pas idéales; ainsi la question sur la relation entre les directions observées des arêtes et celle du vent ne peut avoir qu'une réponse statistique. Mais, comme les considérations exposées le prouvent, il est impossible de chercher cette relation entre le vent et l'ensemble de toutes les arêtes. Le „comportement” des arêtes du premier genre et celles du deuxième étant sensiblement différent, il ne faut que chercher à établir les lois spécialisées pour la dépendance statistique entre la direction du vent et celles des arêtes des différents genres, arêtes représentées (pour simplifier) par leurs projections horizontales.

Indépendamment de toute considération théorique, ce fait fondamental — qu'il y a deux lois, mais point une seule — peut être établi purement sur la base des observations. Considérons par exemple l'ensemble de 20 cailloux façonnés (ayant en tout 60 arêtes) cité par A. Cailleux (1942, p. 43). Il donne orientation de ces 20 cailloux (observés sur une surface de déflation à Gunnarsholt en Islande). Mesurant les angles d'orientation avec précaution, et remplaçant les arêtes un peu incurvées par une ligne droite et les arêtes très incurvées (dans trois cas seulement) par deux lignes droites appropriées, on arrive aux résultats suivants (voir la figure 3). Des

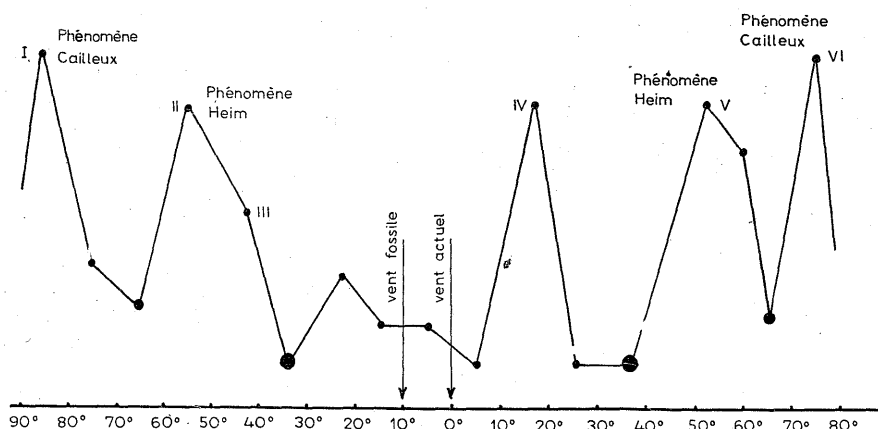


Fig. 3

deux angles complémentaire entre deux directions, on a toujours pris le plus petit; les angles mesurés du côté gauche du vent (en le regardant en face) sont portés à gauche du point zéro sur cette figure, les angles mesurés du côté droit, à droite.

La figure 3 comporte six maximums, toutefois — étant donné le degré de symétrie de ces résultats — il est probable que les maximums „I” et „VI” correspondent à un même phénomène; de même, pour „II” et „V”, et pour „III” et „IV”. C’est pourquoi il faut considérer l’existence de trois maximums réels comme établi (dans ce cas). Plusieurs autres exemples nous amènent aux mêmes résultats. Ainsi, répétons le, il n’y a pas simple dépendance entre le vent et les arêtes, mais dépendances spécialisées entre le vent et différents genres d’arêtes.

3. L’interprétation de la figure 3 (ou autres semblables) ne peut être que la suivante. Il existe au moins trois dépendances: arêtes (en nombre de 18) qui sont plus ou moins perpendiculaires (maxima I et VI correspondant à 85° — 75°), arêtes ($\cong 26$) inclinées à peu près 55° — 45° sur la direction du vent (II et V) et arêtes (en nombre de 16) sensiblement parallèles au vent (faibles maxima III et IV correspondant à 15° — 20°). Il est donc complètement impossible de déterminer la direction du vent à partir de la moyenne de toutes les arêtes et de leurs directions; il faut traiter à part les différents genres.

Jusqu’ici des résultats que nous avons tiré des observations des autres chercheurs et de nous-mêmes d’une part, et les résultats des considérations théoriques de l’autre coïncident. Ainsi on peut douter de l’utilité de ces derniers. Alors, nous allons montrer que les résultats théoriques permettent une interprétation plus complète de la figure 3; dans ce but considé-

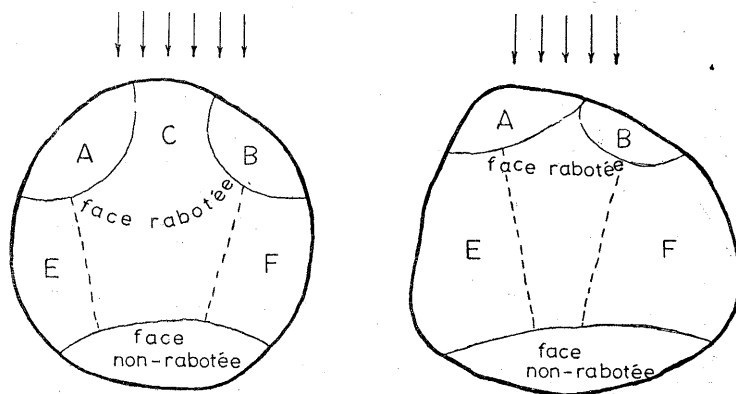


Fig. 4

rons le façonnement des cailloux par un vent chargé de sable fin (Matschinski 1956). La fig. 4 illustre le commencement du processus; ici on n’a encore qu’une variété de *Zweikanter*s. Cependant le rabotage des parties A et B sera de plus en plus intense que celui des parties centrales (C). En effet, la quantité du sable agissant en A et B est beaucoup plus

grande: en *C* il n'agit que le sable qui arrive immédiatement, tandis que en *A* et *B* ce sont les grains apportés immédiatement plus les grains arrivés de *C* qui travaillent le corps du caillou. Ainsi la forme s'approche peu à peu de celle indiquée dans la figure 5: une arête ayant une projection plus ou moins parallèle au vent se forme. Le *Dreikanter* ainsi réalisé peut conserver définitivement ses trois arêtes ou subir ultérieurement des transformations en caillou à nombre d'arêtes plus élevé, 4, 5 et plus encore. Cette transformation peut s'effectuer de deux façons: soit à cause du changement de la direction du vent (fig. 6), soit à cause du fait que le sable glisse à la surface dans certains endroits, et que par conséquent le rabotage des endroits *E* et *F* (fig. 4) peut être plus faible qu'aux endroits *G* et *H* (fig. 4 et 7).

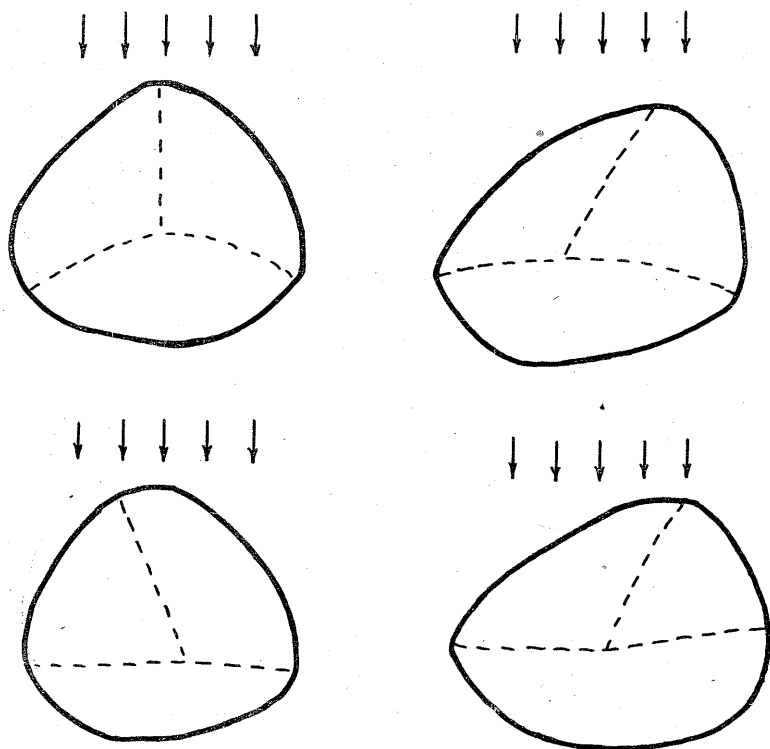


Fig. 5

En définitive: il faut interpréter les maximums I et VI (fig. 3) comme dûs à la présence de *Ein-* et *Zweikanter*s parmi les cailloux en question et aussi à celle des cailloux de formes à plusieurs arêtes, où la face arrière est la plus faiblement touchée. Les maximums II et V (fig. 3) correspondent

aux *Dreikanter*s et à la partie de cet autre ensemble constitué de cailloux, où cette face arrière est un peu plus touchée par l'érosion, au moins près du sommet (voir le schéma de la fig. 8). Enfin, les maximums proches du point zéro (fig. 3) révèlent l'existence des arêtes „du front” comme celles de tout *Dreikanter* (fig. 5) et aussi de toutes les formes comportant plus de deux arêtes.

De ce point de vue les règles données précédemment sur la dépendance entre la direction des arêtes et celle du vent — hypothèse de Heim (1888) (le vent est parallèle aux arêtes) et opinion de Lester King (1936) et de A. Cailleux (1942) (le vent leur est perpendiculaire), — ne sont que des lois particulières; la première se rapportant à des arêtes „du front” de *Drei-*, *Vier-*, etc. *Kanter*s, la deuxième sensiblement à des *Zweikanter*s. Laquelle de ces deux lois est „exacte”? Toutes deux le sont, mais dans des domaines différents et propres à chacune d'elles (maximums I, VI pour celle de King — Cailleux, III, IV — pour Heim). La vraie loi (fig. 3) les englobe toutes deux, mais limite étroitement leurs zones d'application.

Ainsi la direction du vent qui a causé une distribution donnée des arêtes peut désormais — sur des bases et pour des raisons beaucoup plus solides — être (a) soit établie, si les résultats de toutes les dépendances coïncident, (b) soit réfutées, si ces résultats sont discordants, à condition bien entendu que les cailloux n'aient pas été dérangés ultérieurement. Par exemple, dans le cas de la figure 3, on peut définir la direction du vent qui a formé les cailloux, comme déviant = 5° — 10° à gauche de la direction actuelle. Ceci — étant l'ordre de grandeur des erreurs possibles de mesures et de dessins — nous incite à penser qu'il n'y a pas eu — dans ce cas — du changement sensible des vents.

La figure 9 donne un exemple de la projection horizontale d'une distribution des cailloux façonnés par le vent.

Bibliographie

- Bourcart, J., Malycheff, V. 1926 — Premiers résultats de recherches sur les sables du Sahara. *Bull. Soc. Géol. France*, t. 26; p. 191—208.
- Bryan, K. 1931 — Wind-worn stones or ventifacts. A discussion and bibliography. Report of the Committee on sedimentation, 1929—1930. *Nat. Res. Con. Rep. and Circular*, no 98; p. 29—30, Washington.
- Cailleux, A. 1942 — Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Mém. Soc. Géol. France*, N. S., t. 21, mém. 46.
- Cloos, H. 1911 — Geologische Beobachtungen in Südafrika. I, Wind und Wiste im deutschen Namalande. *Neues Jahrb. Min. Geol.*, Beilage Band, 32; p. 49—70.
- De Geer, G. 1888 — Om vindnötta stenar. *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.*, t. 8; p. 501—513.

- Heim, A. 1888 — Über Kantengeschlebe aus dem norddeutschen Diluvium. *Vierteljahrsschrift Zürich. Nat. Ges.*, Bd. 32; p. 383—385, Zürich.
- Kaiser, E. 1926 — Die diamantenwüste Südwestafrikas. Berlin.
- King, L. C. 1936 — Wind faceted stones from Marlborough, New Zealand. *Jour. Geol.*, vol. 44; p. 201—213.
- Matschinski, M. 1952 — Les formations sableuses des environs de Beni-Abbés. *C. R. som. Soc. Géol. France*, no 10; p. 171.
- Matschinski, M. 1952 — Systèmes de tourbillons sujets à certaines conditions de minima. Application à la formation des rides éoliennes, des dunes, etc. *Annales de Géophysique*, no 4.
- Matschinski, M. 1955 — Stabilità delle dune del Sahara. *Bolletino del Servizio Geologico d'Italia*, vol. 75; p. 577.
- Matschinski, M. 1956 — Propriétés intégrales des champs et exemples de fonctionnelles en mécanique des fluides: solidification de sols et érosion par vent. *C. R. Acad. Sci.*, t. 242; p. 1683—1686, Paris.
- Milthers, V. 1907 — Sandslebne Stens Form og Dannelse. *Med. Dansk. Geol. Fôr.*, B. 3, 13—17; p. 33—60, København.
- Schoewe, W. H. 1932 — Experiments on the formation of wind-faceted pebbles. *Amer. Jour. Sci.*, vol 24; p. 111—134.
- Travers, W. T. L. 1870 — On the sand-worn stones of Evans' Bay. *Trans. New Zealand Inst.*, vol. 2; p. 247—248.
- Wade, A. 1910 — On the formation of Dreikanter in desert regions. *Geol. Magazine*, vol. 7; p. 394—398, London.
- Woodworth, J. B. 1894 — Post-glacial action in southern New England. *Amer. Jour. Sci.* vol. 13; p. 122.

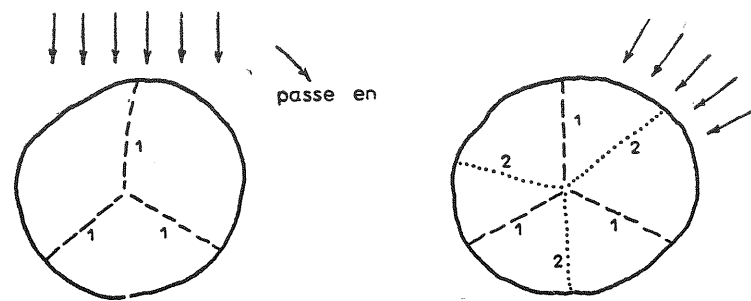


Fig. 6

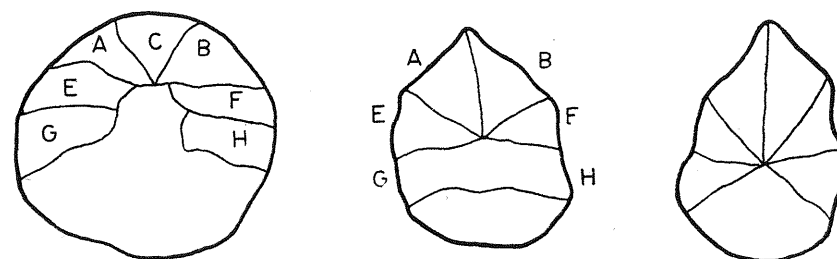


Fig. 7



Fig. 8

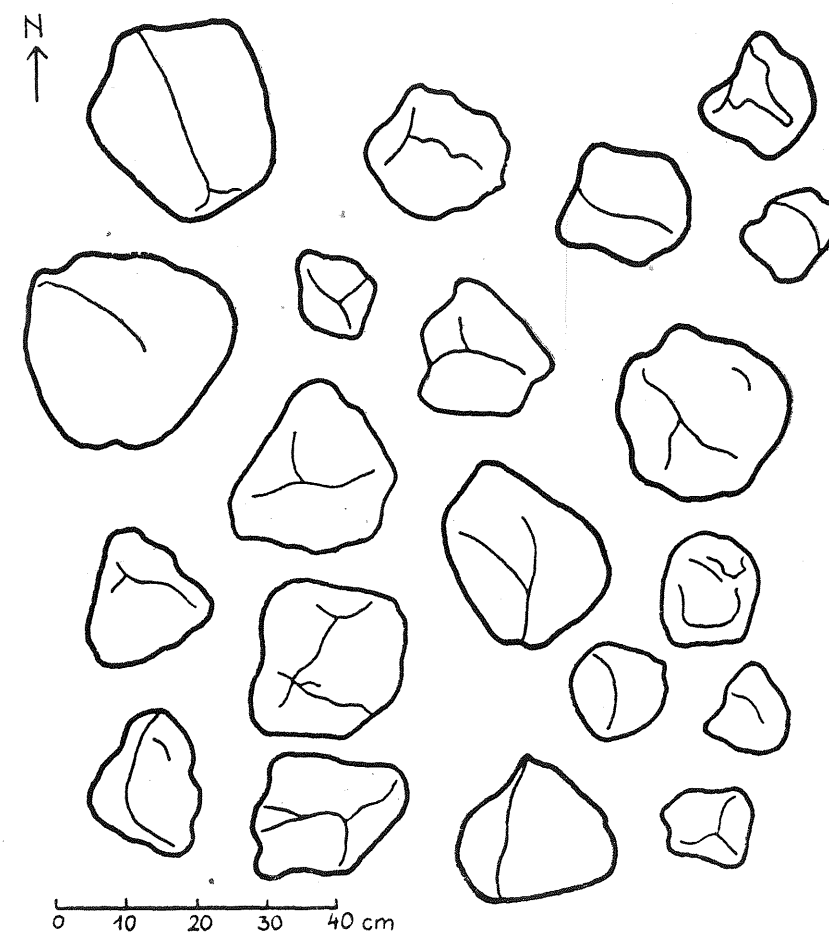


Fig. 9