

25. Granulométrie des sédiments de l'île d'Alboran, Méditerranée occidentale

Par

K. Gösta Eriksson

ABSTRACT.—The granulometric composition of the recent sediments on the island of Alboran in the western Mediterranean Sea is described (Fig. 1). The island, a remnant of a Tertiary volcano, is made up primarily of hypersthene-augite-andesite and has the form of an approximately 9 meter high plateau (Fig. 2). The recent sediments on the island consist mainly of weathered, reworked volcanic material mixed with eolian material to form what the author calls a plateau sediment. In addition one finds clean eolian material which is derived from the surrounding continents. A sample of this material was taken from a layer deposited on the glass windows of the lighthouse.

The plateau sediment occurs either as a layer a few decimeters thick, covering the greater part of the island, or as 1-2 meter high dunes, lying NE of the lighthouse in the lee of the island's crest. The sediment usually consists mainly of medium to fine sand, these fractions making up 70-80 per cent by weight (Tables 2 and 3; Figs. 3:2, 3:3, 3:4, 4:2, and 4:3). It has a median size (M) of approximately 200μ , an S_o -value which is ordinarily under 2, and a S_k -value which shows that the sediment's finer-grained half is better sorted than its coarser-grained half (Table 2).

The eolian sediment consists mainly of coarse and fine silt (respectively 41.6 and 20.4 average per cent by weight) and has a median size (M) of approximately 21μ (Table 1; Figs. 3:1 and 4:1). Its S_o -value lies near 2.55 and in contrast to the plateau sediment, the coarser-grained half is better sorted than the finer.

The salt content of the two sediment types and the color and stratigraphy of the plateau sediment are also briefly discussed.

Les matériaux étudiés ici ont été récoltés par l'auteur dans l'île volcanique d'Alboran, au cours de l'automne 1958 (fig. 1). Ces échantillons consistent en sédiments purement éoliens et en sédiments de la surface de l'île. Pour comparaison, ces deux sortes de sédiments ont été examinés minéralogiquement et granulométriquement; la première de ces investigations sera traitée plus minutieusement par la suite.

En introduction, je donne quelques indications sur l'histoire géologique et la géographie physique de l'île.

Géologie

Les îles Baléares, la région littorale entre Cartagène et Cabo de Gata en Espagne, l'île d'Alboran et la presqu'île de Cabo Tres Forcas au Maroc Espagnol se trouvent dans la zone orogénique, appelée le Bétique (PARGA-PONDAL 1935, p. 38). Cette zone est partiellement pré-alpidique et partiellement formée pendant le plissement alpin. Durant le Pliocène, les parties centrales de la chaîne de montagnes Rif-Bétique se sont effondrées. Ce sont les secteurs qui, à la

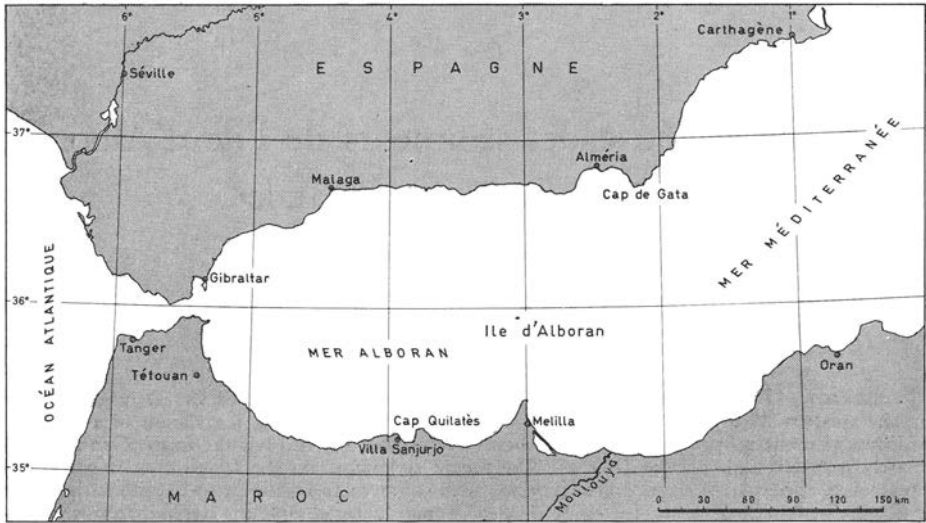


Fig. 1. Carte de la Méditerranée occidentale avec la Mer d'Alboran.

fin du Miocène, dominaient encore la région occupée de nos jours par la Mer d'Alboran¹ (TERMIER 1952). Ces mouvements de l'écorce terrestre ont engendré dans la zone bétique un grand nombre de volcans, dont beaucoup sont maintenant submergés. Le seul de ces volcans qui est émergé est l'île d'Alboran. L'Alboran, comme tous les autres volcans de cette zone, appartient pétrographiquement à la province d'éruption atlantique, caractérisée par une richesse en sodium (sensu NIGGLI).

L'île est formée de dépôts de tuf conformes, principalement d'hyperstène, d'augite, d'andésite et de quartz (CALDERON 1882, p. 17), s'abaissant de 25–30° vers le nord-est. Il s'agit soit de blocs andésitiques, dont certains — des bombes — dépassent 1 m³, avec une matrice peu importante de cendres, soit de dépôts de cendres finement stratifiés, dont les éléments ont le diamètre d'argiles ou de gravillons. A en juger par la succession des formations, le cratère même doit avoir été situé quelque part au SE de l'île. De l'ancien volcan, dont le diamètre dut être de plusieurs kilomètres, il ne reste ainsi qu'un vestige peu important. La configuration du fond autour de l'île témoigne de son ancienne étendue.

D'après OSANN (1891, p. 335), il y a au NE du phare (fig. 2) quelques restes d'un plus vieux dépôt calcaire, rouge et épais, dans lequel on a trouvé des Bryozoaires macroscopiques (*Myriozoum truncatum*) et des restes de *Lithotamnium* et de Foraminifères microscopiques.

L'île d'Alboran forme la culmination d'un dos sous-marin assez étroit et

¹ La Mer d'Alboran s'étend de Gibraltar jusqu'à une ligne tirée de l'embouchure du fleuve Moulouyoa à la frontière entre le Maroc et le Maroc Espagnol jusqu'à Cabo de Gata en Espagne.

topographiquement bien marqué. Il s'étend dans la direction de 60°NE, du littoral au nord de la ville de Villa Sanjurjo au Maroc Espagnol, jusqu'à environ 30 km NNE d'Alboran (Plan bathymétrique d'après PFANNENSTIEL 1959 et BOURCART 1960).

Là le dos se termine abruptement en bordure de la faille qui constitue la limite occidentale du bassin algérien. Ce dos, appelé ici le dos d'Alboran, pourrait être une ramification de l'Atlas d'El Rif ou s'être créé conjointement par des déformations orogéniques.

Morphologie

La partie d'Alboran qui se trouve au-dessus de la mer consiste en un plateau, haut d'environ 9 m, dont les flancs sont plus ou moins verticaux ou ont acquis un profil concave par l'érosion (fig. 2). Les pentes raides ne descendent qu'à quelques mètres sous la surface de la mer où elles se raccordent brusquement avec le fond rocheux très plat qui entoure l'île. Celui-ci s'incline faiblement et à un kilomètre de distance, la profondeur ne dépasse pas 50 m en général.

Selon les indications de la carte marine « L'isla de Alboran » de 1951, l'île est d'une longueur maximum de 608 m, et d'une largeur de 254 m. La partie la plus étroite n'est que de 40 m. La superficie s'élève à environ 2800 m². La direction de l'île est à peu près NE-SO.

Un trait caractéristique de la morphologie des flancs du plateau sont les grottes, dont il y a deux grandes et un nombre de plus petites ou en voie de formation. Les deux grandes grottes, situées dans la partie étroite de l'île, sur la côte sud-est, s'avancent de 10 à 15 m. Elles atteignent une hauteur de 5-8 m et ont sous la surface de la mer probablement une profondeur de quelques mètres seulement. Leur forme est irrégulière, avec des saillies rocheuses, des formations de fissures et des niches étroites. Des éboulements de grand blocs et de petits glissements des roches encaissantes, semblent être des phénomènes ordinaires lors de la formation des grottes.

A cause des variations marquées de la résistance des différents dépôts volcaniques, les effets de l'érosion varient d'un endroit à l'autre de l'île. Les grottes apparaissent de préférence au contact d'un dépôt grossier et d'un plus fin, plus friable. Quand une grotte est devenue assez grande, le toit s'effondre et ainsi se forment des anses et de petits chenaux. Ceux-ci peuvent évidemment traverser les parties étroites de l'île et ainsi en isoler des parties. Il est vraisemblable que l'Isote de la Nube à l'extrémité nord-est de l'île a été individualisé de cette manière. Le canal qui sépare l'île de l'écueil, Canal de la Morenas, était vraisemblablement au début une formation de grotte. De nos jours un processus semblable a lieu dans la partie la plus étroite de l'île, où la baie sud-est passe en une des grandes grottes. A en juger par ce que nous savons, c'est là qu'aura lieu la prochaine percée de l'île. L'abrasion est en général très forte sur les côtes, et à en juger par les concavités des pentes escarpées, elle semble agir plus intensivement sur les côtes ouest et sud.

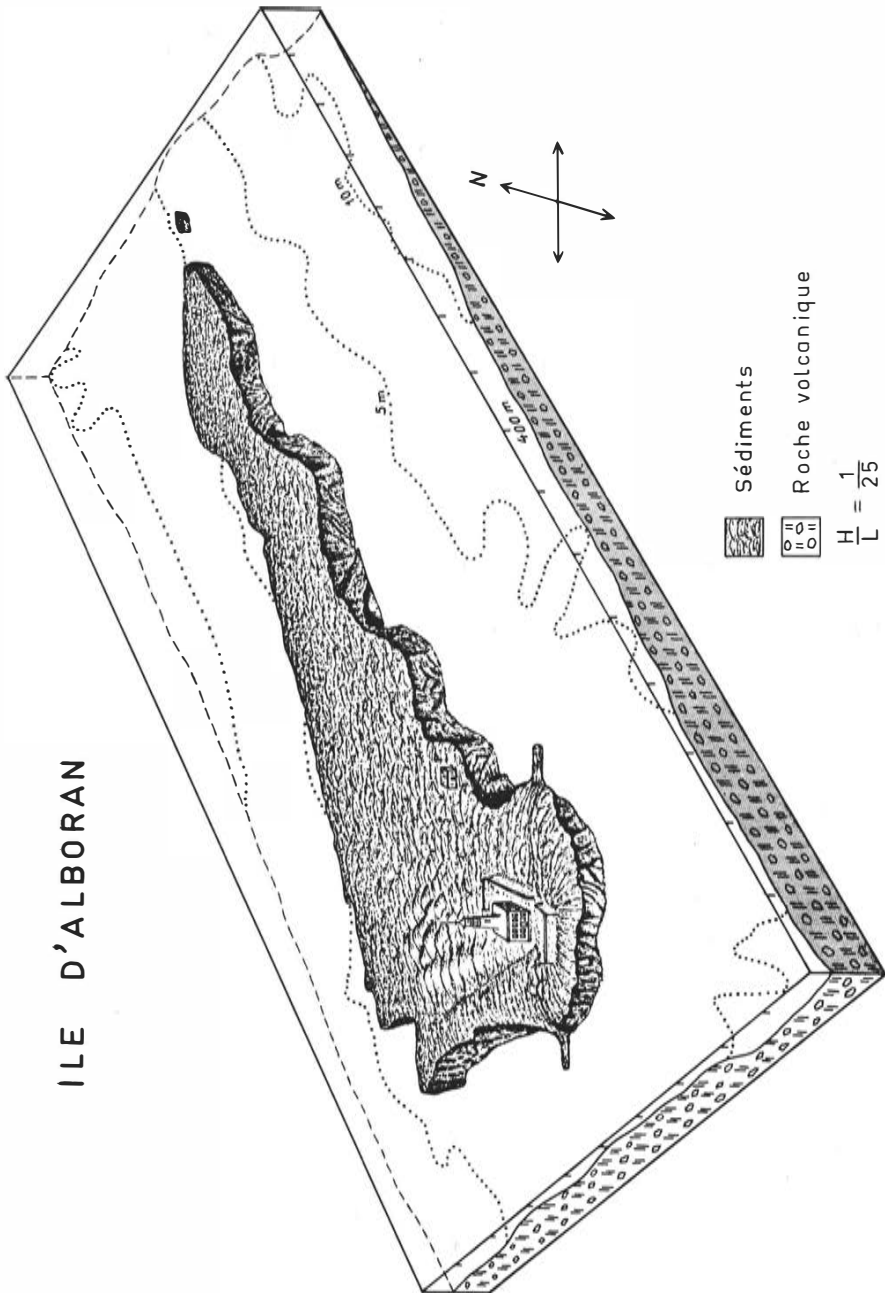


Fig. 2. Bloc-diagramme de l'île d'Alboran. (La publication de cette figure a été approuvée par le Consejo Superior Geografico, Madrid, le 17 décembre 1960).

Le dessus de l'île est plat et poli; dans la partie la plus large seulement, au sud-ouest, le fond rocheux se dresse un ou deux mètres au-dessus du plateau. Le point le plus haut de l'île atteint environ 12 mètres d'altitude, et les côtes y sont par place moins raides. L'horizontalité et la complète absence d'inégalités marquées, attestent une vieille surface d'érosion. A plusieurs reprises, au cours des périodes interglaciaires du Pliocène et du Pléistocène, le niveau de la Méditerranée a été beaucoup plus élevé qu'aujourd'hui à la suite, en outre, de la fonte des calottes glaciaires. L'Alboran a ainsi été submergée et s'est trouvée dans le zone des brisants et de la surface de la mer plusieurs fois après sa formation, et de cette façon elle a été érodée jusqu'à son niveau et ses dimensions actuels. La dernière fois que l'Alboran fut submergée remonte à 100000 ans (Eemien-Monastérien I-), alors que le niveau marin se trouvait 15 à 20 m plus haut qu'actuellement. Après ce temps, la surface de la mer a été plus haut que de nos jours; mais cependant sans surmonter le niveau de l'Alboran (BLANC 1937, FLINT 1957 et WOLDSTEDT 1958).

Les sédiments

Introduction

L'île est couverte de sédiments meubles, sauf sur une bande d'une largeur de quelques mètres tout près du bord. Les sédiments sont des matériaux volcaniques effrités de l'île, et de la poussière éolienne apportée des continents environnants. La couverture de sédiments, en général faiblement ondulée, a une épaisseur de quelques décimètres. Dans la plus large partie de l'île, dans une petite région à environ 75-100 m au NNE du phare, les sédiments ont été cependant déposés en forme de longues dunes atteignant normalement 1 m à 1,5 m de hauteur, exceptionnellement près de 2 m.

La couche des sédiments est surtout couverte d'arbrisseaux du type *Erica*, mais on y trouve aussi des herbes et des arbrisseaux; les arbres font défaut.

Les dunes ont la forme de collines irrégulières, sans orientation marquée, mais asymétriques. Les flancs à l'abri du vent présentent une pente abrupte en direction du nord et du nord-est. Des vents soufflant du sud et du sud-ouest ont ainsi été dominants lors de la formation des dunes. Le fait que les sédiments ont été accumulés en dunes dans cette région tient à ce que l'île y est assez large et à ce que la région est un peu à l'abri du sommet de l'île; le phare produit peut-être aussi une certaine protection pour cette région.

Méthodes d'analyses

Les échantillons récoltés ont subi les analyses suivantes:

a) Pour éloigner les sels solubles, les échantillons ont été mis en suspension dans de l'eau distillée — après dessiccation à 105°C — puis chauffés à 50°C et filtrés sur une membrane. Après deux traitements de ce genre, le résidu fut séché à 105°C.

Tableau 1. Diamètre des grains

No	0- 0,98	0,98- 1,95	1,95- 3,9	3,9- 7,8	7,8- 15,6	15,6- 31,2	31,2- 62,5	62,5- 88	88- 125	125- 175	175- 250
1	1,42	6,24	1,98	8,50	7,37	24,38	24,38	10,67	9,70	4,07	1,30
2	2,84	3,10	6,97	12,14	5,94	25,31	23,24	8,17	6,87	3,36	2,08
3	2,35	4,08	7,21	10,19	13,33	23,99	24,15	6,17	5,28	2,13	1,12
4	3,48	3,70	11,10	14,14	19,36	19,15	23,93	2,75	1,76	0,49	0,14
	10,09	17,12	27,26	44,97	46,00	92,83	95,70	27,76	23,61	10,05	4,64
<i>M</i>	2,52	4,28	6,82	11,24	11,50	23,21	23,93	6,94	5,90	2,51	1,16

b) Les échantillons de la couverture sédimentaire du plateau ont été débarassés d'humus par cuissons dans H_2O_2 à 15 %.

c) Les échantillons, ayant subi les traitements a) et b) ont été placés dans une solution de NH_3 à 1 %, à laquelle fut ajoutée une solution de 10 ml 0,22 m $Na_4P_2O_7$ comme agent de dispersion.

L'échantillon a été brassé dans un agitateur pendant 16-20 heures, et après cela tous les matériaux supérieurs à 62μ ont été éliminés par tamisage par voie humide pour être séparés ensuite en diverses fractions par tamisage à sec. Les matériaux les plus fins ont été isolés par analyse à la pipette suivant le procédé standardisé (KRUMBEIN & PETTIJOHN 1938).

Des paramètres statistiques

Dans les tableaux et les diagrammes, on a utilisé l'échelle granulométrique d'ATTERBERG (PETTIJOHN 1957, p. 18). Cependant, les résultats des tamisages se rapportent à des tamis aux orifices carrés et non pas circulaires comme ceux correspondant à la méthode originale d'ATTERBERG. Le coefficient de classement (So) est exprimé d'après la formule $So = \sqrt{Q_3/Q_1}$. D'après TRASK, un sédiment est considéré comme bien classé si $So < 2,5$, normal si $2,5 > So < 4,5$, et mal classé si $So > 4,5$.

Le coefficient de symétrie (Sk), indiquant le degré de symétrie de la granulométrie (déviatoin standard), est calculé d'après la formule $Sk = Q_1 \times Q_3 / M^2$. Si $Sk > 1$, la moitié la plus fine des matériaux est mieux assortie que la plus grossière, et le contraire, si $Sk < 1$ (PETTIJOHN 1957, p. 37). La déviation d'une courbe est donnée aussi par sa valeur de kurtosis (K), qui est calculée d'après la formule $(Q_3 - Q_1) / 2(P_{90} - P_{10})$. Une valeur de K relativement basse indique une acuité marquée dans la courbe de fréquence, tandis qu'une valeur de K relativement haute indique un type de courbe plus plate.

Matériaux éoliens

Ceux-ci ont été déposés sur l'île d'Alboran, principalement durant les tempêtes hivernales par les vents du genre sirocco, soufflant du sud et de l'ouest. Les

éoliens entre $0,5 \mu$ et près de 250μ .

<i>M</i>	Q_1	Q_3	S_o	S_k	log S_k	<i>K</i>
31,0	15,0	63,0	2,049	0,983	,9926	0,233
26,4	7,8	54,0	2,630	0,604	,7810	0,243
22,5	8,0	46,0	2,397	0,727	,8615	0,253
17,6	5,5	34,7	2,510	0,616	,7896	0,286
31,5	8,0	52,0	2,550	0,419	,6222	0,293

matériaux proviennent en général du Maroc, mais la péninsule ibérique doit aussi en livrer un peu. Les échantillons ont été récoltés soit à la surface du sol où ils sont mélangés à des matériaux de tuf effrités, soit sur le phare où les éléments éoliens s'accumulent sans mélange et dans un état plus pur. On estime l'épaisseur du dépôt annuel sur le grand carreau de verre du haut du phare à $0,2-0,3$ mm. L'accumulation est un peu plus épaisse et compacte sur la partie du cylindre tournée vers le sud et l'ouest. L'estimation mentionnée ci-dessus constitue une valeur minimum de l'accumulation, car il est très probable qu'une partie seulement des matériaux transportés par le vent est retenue par la surface lisse de la vitre. Toutefois cette couche de poussière consiste jusqu'à presque la moitié de son poids de sels marins cristallisés (voir ci-dessous).

Au cours des années 1958-1959, des matériaux déposés sur le carreau de verre ont été récoltés quatre fois; les dix grammes prélevés chaque fois constituent le poids initial des échantillons servant à description ci-dessous des matériaux éoliens de l'île. Les indications dont on dispose sur la quantité de matériel déposé sont trop rares et trop aléatoires pour permettre le calcul de l'apport annuel des sédiments éoliens sur l'Alboran.

L'examen microscopique des échantillons du phare a révélé des feldspaths (environ 20%), du mica en général effrité, des carbonates, des fibres de cellulose cotonneuse et quelques grains d'amphibole et de quartz. La proportion des éléments dérivés du tuf est faible et ne doit pas dépasser 1%.

Il n'est pas certain que les quatre échantillons récoltés sur le phare soient tout à fait représentatifs des matériaux éoliens de ces régions. L'incertitude provient entre autres de ce que les échantillons n'ont pas pu être récoltés pendant, ou immédiatement après une période de sédimentation et que le mode de prélèvement n'est pas exempt d'objections. De plus, le nombre d'échantillons est faible et ne porte que sur quelques années. Pour éliminer ces causes d'erreurs, la composition moyenne des échantillons a été calculée pour servir de base aux commentaires ci-dessous.

Le diamètre des grains éoliens est compris entre $0,5 \mu$ et près de 250μ

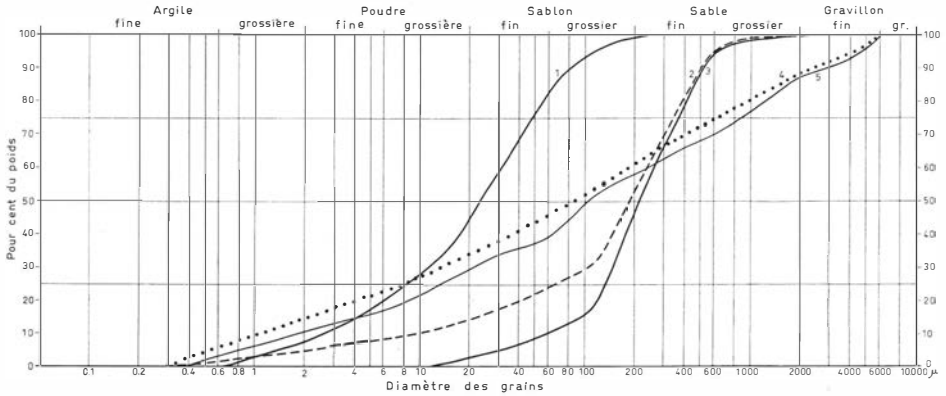


Fig. 3. Courbes cumulatives de quelques types de sédiments de l'île d'Alboran. 1. sédiment éolien; 2-5. sédiments du plateau.

(Tableau 1). La courbe cumulative comme l'histogramme montrent une répartition unimodale (fig. 4:1). Le maximum se situe entre $15,6 \mu$ et $62,5 \mu$. La fraction prédominante est par conséquent du sablon fin qui constitue 41,6% de poids. La poudre grossière vient en second lieu, correspondent à 20,4% du poids. La part du sablon grossier n'est que de quelques pour cent inférieurs à la poudre grossière, tandis que la poudre fine représente le tiers de la fraction principale, et l'argile le septième (fig. 3:1 et 4:1). La courbe s'incline abruptement de $62,5$ à 250μ , alors qu'elle est plus aplatie entre $15,6$ et la fraction argileuse. La valeur médiane du sédiment est de $31,5 \mu$, c'est-à-dire au centre de la fraction du sablon fin. La valeur de S_o est de 2,55, ce qui indique un assez bon classement. L'asymétrie de la courbe de fréquence montre que la moitié la plus grossière est beaucoup mieux classée que la plus fine. L'acuité marquée de cette courbe est révélée par le point de K_{ga} qui est de 0,293. D'après BAGNOLD (1941, p. 120), une granulométrie de ce type est caractéristique d'un sable de désert. La courbe a un minimum entre $7,8$ et $15,6 \mu$. Pour le moment il est impossible de décider si cela tient à un défaut dans la représentation ou aux conditions de transport et de sédimentation.

Eléments volcano-éoliens de l'île

Les sédiments sont formés en majeure partie par des matériaux volcaniques resédimentés et l'apport éolien est petit, ce qu'a prouvé l'investigation microscopique. Les matériaux de tuf proviennent d'une part de l'érosion mécanique de la surface du plateau, mais aussi des flancs de l'île. Ce sont alors des produits d'abrasion jetés sur l'île pendant des tempêtes violentes. L'érosion récente du plateau est principalement mécanique, alors que l'altération chimique ne peut intervenir que durant une courte période de l'année, pour des raisons climatiques.

Afin d'obtenir des échantillons des sédiments du plateau aussi représentatifs

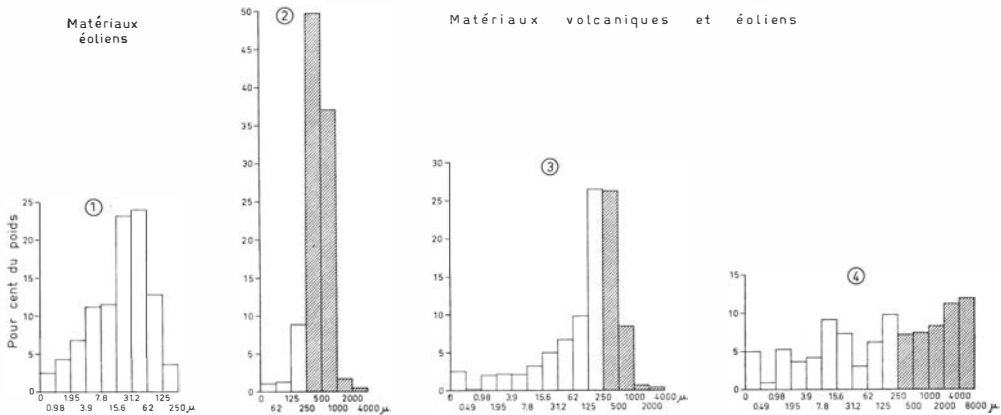


Fig. 4. Histogrammes de quelques types de sédiments d'Alboran.

que possible, une tranchée a été faite à travers une des plus grandes dunes, restée intacte (fig. 6). Des échantillons ont été prélevés tous les 5 cm de la coupe. De chacun de ces échantillons, la teneur en sel a été déterminée et l'analyse granulométrique effectuée; en outre, quelques échantillons provenant d'autres parties de l'île ont été analysés.

Une investigation sommaire de la composition minéralogique a été faite pour la fraction comprise entre $62,5 \mu$ et 125μ . Les minéraux d'origine certainement éolienne consistent en micas plus ou moins effrités, surtout de la biotite, et aussi en quartz et en feldspaths.

Leur proportion était de faible importance, un ou deux pour cent seulement. Aucune variation remarquable ne fut constatée parmi les échantillons prélevés sur la même verticale; à la base du dépôt seulement, les conditions furent différentes (fig. 6:1). Une ou deux couches de ce dépôt contenaient extraordinairement de plaquettes de muscovite non altérées, contrairement aux sédiments supérieurs où les biotites prédominent avec un diamètre d'ailleurs beaucoup plus petit.

A part la portion éolienne, les sédiments consistent en éléments fins provenant du tuf, de différents matériaux volcaniques et de fragments de fossiles microscopiques dont beaucoup sont entourés d'une mince pellicule d'argile. Les fossiles dérivent du dépôt calcaire mentionné ci-dessus (p. 270).

Dans la couche de fond de l'affleurement de la dune, il y a aussi une concentration remarquable de minéraux lourds, surtout des grains de grenat bien arrondis. Dans tout le dépôt du fond, les grains sont bien arrondis d'ailleurs, ce qui est vrai surtout pour sa partie tout à fait inférieure.

Dans les matériaux des sédiments du plateau, y compris les dunes, les fractions « sable fin » et « sablon grossier » (fig. 3:2, 3:3, 4:2, 4:3) prédominent, formant ensemble en moyenne 70–80% du poids. Le sable fin constitue environ le 40–45% et le sablon grossier 30–35%. Autour de ces deux fractions se

Tableau 2. Diamètre des sédiments

N ^o	0- 0,49	0,49- 0,98	0,98- 1,95	1,95- 3,9	3,9- 7,8	7,8- 15,6	15,6- 31,2	31,2- 62,5	62,5- 125	125- 250	250- 500	500- 1000	1000- 2000	2000- 4000	4000- 8000
1	2,19	1,12	0,41	2,24	4,20	3,77	6,93	9,26	8,79	32,44	20,42	5,80	1,18	1,26	—
2	3,61	2,94	4,12	4,12	5,86	7,63	7,84	9,93	3,50	13,51	8,88	6,21	8,36	3,38	10,12
3	1,19	0,70	1,95	1,84	3,41	3,60	7,16	5,95	9,86	32,96	23,33	7,00	1,04	—	—
4	1,78	0,40	1,94	2,38	2,71	3,43	4,73	6,07	13,33	35,04	21,80	5,62	0,77	—	—
5	3,73	3,42	4,37	3,61	4,24	4,68	4,87	7,47	7,95	17,80	12,27	6,45	5,50	6,99	6,66
6	—	—	—	—	—	—	—	(2,23)	12,02	45,30	31,67	6,69	1,34	0,75	—
7	1,89	0,34	1,49	1,03	1,89	3,43	4,69	4,51	11,84	38,96	25,00	4,21	0,72	—	—
8	0,75	0,58	0,62	1,83	3,21	2,78	5,21	6,39	7,44	35,53	27,56	6,90	1,20	—	—
9	0,83	0,56	1,67	2,56	3,50	4,65	5,40	3,93	0,88	33,40	31,14	9,62	1,35	0,45	—
10	1,16	0,11	1,44	1,80	1,87	3,45	4,79	6,23	9,33	31,75	29,17	8,59	0,92	—	—
11	4,52	4,92	4,42	4,42	6,13	7,43	8,54	7,02	5,46	11,45	8,99	6,50	8,41	5,90	5,82
12	—	—	—	—	—	—	—	(1,09)	1,22	8,77	49,74	37,02	1,68	0,49	—
13	—	—	—	—	—	—	—	(0,26)	0,39	2,57	15,48	45,82	35,48	—	—
14	3,50	2,82	4,44	2,14	5,04	4,53	7,17	5,21	8,19	16,38	6,25	3,31	6,07	8,35	16,41
15	4,94	0,91	4,25	3,60	4,17	9,16	7,31	3,03	6,19	9,79	7,25	7,40	8,30	11,22	12,02

répartissent les autres — allant de l'argile au gravillon fin — en proportions variables. En général le sablon fin forme une portion un peu plus grande que le sable grossier, les autres fractions étant inférieures. Dans quelques couches minces au contact du soubassement rocheux, soit le sable grossier, soit le gravillon fin dépasse les fractions moyennes de 1 à 2% en poids (fig. 3:4, 4:4 et 4:5).

Les éléments des sédiments ont une valeur moyenne (M) d'environ 200 μ , ce qui est environ 6 fois de plus que la valeur correspondante des matériaux éoliens du phare (Tableaux 1 et 2). Les valeurs de S_0 des sédiments du plateau sont généralement au-dessous de 2, ce qui tient à la prédominance des deux fractions moyennes. Les valeurs de l'asymétrie (Sk) indiquent que les matériaux ont en général la moitié la plus fine mieux assortie que la plus grossière. Ceci est dû pour beaucoup à ce que ces dimensions correspondent aux éléments provenant du tuf. L'érosion mécanique fonctionne vite quand il s'agit de la dissociation d'aggrégats de minéraux souvent assez faiblement cimentés, pendant que l'altération subséquente de ces derniers se fait assez lentement. Les fractions fines abondent ainsi dans la plupart des sédiments de l'île, malgré l'érosion éolienne forte mais inégale à cause de la végétation et de l'exposition inégale. Les valeurs de kurtosis (K) indiquent uniquement des courbes de fréquence avec des pics prononcés et asymétriques.

Les écarts de la granulométrie moyenne des sédiments du plateau dépendent principalement des changements soit des conditions de sédimentation, c'est-à-dire, des variations de la direction du vent et peut-être aussi de la force, soit des modifications dans l'étendue et l'épaisseur de la végétation de l'île. Les échantillons n^{os} 11 et 14 sont représentatifs de sédiments déposés sous des

du plateau entre $0,49 \mu$ et 8000μ .

<i>M</i>	Q_1	Q_3	S_0	S_k	$\log S_k$	<i>K</i>	
80	21	140	2,580	0,459	-,6618	0,254	Sablon grossier – sablon fin
130	12,5	690	7,430	0,510	-,7076	0,097	Sablon fin – sable fin
83	28	150	3,536	0,506	-,1847	0,645	Sablon grossier – sable fin
156	70	275	1,983	0,791	-,8982	0,233	Sablon grossier – sable fin
160	17,5	540	5,559	0,369	-,5670	0,059	Sablon grossier – sable fin
216	147	350	1,542	1,103	,0425	0,308	Sable fin – sablon grossier
189	132	285	1,469	1,053	,0225	0,182	Sable fin – sablon grossier
188	90	325	1,900	0,828	-,9180	0,255	Sable fin – sablon grossier
213	127	370	1,705	1,035	,0144	0,231	Sable fin – sablon grossier
195	95	350	1,818	1,874	-,9415	0,268	Sable fin – sablon grossier
80	85	600	8,402	0,796	-,9009	0,123	Sable fin – argile grossière
42,5	30	65	1,460	1,080	,0334	0,273	Sable fin – sable grossier
80	55	120	1,476	1,031	,0132	0,357	Sable grossier – sable fin
170	20	2000	10,000	1,384	,1411	0,180	Gravillon fin – sablon grossier
105	13	600	6,790	0,707	-,8494	0,978	Gravillon fin – sable grossier

conditions toutes différentes du vent; leur masse principale est constituée de fractions aussi différentes que du sable fin ou de l'argile grossière et du gravillon fin ou du sable grossier.

Au point de vue de la formation des dunes, on peut noter aussi la différence de structure entre les échantillons n^{os} 12 et 13, consistant en sable fin et grossier et qui représentent des dépôts supérieurs du côté proximal de la dune, et l'échantillon n^o 1 du côté abrité formé de sablon, grossier et fin.

Une comparaison entre la granulométrie des deux catégories de sédiments montre que les diamètres des grains qui prédominent dans les sédiments du phare jouent un rôle secondaire, dans la plupart des cas, parmi les sédiments du plateau. Ceci apparaît spécialement dans les dépôts superficiels récents, sauf dans le dépôt profond mentionné ci-dessus et dans beaucoup de couches minces de la dune, soit dans la région des dunes, soit ailleurs. Autrement dit ce sont les dépôts qui ont subi un remaniement particulièrement fort et ainsi un tri, qui sont dépourvus entièrement ou partiellement de sédiments fins. Dans le tableau 3 sont inclus, sauf les sédiments du phare (A) deux échantillons récents de la surface des sédiments du plateau (B et C), qui ont été seulement tamisés et deux échantillons des couches riches en sédiments fins de l'intérieur de la dune (D et E), qui ont été tamisés et analysés par la méthode de la pipette.

En comparant les fractions correspondantes des deux catégories de sédiments, il apparaît que la répartition des grains dans les fractions fines — sablon, poudre, argile — est très semblable. La teneur en argile, par exemple, est assez constante dans la plupart des échantillons (fig. 5). D'après la teneur d'argile, on peut séparer les fractions fines en deux groupes nettement distincts. Dans

Tableau 3. Pour-cents en poids des sédiments de l'Alboran.

() désigne la quantité totale des matériaux inférieurs à 0,06 mm.

Fractions mm	Matériaux éoliens	Matériaux volcaniques et éoliens			
	A	B	C	D	E
6-2	—	0,15	—	—	13,50
2-0,6	—	6,15	69,50	5,00	12,50
0,6 -0,2	—	46,80	28,50	42,00	15,00
0,2 -0,06	17,60	35,10	1,50	32,00	13,00
0,06 -0,02	41,60	(11,80)	(0,50)	8,50	15,50
0,02 -0,006	20,40			6,50	12,50
0,006-0,002	13,60			4,00	7,50
< 0,002	6,80			2,00	10,50

l'un des groupes la teneur en argile est inférieure à 10% en poids. A ce groupe appartiennent aussi les matériaux du phare, dont la teneur en argile est d'environ 7%. L'autre groupe a une teneur en argile d'environ 20%. Les éléments argileux qui se trouvent dans les sédiments, proviennent soit des matériaux éoliens, soit des tufs volcaniques. Dans ceux-ci, il existe des particules fines, formant comme une membrane autour de certains grains ou comme un liant entre eux. On n'a pas précisé la quantité provenant de chacune de ces deux sources, mais dans les cas où les matériaux fins existent sous forme d'une pellicule ou d'un liant entre les grains grossiers, dans les surfaces de contact des strates des dunes, la partie principale dérive sans doute des sédiments éoliens. Dans d'autres cas où la teneur en argile est extrêmement haute, on est prêt à supposer que ces sédiments ont reçu une part inhabituellement grande de matériaux fins libérés des tufs.

La couleur des sédiments

Dans la fine couche sédimentaire du plateau, la couleur est en général brun-rouge clair à marron-gris. Des nuances plus foncées peuvent apparaître à certains endroits où la teneur en hydroxydes de fer et en matières humiques est plus grande que d'habitude. La couleur des sédiments de la dune qui fut excavée est généralement jaune clair à jaune-marron; elle passe par places au gris clair. Dans la tranchée trois zones rouges à rouge-marron ont apparu aussi, distinctement séparées mais irrégulièrement formées (n^{os} 7, 4 et 2 et la partie du fond du dépôt 1). La couleur rouge s'est montrée sous forme de grandes taches, avec une partie centrale colorée intensivement pour décroître à la périphérie. L'aspect irrégulier des dépôts rouges indique que ce sont des colorations secondaires et qu'il ne s'agit pas de l'apport éolien de sédiments rouges. Une analyse chimique quantitative de Fe⁺³ selon la méthode de Zimmermann-Reinhardt (Kolthoff & Sandell 1959, p. 572) de quelques échantillons de la dune ont indiqué que la teneur en fer varie entre environ 5-8%. Les couches

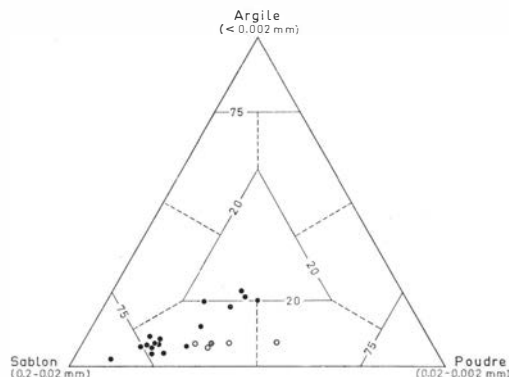


Fig. 5. Diagramme montrant la proportion de sable, de poudre et d'argile dans les sédiments éoliens (o) et dans ceux de plateau (●).

rouges ont présenté une teneur en fer de 1,5–2% de plus que les sédiments clairs voisins. Une altération chimique aussi marquée que l'indiquent ces changements de couleur devrait impliquer des quantités d'eau plus grande qu'actuellement. Du matériel limité présenté ici, il est impossible de décider si ces couches correspondent vraiment à des périodes humides déterminées du Pléistocène le plus jeune. Sur cette question n'existent pas d'autres indications au sujet de l'île. On peut mentionner qu'on trouve souvent dans ces profils pédologiques des continents voisins trois dépôts rouge-marron à environ un mètre de profondeur, mais il n'est pas certain de pouvoir les mettre en corrélation avec ceux qui ont été observés dans l'Alboran.

Stratigraphie des sédiments des dunes

Dans la tranchée de la dune, neuf dépôts distincts ont apparu (fig. 6). Ceux-ci sont en général en superposition conforme. L'épaisseur des couches varie entre 5 cm et 60 cm environ. Aucune structure interne typique de dune n'a pu être observée. Le dépôt du fond (1), le plus puissant, est constitué de couches alternativement grossières et fines et de couches d'une composition intermédiaire (Tableau 2, n° 2, 5, 11, 14 et 15). Dans la formation basale les particules sont très bien arrondies et durent être redéposées plusieurs fois avant d'être enfin couvertes par des sédiments plus jeunes. L'accumulation des minéraux lourds, mentionnée ci-dessus, avant tout des grenats très bien arrondis, est un conséquence typique du processus de redéposition.

Le dépôt 2 consiste en matériaux assez fins (Tableau n° 1). Sa limite inférieure est assez distincte, la limite supérieure plus diffuse. Il est d'une part brun-cacao, d'autre part brun-rouge. Les grains des minéraux sont assez bien arrondis, mais le degré d'arrondissement diminue vers le haut de la dune. Il contient — aussi bien que le dépôt du fond — un grand nombre de racines provenant de la végétation ancienne.

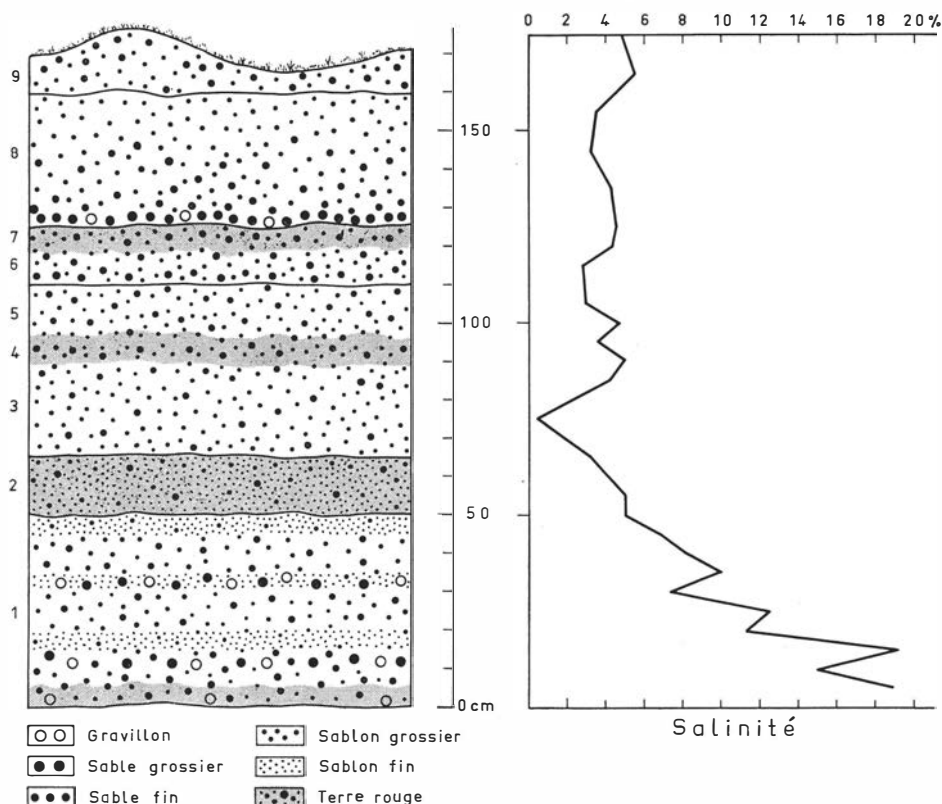


Fig. 6. Coupe d'une dune á Alboran et profil de salinité.

Les dépôts 3-8 consistent en sédiments d'une composition normale. Les limites entre ces formations correspondent soit en changements de couleurs, soit en surfaces d'érosion où eut lieu un net changement dans le diamètre des grains (par exemple, entre $\frac{5}{8}$ et $\frac{7}{8}$). Les dépôts 4 et 7 sont de couleur rouge-brun, le dépôt 6 a une nuance gris clair, tandis que les dépôts 3, 5 et 8 sont principalement brun clair. A certains endroits se trouvent des racines d'une végétation plus âgée.

La formation supérieure (9), correspondant aux matériaux récents, est assez grossière (Tableau 6 : 13). Sa couleur est brun clair à gris clair. Elle est riche en chevelus de racines de la végétation actuelle et a une structure très poreuse. Les grains ne présentent pas d'arrondissement visible.

La salinité des sédiments

Pour les échantillons provenant de la tranchée de la dune, la teneur en substances solubles a été déterminée de la façon décrite ci-dessus (p. 277). Elle est constante du haut de la dune jusqu'à environ $\frac{1}{2}$ m au-dessus du fond rocheux,

où elle augmente soudain (fig. 6). L'enrichement vers le bas des matériaux facilement solubles consistant principalement en sels marins est dû à la dissolution qu'ont subie les parties superficielles de la dune.

La différence de salinité des matériaux éoliens du phare (40-45%) et les autres sédiments (1-6%) est importante. La cause en est soit l'origine diverse des sédiments, soit la différence d'âge. Les sédiments du plateau ont été formés au cours de plusieurs siècles où ils sont restés plus ou moins librement exposés à l'influence des agents atmosphériques. Les matériaux éoliens du phare, au contraire, sont tout à fait récents, et les échantillons ont été prélevés et analysés peu après la sédimentation et sans que les sédiments aient été dessalés par la pluie.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma vive gratitude au professeur ERIK NORIN pour l'idée de la présente étude et l'appui apporté dans la réalisation de celle-ci.

Je remercie le météorologue JOSÉ RAMÓN CARBALLO, Ile d'Alboran, pour l'envoi des échantillons des sédiments du phare de l'île et aussi le capitaine A. CAZORLA et Messieurs I. C. CUBILLAS, F. MORALES et M. BAENA pour l'assistance lors du voyage à l'île.

Ma femme HILLEVI a bien voulu traduire la présente publication que J. P. PORTMANN (Neuchâtel, Suisse) a eu l'amabilité de relire. Je les remercie tous deux cordialement.

Le séjour à Alboran a été rendu possible par une subvention du fonds Liljevalch.

Bibliographie

- ATERBERG, A., 1905: Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. *Chem. Zeitschr.*, vol. 29, pp. 195-198. Berlin.
- BAGNOLD, R. A., 1941: The physics of blown sand and desert dunes. London.
- BLANC, A. C., 1937: Low levels of the Mediterranean Sea during the pleistocene glaciation. *Q. J.*, vol. 93, pp. 621-651. London.
- BOURCART, J., 1960: Carte topographique du fond de la Méditerranée occidentale. *Bull. Inst. Océan. Monaco*, No. 1163.
- CALDERON, S., 1882: Estudio petrográfico sobre las rocas volcánicas del Cabo de Gata é Isla de Alboran. *Bol. Com. Mapa Geol.*, vol. IX, pp. 333-414. Madrid.
- FLINT, R. F., 1957: Glacial and Pleistocene Geology. New York.
- KOLTHOFF, I. M. et SANDELL, E. B., 1959: Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. New York.
- KRUMBEIN, W. C. et PETTIJOHN, F. J., 1938: Manual of Sedimentary Petrography. New York.
- NIGGLI, P., 1923: Gesteins- und Mineralprovinzen. Band I mit P. J. BERGER. Berlin.
- OSANN, A., 1891: Über den geologischen Bau des Cabo de Gata. *Zeitschr. Dtsch. Geol. Ges.*, vol. 43, pp. 323-345. Berlin.
- PARGA-PONDAL, I., 1935: Quimismo de las manifestaciones magmáticas cenozoicas de la Peninsula Ibérica. *Trab. Mus. Nac. Cienc. Natur., Ser. Geol.*, No. 39. Madrid.
- PETTIJOHN, F. J., 1957: Sedimentary Rocks. New York.

- PFANNENSTIEL, M., 1959: Unveröffentlichte bathymetrische Karte des westlichen Mittelmeeres. *Geol.-Pal. Inst., Univ. Freiburg-Breisgau*.
- TERMIER, G. et H., 1952: Histoire Géologique de la Biosphère. Paris.
- TRASK, P. D., 1932: Origin and environment of source sediments of petroleum. *Gulf Publ. Comp.* Houston, Texas.
- WOLDSTEDT, P., 1958: Das Eiszeitalter, vol. 2. Stuttgart.