

- DE PLOEY, J. & MOEYERSONS, J. 1975. Runoff creep of coarse debris : experimental data and some field observations. — *Catena*, 2 : 275-288.
- DE PLOEY, J., SAVAT J. & MOEYERSONS, J. 1976. The differential impact on some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash. — *Earth Surface Processes*, 1 : 151-161.
- EPSTEIN, E. & GRANT, W. 1966. — Rock and crop-management effects on runoff and erosion in a potato-producing area. — *Trans. A.S.A.E.*, 9 : 832-833.
- GOVERS, G. 1985. Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion. — *Catena*, 12 : 35-49.
- MOEYERSONS, J. & DE PLOEY, J. 1976. Quantitative data on splash erosion simulated on unvegetated slopes. *Zeitschr. für Geomorphol.*, Suppl.-Bd. 25 : 120-131.
- NEWSON, M. D. 1980. The erosion of drainage ditches and its effect on bedload yield in mid-Wales : reconnaissance case studies. — *Earth Surface Processes*, 5 : 275-290.
- POESEN, J. 1986. Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments. — *Earth Surface Processes and Landforms*, 11 : 1-10.
- POESEN, J. 1987. Transport of rock fragments by rill flow — a field study. — *Catena*, Suppl. 8 : 35-54.
- RAUWS, G. 1987. — The initiation of rills on plane beds of non-cohesive sediments. — *Catena*, Suppl. 8 : 107-118.
- SAVAT, J. & DE PLOEY, J. 1982. Sheetwash and rill development by surface flow. — In : BRYAN, R. & YAIR, A. (eds.), *Badland Geomorphology and Piping*. Geo Books, Norwich, pp. 113-126.
- VINCENT, P. 1966. — Les formations meubles superficielles au Sud du Congo et au Gabon. — *Bull. Bureau Rech. Géol. et minières*, 4 : 53-111.
- YAIR, A. & LAVEE, H. 1976. — Runoff generative processes and runoff yield from talus mantled slopes. — *Earth Surface Processes*, 1 : 236-247.

Journée d'étude — Studiedag
«Stone-lines»

(Bruxelles, 24.III.1987, Brussel)
Académie royale des Sciences d'Outre-Mer
Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
pp. 83-92 (1989)

Geo-Eco-Trop.
11 (1987, n° 1-4) : 83-92
publ. 1989

SIGNIFICATION DES «LIGNES DE GALETS» OBSERVÉES DANS LES DÉPÔTS QUATÉNAIRES DE LA SARDAIGNE SEPTENTRIONALE

PAR

A. OZER *

RÉSUMÉ. — Les «lignes de galets» observées au sein des formations quaternaires de Sardaigne septentrionale doivent leur origine à des pavages désertiques intra-würmiens. Elles correspondent à des surfaces de cailloux jointifs à patine éolienne et peuvent être considérées comme des indicateurs paléo-climatiques et des repères stratigraphiques.

SAMENVATTING. — *Betekenis van de «keienlagen» aangetroffen in de kwartaire afzettingen van Noord-Sardinië.* — De «keienlagen» die aangetroffen worden binnen de kwartaire afzettingen van Noord-Sardinië vormen oorspronkelijk woestijngrintvloeren tijdens het Würm. Zij stemmen overeen met aaneengesloten grintlagen bedekt met een eolische patina en ze kunnen beschouwd worden als paleoklimatische indicatoren met stratigrafische betekenis.

SUMMARY. — *Significance of the lines of stones observed in the Quaternary deposits of Northern Sardinia.* — The gravel lines observed in the Quaternary formations of Northern Sardinia originate in an intra-Würmian desert pavement. They correspond to surfaces with interlocking pebbles covered by eolian cutans and are to be considered as palaeoclimatic indicators and as stratigraphical bench-marks.

La bordure littorale de la Sardaigne septentrionale est caractérisée par des accumulations superficielles imposantes et d'origines diverses — dépôts éoliens, terrasses marines, terrasses fluviales, dépôts de pente, ... qui témoignent des variations climatiques et eustatiques du Quaternaire.

1. Les nappes de galets au sein des éolianites

Parmi ces formations récentes, les épandages éoliens du Pléistocène supérieur dominant. Ces dépôts sont généralement indurés et, suivant le

* Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, place du 20 Août 7, B-4000 Liège (Belgique).

pourcentage de la fraction calcaire, il s'agit soit de grès calcaire, soit de calcarénite ; nous avons cependant préféré les désigner du terme génétique plus explicite d'*éolianite*. L'examen de lames minces réalisées dans ces sédiments montre que ceux-ci sont constitués, outre de grains de quartz et de feldspaths, d'une proportion importante de grains calcaires qui proviennent du remaniement, par le vent, de débris d'organismes marins (algues calcaires, débris de coquillages, foraminifères, piquants d'oursins, ...) abandonnés par la mer sur la plate-forme continentale sarde lors de phases régressives. Au sein de ces éolianites, on dénombre en outre de nombreux minéraux allochtones qui, eux aussi, sont dus au remaniement par le vent de sédiments marins découverts par la régression ; en effet, leur origine est constituée par des provinces pétrographiques sédimentaires lointaines développées sur la plate-forme continentale et découvertes par le retrait marin de la dernière période glaciaire (FIERRO & OZER, 1974). Il s'agit donc d'*éolianites de régression*. De fait, ces dépôts éoliens recouvrent généralement la plate-forme d'abrasion et les conglomérats de plage du Tyrrhénien.

Les éolianites forment des accumulations très puissantes entaillées par la mer actuelle en falaises pouvant dépasser 50 mètres et sont adossées aux premiers contreforts montagneux de la Sardaigne, masquant ainsi le versant littoral développé pendant le Tyrrhénien. Entre la falaise et le versant interne, les dépôts éoliens forment un replat, en faible pente vers la mer et dont l'extension peut atteindre 200 voire 300 mètres de large (fig. 1). GUILCHER (1974) a décrit, au Maroc, des formes littorales semblables qui, comme ici, sont façonnées dans des éolianites. Il leur a donné le nom de «*rasa construite*».

Ces puissantes accumulations éoliennes sont interrompues par des horizons rubéfiés. Par leur faible teneur en calcaire et en feldspath, par leur mauvais classement granulométrique lié soit à des apports locaux grossiers soit à l'évolution pédologique, on peut émettre l'hypothèse que ces horizons se sont développés pendant des phases d'arrêt des apports éoliens et sous des climats capables de réaliser des pédogenèses rubéfiantes. Il s'agirait donc de paléosols contemporains d'interstades intra-würmiens. Cependant, certains horizons rubéfiés sont surmontés par une surface de galets disposés à plat qui précède un dépôt d'éolianite. Nous pensons que ces galets proviennent du versant tout proche et se sont mêlés aux paléosols. Peu après, grâce à la déflation éolienne, permise suite à la disparition de la végétation, un pavement désertique se serait développé, protégeant ainsi le paléosol — en place ou remanié — dont la partie supérieure aurait été tronquée par le vent.



Fig. 1. — «Rasa construite» dans les éolianites post-tyrrhéniennes. Côte occidentale de l'Anglona.

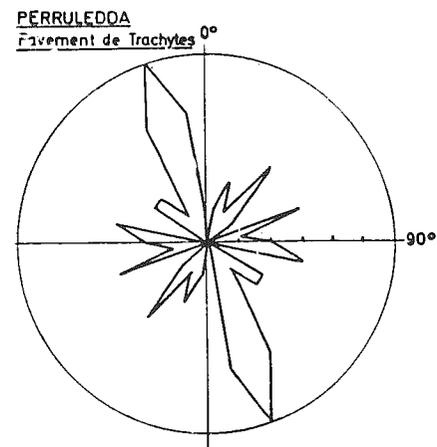


Fig. 2. — Rose d'orientation des galets de trachyte dans une éolianite fini-würmienne (Perruladda, Anglona occidental).

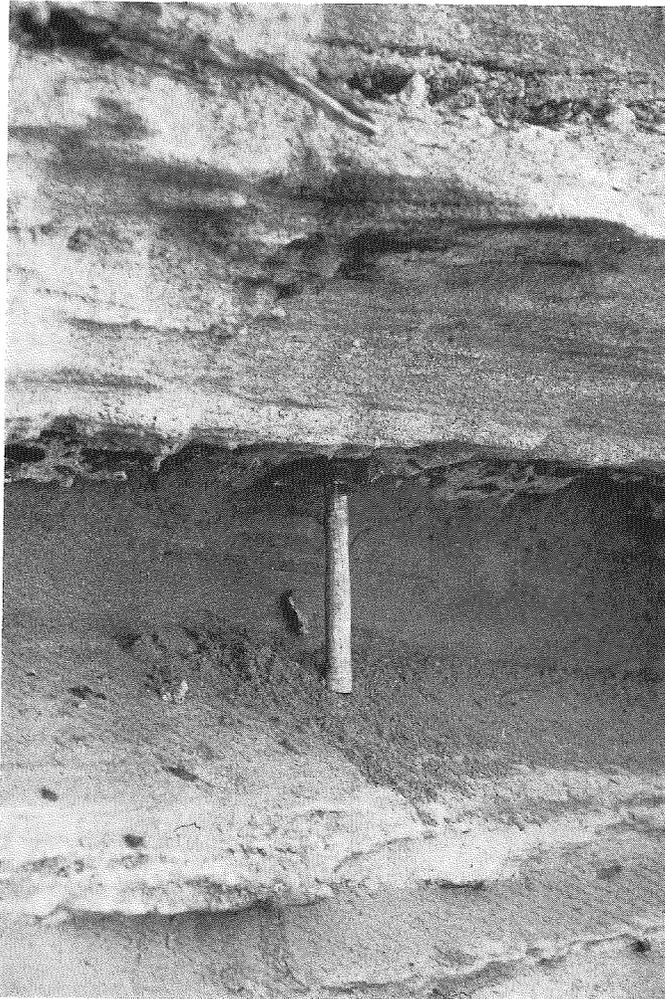


Fig. 3. — Pavement de galets dans une éolianite fini-würmienne (San Giuseppe, Anglona occidentale).

D'autre part, on relève fréquemment des surfaces de galets au sein des éolianites postérieures au dernier paléosol et donc développées pendant le maximum régressif du Würm III.

En Anglona (région de volcanisme tertiaire), on observe, dans les éolianites fini-würmiennes, des épandages subhorizontaux de galets de trachyte (roche locale), disposés à plat et allongés parallèlement à la plus grande pente (Fig. 2). Ces galets sont très plats — leur indice d'aplatissement* varie entre 2,83 et 4,1 — et pas ou peu émoussés — l'indice d'émoussé* se situe entre 83 et 93. Un indice d'aplatissement aussi élevé suppose un mode de fractionnement intense lié sans doute à l'action de la gélifraction. Quant à leur faible émoussé, il s'explique par un déplacement limité. En effet, dans l'éolianite sommitale, il n'est pas rare de relever des galets épars ou regroupés en petits chenaux provenant des collines toutes proches. Dans ces dépôts mixtes — éoliens mêlés à des dépôts de pente — le pavement se serait développé sous l'action de la déflation. Les galets, une fois jointifs, auraient stoppé le processus érosif (fig. 3).

Quant à l'hypothèse de l'origine gélive des galets, elle trouve des arguments d'abord dans leur position stratigraphique : éolianites mises en place lors du maximum régressif du dernier glaciaire, ensuite dans la présence, en Sardaigne, de dépôts contemporains de type périglaciaire comme les éboulis ordonnés (OZER et ULZEGA, 1981).

Cette hypothèse est aussi confortée par l'analyse des minéraux argileux dont les assemblages permettent d'avancer, grâce à l'indice d'altération, que les conditions climatiques étaient froides et sèches (OZER et THOREZ, 1981).

Les coupes suivantes illustrent les positions relatives des surfaces de galets.

A. COUPE DANS LA FALAISE À PROXIMITÉ DU RIU OGGIANO (Anglona — Ouest de Castel Sardo) (Fig. 4, 5)

Ici, le pavage de galets a été observé au sommet du premier horizon rubéfié post-tyrrhénien.

Description de la coupe

La plate-forme d'abrasion fossile développée vers 2-3 m de haut sans discontinuité sur plusieurs centaines de mètres est surmontée de dépôts indurés de plage : caillouteux à la base, puis sableux vers le sommet.

* Les indices d'aplatissement et d'émoussé ont été calculés suivant les formules de Tricart et Cailleux.

Surmontant les sédiments marins du dernier interglaciaire, on note la succession suivante, classique pour la région :

1. Un premier horizon rubéfié (7,5 YR 4/4 - brun) contenant des éléments anguleux de trachyte et surmonté par une mince couche contenant des galets anguleux de trachyte disposés à plat.
2. Un dépôt peu épais de grès éolien.
3. Un second horizon rubéfié (10 YR 3/4 - brun rouge mat).
4. Un second dépôt d'éolianites associé à une lentille torrentielle de galets peu émoussés.
5. Un troisième horizon rubéfié (7,5 YR 4/5 - brun).
6. Un dépôt éolien consolidé.
7. Un niveau rubéfié très mince.
8. Un dernier dépôt d'éolianite.

B. COUPE DE FORANI (Anglona - Ouest de Castel Sardo) (Fig. 4, 6)

En cette localité, la falaise développée dans les éolianites peut dépasser 40 mètres. Les surfaces caillouteuses affectent ici les dépôts éoliens sommitaux.

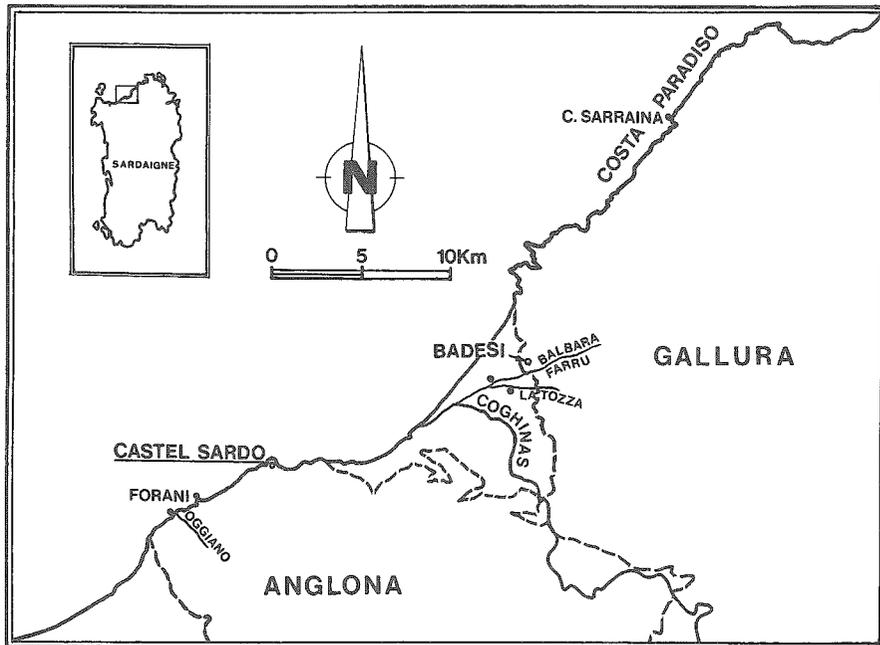


Fig. 4. - Carte de localisation des lieux cités.

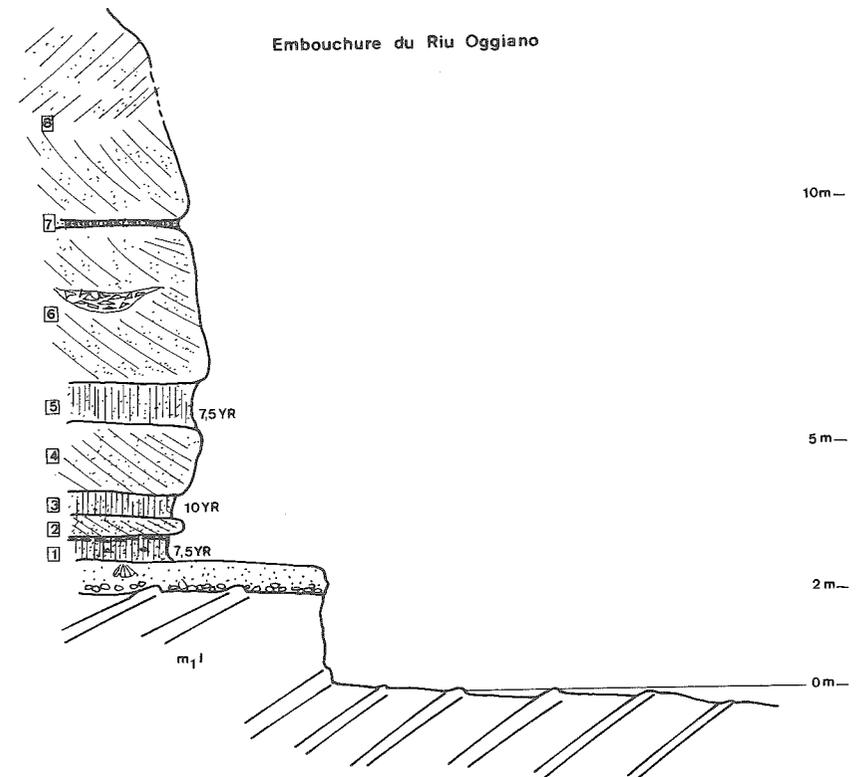


Fig. 5. - Coupe schématique dans la falaise à proximité de l'embouchure du Riu Oggiano-Anglona. Les numéros renvoient au texte.

Description de la coupe

1. Plate-forme d'abrasion taillée vers deux mètres dans le trachyte.
2. Puissant conglomérat de plage fossilifère contenant des galets de trachyte bien roulés mêlés à d'autres subanguleux.
3. Horizon rubéfié (10 YR 5/4, brun-jaune mat) de 70 cm d'épaisseur, formé de limon sableux mal classé.
4. Un mètre d'éolianite.
5. Nouvel horizon rubéfié de couleur brune (10 YR 4/4) de 70 cm d'épaisseur. Il s'agit de sable limoneux mal classé au sein duquel on dénombre de petits éléments anguleux de trachyte.
6. Éolianite dépassant 20 mètres de puissance, remarquable par ses stratifications entrecroisées et interrompue par plusieurs lignes de galets de trachyte très plats, disposés presque horizontalement.

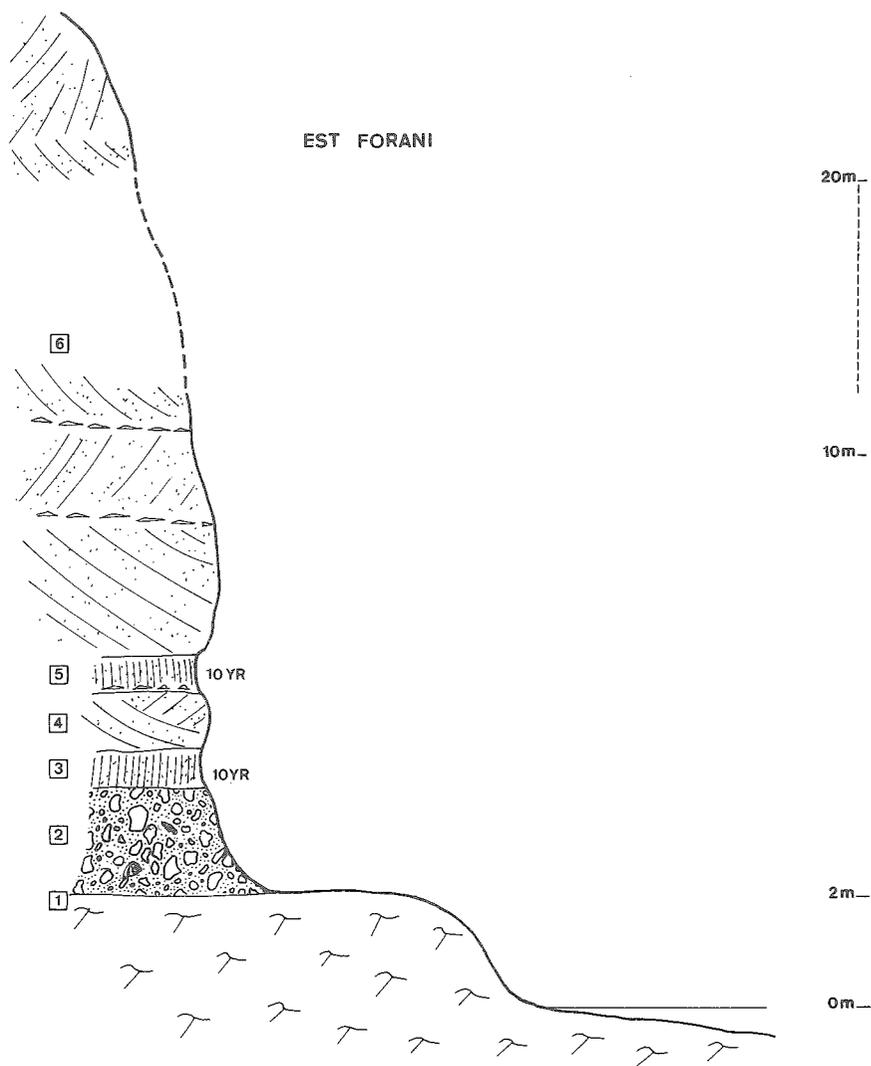


Fig. 6. — Coupe schématique dans la falaise à l'est de Forani — Anglona. Les numéros renvoient au texte.

C. GALLURA GRANITIQUE

Dans la Gallura granitique, il est également fréquent d'observer des rasas construites dans les éolianites würmiennes interrompues, ici aussi, par des horizons rubéfiés et des surfaces caillouteuses.

Par exemple, à la Costa Paradiso (nord de la Cala Sarraina), deux lignes de galets séparent des paléosols des éolianites qui leur succèdent (Fig. 6).

2. Les nappes de cailloux développées au départ de dépôts de pente

Le versant oriental de la dépression côtière du Coghinas est caractérisé par des accumulations quaternaires d'une ampleur peu commune. En effet, jusqu'à la cote de 100 m, le versant ouest de la Gallura est masqué par plusieurs générations de dépôts éoliens non indurés qui alternent avec des cônes de déjection et des colluvions, le tout formant une zone continue de piedmont sur près de 10 kilomètres.

Dans ces formations meubles, l'action de la déflation a permis la mise en place de nappes de galets subhorizontales séparant les dépôts colluviaux des apports éoliens ultérieurs. Les galets proviennent des dépôts de pente, sont surtout constitués de porphyre permien très résistant — roche affleurant en Gallura occidentale — et ont tous, comme caractéristique, une remarquable patine éolienne.

Quelques exemples illustrent nos observations :

A. COUPE DU BALBARA FARRU (Badesi) (Fig. 4, 7, 8)

À l'aval du village de Badesi, à proximité du cimetière, une coupe le long du Riu Balbara Farru montre de bas en haut la succession suivante :

1. Un dépôt de cailloux de type torrentiel dans une matrice sableuse rubéfiée de coloration 7,5 YR 5/8 (brun vif) et constitué de galets de porphyre, des granites très altérés, des gneiss également fort altérés ainsi que de rares quartz. Dans ces alluvions, on note aussi une lentille sableuse dont la majorité des grains sont des «ronds-mats» et qui s'explique par le remaniement de formations éoliennes antérieures.
2. Sur ce cailloutis, repose une formation sableuse rubéfiée de même coloration (7,5 YR 5/8).
3. Les dépôts supérieurs sont des couches sableuses de coloration 10 YR 6/4 (jaune-orange terne) contenant, épars, des galets peu émoussés.

4. Un mince horizon caillouteux où les galets, de taille diverse peu émoussés, sont disposés à plat et jointifs. La plupart sont des porphyres et ils présentent tous une patine éolienne.
5. Surmontant ce pavage, on relève des dépôts sableux holocènes qui font partie d'un complexe dunaire étendu et qui est exploité par plusieurs sablières. Le plancher de ces exploitations est d'ailleurs constitué par la surface caillouteuse fort développée décrite en (4).

Par comparaison avec le degré d'altération observé dans les terrasses du Coghinas (OZER 1977), on peut attribuer au cailloutis de base (1) un âge Riss ou Würm ancien, cette dernière datation étant la plus vraisemblable. Quant aux deux dépôts sableux (2 et 3), ils doivent correspondre à des apports éoliens du Würm, remaniés et mêlés à des apports locaux souvent grossiers. À la fin du Würm, le sommet de la formation sableuse (3) aurait été emporté par le vent puis redistribué en amont, ne laissant sur place que des galets épars. Ceux-ci, progressivement, auraient constitué un pavement protégeant le sable sous-jacent de toute action érosive ultérieure. Cette phase de déflation intense expliquerait aussi le poli éolien remarquable des galets. De par sa position, cette surface caillouteuse sépare ici les sables würmiens des sables holocènes non rubéfiés.

B. COUPE DANS L'INTERFLUVE RIU LA TOZZA-MONTIGGIONI (Fig. 4, 9)

La tranchée de la route nationale recoupe des formations sableuses surmontant le cône caillouteux du Riu La Tozza. La succession suivante peut être observée :

1. Un dépôt sableux de coloration 7,5 YR 5/8 (brun vif) contenant des galets locaux épars.
2. Une nappe de galets, tous disposés à plat et caractérisés par une patine éolienne. Ces cailloux sont essentiellement des porphyres permien, parfois de rares granites peu altérés. Le centile de cette nappe atteint 30 cm. L'émoussé, mesuré sur 55 galets de porphyre compris entre 40 et 60 cm, est de 98. (Une autre mesure réalisée dans une coupe voisine (Fig. 10), sur des galets en position stratigraphique semblable a donné une valeur de 88). Les mesures d'orientation des galets montrent un allongement préférentiel parallèle à la ligne de plus grande pente (N 120-130° E).
3. Un second dépôt sableux de coloration 7,5 YR 5/4 (brun terne) contenant aussi de rares galets.
4. Une seconde nappe de cailloux, semblable à la première (2), formée de galets de porphyre et de rares quartz, tous à patine éolienne. Le centile est de 18 cm ; quant à l'émoussé, mesuré sur seulement 23 cailloux de porphyre, il est de 87.

TERRASSE DU BALBARA FARRU

(Sud du cimetière de Badési)

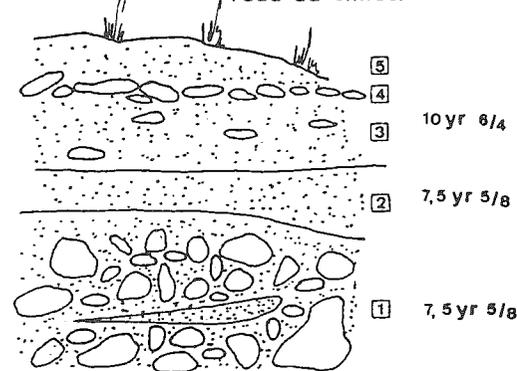


Fig. 7. — Coupe le long du Riu Balbara Farru (Coghinas). Les numéros renvoient au texte.



Fig. 8. — Coupe le long du Riu Balbara Farru.

SUD RIU LA TOZZA

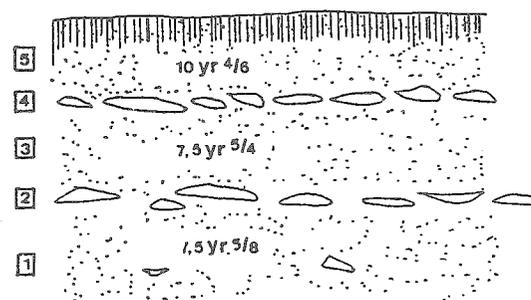


Fig. 9. — Coupe schématique dans les dépôts surmontant le cône terrasse du Riu de la Tozza. Les numéros renvoient au texte.

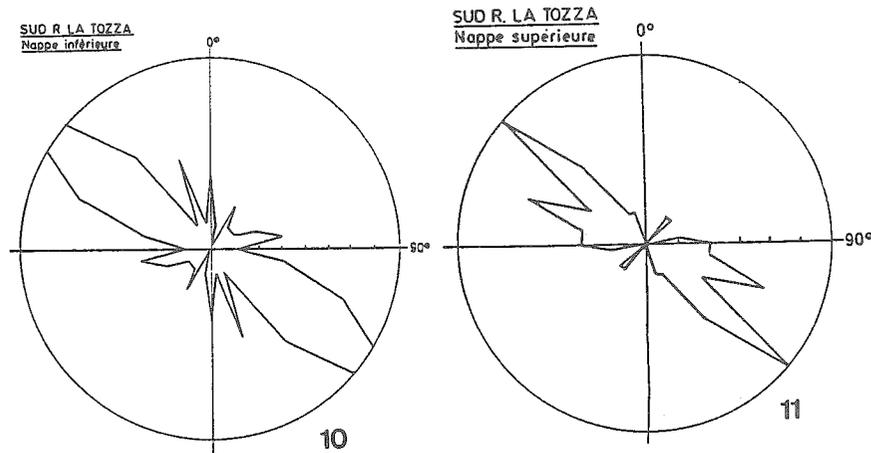


Fig. 10. — Rose d'orientation dans la nappe de galets inférieure (Sud Riu de la Tozza).
Fig. 11. — Rose d'orientation dans la nappe de galets supérieure (Sud Riu de la Tozza).

La rose d'orientation des galets montre le même allongement préférentiel parallèle à la pente : N 130° E (Fig. 10, 11).

5. Un dernier apport sableux de coloration 10 YR 4/6 (brun) est surmonté par un horizon humifère.

La position de ces formations sableuses au-dessus des cônes-terrasses attribués au Würm ancien, permet de les dater du Würm. Les rubéfections observées se seraient développées pendant des interstades intra-würmiens

alors que les pavages de galets seraient contemporains de phases froides et sèches pendant lesquelles le vent aurait pu mener son action de déflation.

Conclusions

Une des caractéristiques des dépôts du Pléistocène supérieur de Sardaigne septentrionale est la présence de nappes subhorizontales de galets engendrées par la déflation. Par leur position stratigraphique, ils précèdent souvent des accumulations fini-würmiennes ou holocènes. En outre, plusieurs observations nous permettent d'avancer que leur mise en place serait contemporaine d'épisodes climatiques froids et secs.

Si l'on relève une convergence d'aspect entre ces nappes de galets résiduelles et les «stone-lines» intertropicales, il semble cependant que leur genèse nous autorise à les dénommer «pavage désertique» (Fig. 12).

BIBLIOGRAPHIE

- FIERRO, G. & OZER, A. 1974. Relations entre les dépôts éoliens quaternaires et les sédiments marins du Golfe de l'Asinara et des Bouches de Bonifacio (Sardaigne). — *Mémorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana*, II : 347-355.
- GUILCHER, A. 1974. Les «rasas» : un problème de géomorphologie littorale générale. — *Annales de Géographie* (Paris), 83 (458) : 1-33.
- OZER, A. 1977. Les terrasses du Coghinas (Sardaigne septentrionale). Proposition de chronologie. Studi Sassaressi. Sez. III. — *Ann. della Fac. di Agraria dell'Univ. di Sassari*, 25, 78 pp.
- OZER, A. & THOREZ, J. 1981. Les dépôts du Pléistocène supérieur de San Giuseppe (Sardaigne septentrionale). — *In*: Actes du Colloque «Niveaux marins et tectonique quaternaire dans l'aire méditerranéenne» (Paris, 29 novembre 1980), C.N.R.S., Université de Paris II, pp. 255-270.
- OZER, A. & ULZEGA, A. 1981. Sur la répartition des éboulis ordonnés en Sardaigne. *Biul. Peryglacjalny*, 28 : 259-265.



Fig. 12. — Pavage désertique au sein des dépôts postérieurs au Riu Balbara Farru.