



HAL
open science

Périodes arides du Quaternaire récent et déplacement des sables éoliens dans les Zibans (Algérie)

Jean-Louis Ballais, Alain Marre, Pierre Rognon

► **To cite this version:**

Jean-Louis Ballais, Alain Marre, Pierre Rognon. Périodes arides du Quaternaire récent et déplacement des sables éoliens dans les Zibans (Algérie). *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, 1979, 21 (2), pp.97-108. hal-01543047

HAL Id: hal-01543047

<https://amu.hal.science/hal-01543047>

Submitted on 20 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Périodes arides du Quaternaire récent et déplacement des sables éoliens dans les Zibans (Algérie)

par J.L. BALLAIS *, A. MARRE ** et P. ROGNON***

RÉSUMÉ. — Au NW de Biskra (Algérie), un courant de sables éoliens traverse les Zibans. Ce flux de sables et de poussières gypseuses a existé à plusieurs reprises au cours du Pléistocène supérieur et de l'Holocène. Il est matérialisé par des placages de dunes et des accumulations de gypse plus ou moins indurées au flanc des reliefs des Zibans. Des dépôts de périodes arides alternent avec des dépôts de périodes humides (paléosols, alluvions). La dernière période humide est datée de 6300 à 4800 ans BP environ. Avec l'aridification récente, ce mouvement de sables a repris du NW (Hodna) vers le SE (Sahara) et alimente les ergs du désert à partir des régions bordières.

Mots-clés : Paléoclimatologie, Éolien, Holocène, Pléistocène supérieur, Atlas Saharien.

ABSTRACT. — *Arid periods during the late Quaternary and aeolian sand movement across the Ziban hills (Algeria):* A band of wind-blown sand crosses the Ziban hills NW of Biskra in North-central Algeria. Comparable influxes of sand and gypseous dust took place several times during the Late Pleistocene and Holocene. They appear as dunes and as more or less indurated deposits of gypsum banked up against the flanks of the Ziban hills. Alternating with the deposits are alluvial sediments and palaeosols developed during wetter phases. The last wet phase lasted from about 6300 to 4800 BP. Reactivation of the sand during the latest dry interval has resulted in a flow of sand from the NW to the SE, i.e. from Hodna towards the Sahara. The Saharan dune fields are thus being supplied from their less arid margins.

Key-words : Paleoclimatology, Aeolian deposits, Holocene, Late Pleistocene, Saharan Atlas.

Situés entre la cuvette du Hodna et le piedmont saharien, les chainons des Zibans n'ont jamais constitué un obstacle sérieux aux déplacements des sables éo-

liens. Peu élevés et discontinus, ils ont cependant forcé une partie de ces sables à se déposer sur les flancs des chainons, sous la forme de dunes d'obstacle ou de placages éoliens. Lors des périodes arides du Quaternaire, ils ont joué ce rôle à chaque remise en mouvement des sables et « piégé » des placages successifs de particules éoliennes. Ces placages peuvent parfois être replacés dans une série stratigraphique et fournissent ainsi l'un des meilleurs moyens pour étudier la succession des périodes arides. En effet, les édifices dunaires qui constituent les ergs sont des formes très fragiles et vite remaniées. Leurs témoignages ne sont guère utilisables, surtout pour des périodes arides de courte durée comme celle du Pléistocène supérieur et de l'Holocène.

L'étude des placages éoliens dans un site d'obstacle sur un flux de sables a déjà été tentée dans la région d'El Haouita, à 40 km à l'Ouest de Laghouat (P. Estorges *et al.* 1969). Au cours d'une mission de terrain dans le Sud-Constantinois¹, nous avons recherché des sites favorables à ce type d'étude et retenu trois sites dans les Zibans où ces placages éoliens peuvent être replacés dans une stratigraphie du Pléistocène supérieur et de l'Holocène. Nous avons cherché aussi à distinguer

1. Cette mission de l'ERA 684 dans le Sud Constantinois a été organisée avec l'aide très efficace du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Constantine dirigé par M. Ben Cheikh que nous tenons à remercier très sincèrement ainsi que M. Ben Azzouz et J.S. Magagnosc, qui nous ont accompagnés sur le terrain. Le recueil des échantillons de sables actuels a été réalisé ensuite par A. Marre. Les échantillons riches en coquilles ont été datés par J.C. Fontes (Laboratoire de Géologie dynamique, Université P. et M. Curie). Les minéraux lourds ont été déterminés par Monique Richeux (Laboratoire de Géologie 1, Université P. et M. Curie). Nous leur exprimons ici nos très vifs remerciements.

* Département de Géographie, Université de Caen et ERA 684.

** Institut de Géographie, Université de Reims.

*** Département de Géographie Physique, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) et ERA 684.

les mouvements de sables à longue distance et les dépôts de poussière de gypse qui n'ont pas exactement la même signification paléoclimatique.

Un premier résultat ressort de ces observations : au cours du Quaternaire supérieur, les sables, comme les poussières, se sont toujours déplacés du Nord vers le Sud, c'est-à-dire de la zone subdésertique (Hodna) vers le Sahara. Cette constatation va à l'encontre des idées traditionnelles d'une invasion des régions périphériques par les sables sahariens, qui sont à l'origine de la création des « barrages verts ». Un tel barrage forestier est précisément en cours de développement sur la bordure septentrionale du Hodna (fig. 4). Ce problème a donc des applications pratiques.

I. - PHASES RÉCENTES DE DÉPLACEMENT DES SABLES À L'OUEST DE BISKRA.

Les coupes du piedmont Sud des Zibans montrent que ces apports de sables éoliens se sont reproduits deux fois au cours de l'Holocène.

A. - Examen de deux coupes d'âge holocène.

Sur le flanc sud du Dj. Bou Rhezal (fig. 1), au lieu dit Ed Deloua Beni Brahim, les dunes recouvrent un glacis d'ablation avec sa couverture de blocs très anguleux. Épaisse de quelques décimètres, cette couverture repose sur un sable dunaire antérieur, parfaitement classé et dépourvu d'éléments grossiers. Il s'agit d'un glacis, taillé dans une roche meuble très particulière, constituée par une vieille dune. Un tel phénomène est relativement fréquent au pied des versants ensablés à la bordure nord du Sahara. Il implique une saturation en eau des sables de la dune ancienne pour que puisse se développer un écoulement superficiel relativement abondant capable de déplacer de petits blocs vers l'aval. A l'aval du glacis, la remontée concomitante de la nappe phréatique a permis, par l'évaporation estivale, la formation d'une croûte gypseuse (« deb deb »), cimentant les débris grossiers de la couverture du glacis. Après cette phase humide, le retour à l'aridité a entraîné de nouvelles migrations de sable éolien venant du Nord et accumulé en position sous le vent.

Les coupes relevées dans les terrasses de l'O. Matraf permettent de préciser la succession chronologique (fig. 1). Au pied du Dj. Beidene, on observe :

1) à la base, plus de 2 m de sable dont le classement (méd : 195 microns, $S_o = 1,30$, $Qd\phi = 0,37$)² est identique à celui des

sables mobiles actuels recueillis dans les nebkas³ de la plaine (méd : 190 microns, $S_o = 1,34$, $Qd\phi = 0,42$ (fig. 3). Des litages parallèles et très inclinés indiquent une progression de ces paléodunes du NW vers le SE.

2) puis, en discordance de ravinement, des dépôts fluviatiles (galets subanguleux à la base, limons au sommet) appartenant à la basse terrasse de l'oued. Au contact entre les deux dépôts, on constate une concentration importante de coquilles fossiles d'*Helix* alors que celles-ci sont absentes dans les deux dépôts. Nous avons pu vérifier, en creusant à l'intérieur du matériel détritique, que ces coquilles étaient aussi abondantes, mais uniquement le long du contact, ce qui suggère que ces *Helix* ont été rapidement fossilisés lors de l'arrivée des premières crues. L'étude malacologique de cette faune confirme l'aridité du climat à cette époque. En effet malgré le tri effectué lors de la récolte, qui a favorisé les espèces les plus volumineuses (*Helix melanostoma*, *Oteta punica*, *Leucochroa candidissima*), on constate (tableau 1) :

- que les diamètres des *Helix melanostoma* (espèce actuellement inconnue dans les Zibans) sont comparables à ceux des individus vivant actuellement au Sud de Tébessa (précipitations annuelles : $P = 338$ mm) et plus faibles que ceux des individus vivant à Oum el Bouaghi (ex. Camrobert, Hautes Plaines constantinoises $P = 449$ mm) (D. Lubell *et al.*, 1975) ;

- que les diamètres des *Leucochroa candidissima* sont comparables à ceux des individus actuels d'Oum el Bouaghi, de Biskra ($P = 156$ mm) et du Sud de Tébessa ;

- surtout que les diamètres des *Helicella setifensis*, actuellement inconnus à Biskra, sont beaucoup plus petits que ceux des individus actuels de Batna ($P = 346$ mm).

Au total, le faible diamètre des espèces hygrophyles (*Helix melanostoma*, et surtout, *Helicella setifensis*) conjugué à la bonne taille des *Leucochroa candidissima* xérophyles, indique un environnement très sec. Ces *Helix* ont été datés de 6350 ± 100 ans BP par J.C. Fontes (Laboratoire de Géologie dynamique, Université P. et M. Curie).

3) Ces dépôts fluviatiles passent latéralement à une formation épaisse de couleur brune qui repose sur le matériel dunaire. Il s'agit d'un véritable sol avec l'ébauche d'une accumulation argileuse au niveau de l'horizon B (structure en colonettes) et quelques concrétions calcaires et pseudomycéliums blanchâtres enrobant d'anciennes racines. Dans les anciens creux interdunaires, ce sol s'épaissit et passe à une accumulation de limons bruns dans lesquels s'individualisent parfois deux horizons palustres très riches en matière organique. Durant cette période, le mouvement des sables était totalement stoppé par une végétation relativement dense. Le sommet de cette accumulation limoneuse est caractérisé par une mince pellicule argileuse durcie, qui évoque le « glaçage » d'un sol nu par l'impact direct des gouttes de pluie.

4) Au-dessus, des lits de gravillons, apportés des versants par le ruissellement, alternent avec des lentilles de sables éoliens lors du passage à l'aridité actuelle.

5) Sous le climat actuel, le mouvement des sables a repris sous la forme de nombreuses nebkas tandis que l'oued principal et ses affluents se sont enfoncés de 2 à 4 m.

2. Q_1 et Q_3 étant les diamètres des grains correspondant respectivement à 25 % et à 75 % du poids du sable,

$$S_o = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}} \text{ et } Qd\phi = \text{Log}_2 S_o.$$

3. Les nebkas sont des buttes hautes de quelques décimètres à plus d'un mètre où le sable en transit s'accumule en arrière d'un obstacle végétal (arbuste, buissons). Toutes les nebkas actuelles indiquent un déplacement de NW au SE dans ce secteur.

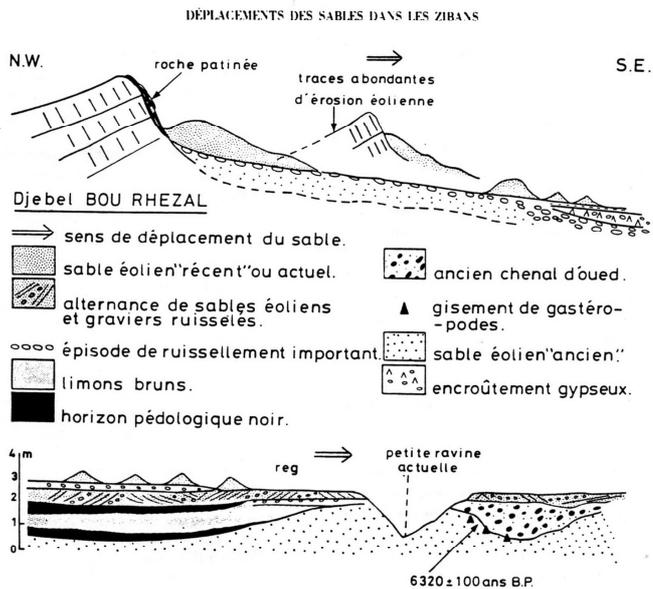


FIG. 1. - Coupes d'âge holocène montrant la succession de deux périodes arides sur la bordure Sud des Zibans.

Au Dj. Bou Rhezal, deux périodes d'accumulation dunaire sont séparées par le façonnement d'un glacis d'ablation. Dans l'O. Matraf, une dune antérieure à 6320 ± 100 ans BP est ravinée par des dépôts fluviaux passant latéralement à des limons.

FIG. 1. - Holocene stratigraphic sections showing evidence of two dry intervals along the southern margin of the Ziban hills.

At Djebel Bou Rhezal two phases of dune development are separated by an interval of erosion and sediment formation. In the Oued Matraf a dune older than 6320 ± 100 years BP is unconformably overlain by fluvial deposits which grade laterally into silts.

	H. melanostoma	L. candidissima	O. sp.	R. decollata	H. setifensis	Indéterminés
Poids	60 g	60 g				15-20 g
Nombre d'individus	29	16 (+ 14 juvén.?)	2	5	22	
Diamètres maxima	23,6 à 27,5 mm	19,8 à 23,1 mm		L = 21,5 mm	7,7 à 9,2 mm	
Observations	tests colorés brillants, (éol.) percés de petits trous		tests cassés	individus incomplets		

TABL. I. - Étude malacologique des Helix de la terrasse de l'Oued Matraf.

Remarque : les *Otella* sont probablement de l'espèce *O. punica*; pour les *Rumina decollata*, c'est la longueur totale qui est indiquée. Les déterminations sont de J.L. Ballais.

TABL. I. - Mollusca of the Oued Matraf terrace.

Note : *Otella* probably belongs to the species *O. punica*; total length is given for *Rumina decollata*. Identified by J.L. Ballais.

B. - Existence de deux phases arides au cours de l'Holocène.

Si l'on compare les deux coupes précédentes, on constate que l'épisode dunaire « ancien » a été tronqué en glacis dans le premier cas, raviné dans le second, ce qui suppose des épisodes d'écoulement abondant de l'O. Matraf et de ruissellement très actif au pied du Dj. Bou Rhezal. Dans l'O. Matraf ce passage à un climat plus humide a pu être daté de 6320 ± 100 ans BP. Cette évolution vers une période plus humide s'affirme avec l'apparition d'une pédogenèse (O. Matraf) qui peut être contemporaine d'une nappe phréatique subaffleurante (deb-deb) au pied du Dj. Bou Rhezal. Or ces sols bruns ou noirs sont encore très développés sur toute la bordure occidentale de l'Aurès où nous les avons suivis jusque dans la région d'Aïn Touta, où ils prennent un développement considérable (fig. 2). Le choix de ce secteur s'explique par l'abondance du matériel malacologique pour les datations au Carbone 14 et par la présence très constante de deux horizons humifères dans les colluvions et les alluvions des petits oueds. Dans les dépressions, des chenaux (remplis de sables, de gravillons, de coquilles brisées et de quelques fragments d'os) alternent avec ces horizons sur 3 ou 4 m d'épaisseur (fig. 2a). Sur les versants, on retrouve les sols hérités en place avec les horizons A humifères (10-20 cm) et un horizon B marqué par des concrétions calcaires abondantes (fig. 2b). Les coquilles d'Hélix utilisées pour la datation ont été prélevées à l'intérieur de ce sol noir (fig. 2c) qui a été ensuite fossilisé par 1 à 2 m de limons bruns ruisselés, puis par une pellicule de 20 cm de cailloux descendus des versants et tronquant plus ou moins ces paléosols. Ces sols, enfouis au cours d'une période d'aridité croissante, sont visibles actuellement par suite d'une érosion intense sous forme de profondes ravines et de phénomènes spectaculaires de suffosion. Cette érosion est probablement consécutive à une mise en culture récente. Un de ces sols a été daté par J.C. Fontes de 4830 ± 120 ans BP. Il caractérise dans les Zibans et l'Aurès, une période d'extrême stabilité des pentes où les déplacements massifs de sables éoliens étaient totalement arrêtés. On peut donc penser qu'à l'Holocène, deux périodes arides ont existé séparées par une période pluviale, entre 6320 ± 120 ans et 4830 ± 120 ans BP au moins, ce qu'on peut appeler l'Holocène moyen. Ces deux périodes arides avaient été cartographiées systématiquement sous les termes de « sables rouges anciens » et « sables actuels » dans l'étude géomorphologique de la cuvette du Hodna (M. Sary, 1976). Au Hodna, l'épisode « ancien » est recoupé par des glacis (comme au Dj. Bou Rhezal) ou surmonté par des épandages de galets (comme à l'O. Matraf). Ceux-ci, regroupés par M. Sary sous le signe « Qob », se seraient déposés lors d'une phase de

climat méditerranéen plus humide, suivie du développement d'un sol noir (Qoc) contenant des coquilles brisées (M. Sary, 1976, p. 230-231 et 246). Ce sol est parfois surmonté par des limons de débordement.

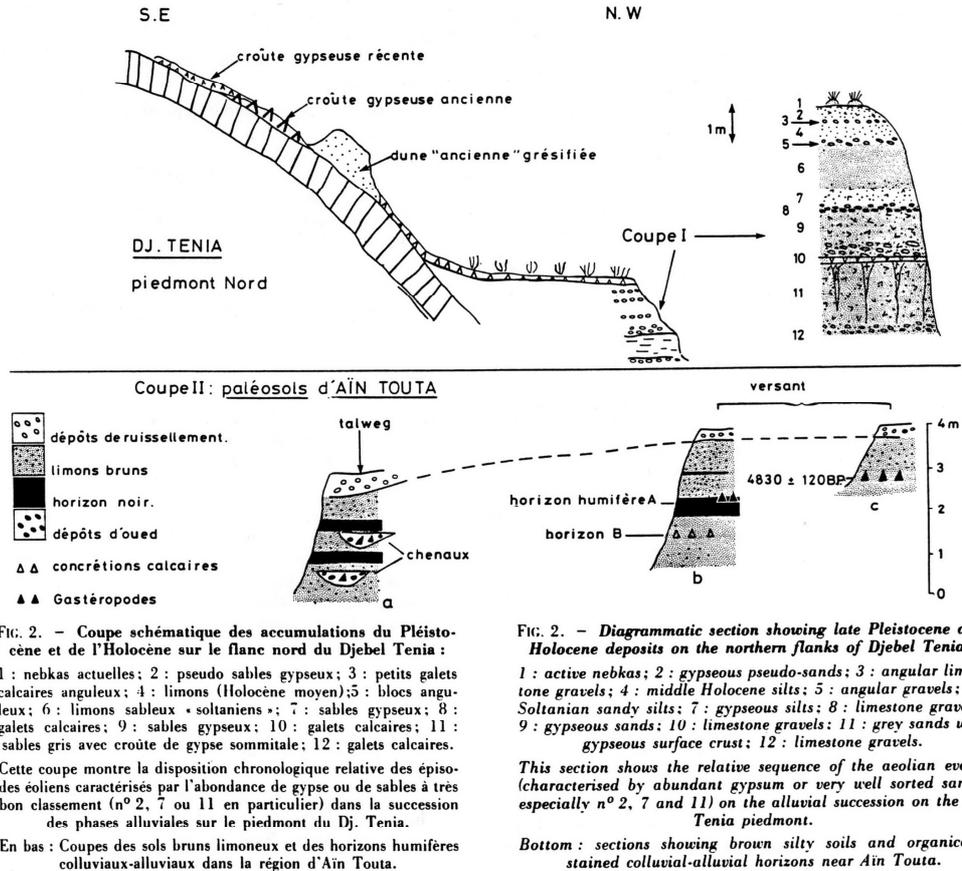
Les observations effectuées dans les Zibans sont donc concordantes avec la chronologie relative établie pour l'ensemble du Hodna. Ces datations absolues permettent de replacer ces événements dans le cadre plus large de l'Atlas saharien où une vingtaine de datations au Carbone 14 sont disponibles :

- à la grotte Capeletti dans l'Aurès occidental (H. Alimen *et al.*, 1976) l'analyse des sédiments d'un gisement néolithique indique un climat plus humide que l'Actuel durant la période de 6530 ± 250 et 4900 ± 200 ans BP, puis une évolution vers l'assèchement.
- dans le Nord des Nementchas, de nouvelles études effectuées par D. Lubell et appuyées sur de nouvelles datations au Carbone 14 amènent à nuancer les schémas présentés il y a quelques années (D. Lubell *et al.*, 1975; J.L. Ballais, 1975). Une période relativement sèche s'étend de 9500 à 6500 ans BP (Chérien I), cependant plus fraîche et légèrement plus humide peut-être qu'aujourd'hui, interrompue par un intervalle de climat plus chaud et plus sec vers 8800 ans BP et s'achevant par un accroissement de l'aridité (vers 6500-6000 ans BP). L'optimum néolithique (Chérien II) se place vers 5900-4700 ans BP. Il est suivi par une phase plus sèche (Chérien III), interrompue au moins une fois par une phase plus humide de pédogenèse active et de dépôts limono-argileux à Gastéropodes datés de 2270 ± 80 ans BP (D. Lubell, *in litteris*).
- A l'escargotière du Chacal (Ain Dokkara) au SE de Tebessa, J. Renault Miskowsky (1979) montre, par l'étude des pollens, qu'entre 8580 et 7355 ans BP le climat était plus aride qu'aujourd'hui puisque la région était couverte d'une steppe (Composées, Chenopodiacées, Malvacees), là où la végétation actuelle est constituée de Pins et de Cupressacées.
- A El Haouita, sur le piedmont atlasique à l'Ouest de Laghouat, P. Estorges *et al.* (1969) ont daté un placage de sables éoliens sur des glacis « wurmiens », qui situe une période aride entre 12 000 et 8 000 ans BP, à l'Holocène inférieur.
- A Ouargala, plus au Sud, G. Aumassip *et al.* (1972) datent un dépôt d'évaporites et une formation de dunes entre 9550 et 7900 ans BP.
- A Hassi Mouillah, à l'W de Ouargla, F. Marmier et G. Trécolle (1968) ont montré qu'un épisode dunaire s'intercalait entre une industrie épipaléolithique datée de 8350 ans BP et une industrie néolithique de tradition capsienne datée de 5280 ± 250 ans B.P.

Ainsi il se confirme que les mouvements de sable ont pu se produire à l'Holocène inférieur, et après la période humide de l'Holocène moyen, lors de l'aridification actuelle du climat (P. Rognon, 1976).

II. - DÉPÔTS DE SABLES ET DE POUSSIÈRE DE GYPSE SUR LE FLANC NORD DU DJ. TÉNIA.

Sur le piedmont nord du Dj. Ténia, l'O. Rhorfa et ses affluents ont entaillé des dépôts plus anciens et plus



complexes (fig. 2). On peut en déduire la coupe synthétique suivante, de haut en bas :

- 1) au sommet, des nebkas auxquelles se substituent, au pied des versants, un mince éboulis de cailloux anguleux;
- 2) une accumulation de pseudo-sables gypseux avec concentration du gypse en surface sous forme d'un encroûtement polygonal. Le gypse étant absent dans les roches calcaires du flanc du Dj. Tenia, il a été apporté là par voie aérienne, comme le confirment les placages de gypse remontant très haut sur les versants entre les entailles des oueds. Les poussières de gypse, retenues par un couvert de buissons espacés, sont peu à peu incorporées, avec un peu de matière organique, dans un sol embryonnaire sans cesse recouvert par de nouveaux apports de gypse;

- 3) des petits blocs calcaires anguleux;
- 4) 50 cm de limons, beige-gris-vert, contenant beaucoup de cristaux de gypse, représentant l'épisode de sol de l'Holocène moyen, ici envahi par des apports de gypse (postérieurs ?);
- 5) 20 cm de blocs anguleux apportés du versant lors d'une phase de ruissellement actif;
- 6) 1 à 1,50 m de limons sableux orange à nodules calcaires farineux, représentant un sol calcaire, très probablement « soltanie »;
- 7) 60 cm de sables gypseux, beige-gris;
- 8) 30 cm de galets calcaires plus petits et plus arrondis que les dépôts postérieurs;
- 9) 1 m de sables jaunâtre-beige, consolidés par du gypse;

10) un dépôt discontinu (0 à 1 m) de galets calcaires, anguleux, de longueur généralement inférieure à 20 cm, à matrice sableuse, probablement gypso-calcaire;

11) 2 m de sables gris, très cohérents, grésifiés par le gypse, à structure prismatique passant au sommet à une croûte gypseuse qui remplit des fissures verticales;

12) 30 cm visibles de petits cailloutis calcaires anguleux à matrice orangée.

L'analyse granulométrique de sables provenant du niveau 2 ($S_0 = 1,37$, $Qd\phi = 0,45$) et du sable grésifié inférieur ($S_0 = 1,30$, $Qd\phi = 0,38$) montre un excellent classement autour de 120-140 microns (fig. 3), qui confirme un transport éolien de ce matériel. Ces sables ont été apportés lors des phases plus sèches, par des vents de NW comme à l'heure actuelle. Ils alternent avec des phases plus humides qui débutent par une phase de fixation et grésification des dunes, puis de ravinement avec dépôt de cailloutis venus des versants. Ensuite peuvent se déposer des limons (surtout au Pléistocène récent-Holocène), soumis à une pédogénèse lors du maximum de l'humidité. D'après nos observations, il semble que le gypse soit mobilisé par le vent plus tardivement que les sables et participe à leur grésification (en particulier lors de l'épisode 11, sur la figure 2 où il constitue jusqu'à 75 % du matériel). Son dépôt serait très actif lors du début du passage de l'Aride au Pluvial.

Cette coupe permet de replacer dans une chronologie relative les placages éoliens qu'on rencontre en lambeaux isolés jusqu'à une grande hauteur sur les flancs du Dj. Ténia : placages de poussières gypseuses subactuelles, petites buttes témoins de sables dunaires grésifiés, etc. Il faut signaler parmi ces placages, une ancienne croûte gypseuse, parfois épaisse de 40 cm, durcie, à débit en grands polygones. Elle est directement plaquée sur les calcaires du Dj. Ténia et passe, vers l'aval, sous les autres dépôts sans qu'il soit possible de la raccorder à l'un d'entre eux faute de coupe. D'après son faciès, elle remonterait au moins au « Tensiftien » (parallélisé, à titre d'hypothèse, avec le Riss d'Europe) dans la succession des croûtes sur les glacis étagés du piedmont sud de l'Aurès (J.L. Ballais, 1975).

On peut tenter de replacer cette succession de dépôts dans la chronologie du Quaternaire. En attendant la mise au point d'une nouvelle nomenclature, indispensable, nous utilisons celle du Maroc, mais en plaçant ses termes entre guillemets, afin de souligner leur valeur relative. La difficulté principale réside dans le fait qu'il s'agit d'une nomenclature appliquée à des Pluviaux (représentés ici par les galets, limons et sols) alors que le piedmont du Djebel Ténia est constitué surtout de dépôts « arides » (sables, gypse). Cependant les caractéristiques du dépôt 6 semblent assez nettes pour suggérer que la pédogénèse qui l'a affecté date du « Soltanien ». Au-delà, l'incertitude est plus grande. On peut

supposer que le dépôt le plus épais, formé des galets les plus gros (dépôt 10), représente le « Tensiftien » qui a engendré un glacis très développé un peu plus au Nord, vers El Kantara.

Cette coupe présente cependant un grand intérêt pour la reconstitution des mouvements de poussière gypseuse et de sables au cours du Pléistocène supérieur. On peut en déduire que le déplacement de sables du Hodna vers le grand Erg oriental a commencé bien avant l'Holocène, au moins à la période sèche antérieure au « Tensiftien » (Mindel/Riss ?). Le dépôt des poussières remonte au moins aussi loin dans le temps. Jusqu'ici aucune étude n'avait permis de distinguer plusieurs périodes de mise en mouvement de ces poussières.

III. — PERMANENCE DE CES COURANTS ÉOLIENS DIRIGÉS VERS LE SAHARA AU COURS DES PÉRIODES ARIDES.

Le transport de sables ou de poussières de gypse a donc existé à plusieurs périodes du Quaternaire supérieur et il se poursuit également dans la période aride actuelle. Des observations précises montrent que les sables sont actuellement en transit NW-SE et proviendraient de la cuvette du Hodna.

A. — Arguments de terrain.

1. Dans le bassin du Hodna.

Alors que les accumulations sableuses sont très largement étendues au Sud et au Sud-Est du Chott, le piedmont qui au Nord s'étend de M'Sila à Barika n'en porte pas. L'observation fait apparaître, dans la région de Baniou, de Bir Guellalia et tout au long de la route de Baniou-Bou Saada, deux types de formations sableuses (photo 1) :

- des accumulations anciennes dans lesquelles les sables sont de couleur foncée et légèrement indurés. Là, des nebkas hautes de deux mètres, fixées par une végétation stepmique et un important réseau racinaire sont en cours de destruction. Celle-ci est encore accélérée par le surpâturage. Cependant on peut encore voir que ces formes ont été élaborées suivant une direction NW-SE. D'autre part, les entailles d'érosion éolienne sur les flancs des nebkas ont, elles aussi, cette même direction;
- des accumulations actuelles dans lesquelles les sables vifs sont de couleur jaune clair. Des nebkas de

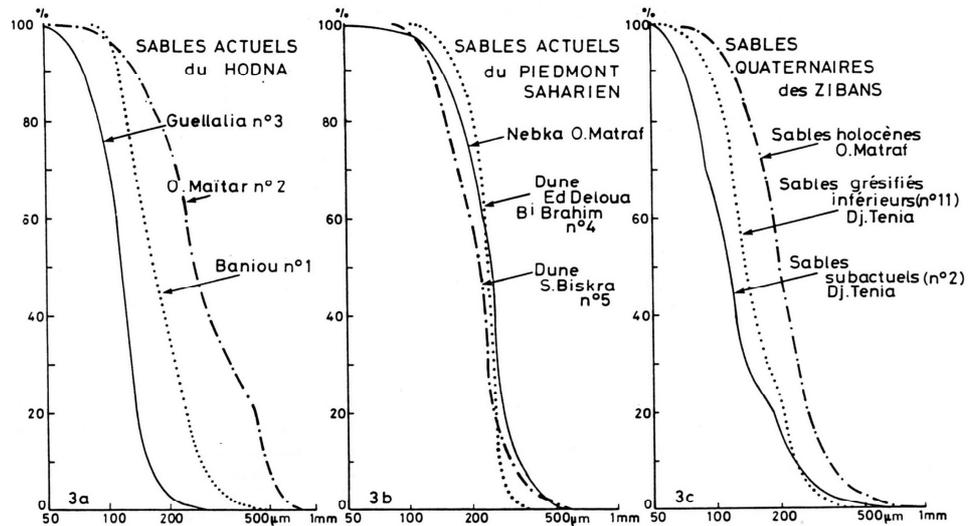


FIG. 3. - Courbes granulométriques de quelques sables actuels de la zone de départ probable (Hodna, 3a) et du piedmont saharien (3b).

On constate que les sables du second lot sont nettement mieux triés que ceux du premier. Ces courbes sont à comparer avec celles des sables des épisodes éoliens plus anciens observés dans les coupes des Zibans (3c).

FIG. 3. - Grain-size curves of modern sands in the probable source region (Hodna, 3a) and in the Saharan piedmont (3b). Second group are distinctly better sorted than those of the first. Compare with the grain-size curves of the older aeolian sands in the Zibans' sections (3c).

petite taille (0,50 m à 1 m de hauteur) sont en cours de construction derrière des touffes de végétation. Dans les sillons d'érosion entre les anciennes nebkas, on observe des formes vives (placages de sables) correspondant à une direction de vent NW-SE. Il est intéressant de noter qu'à Bir Guellalia toutes ces formes sont dans l'exact prolongement du seuil de M'Doukal (fig. 4).

Dans la région de Bou Saada, les terrasses des oueds permettent de faire les observations suivantes sur l'orientation des vents qui transportent les sables :

- dans l'oued Bou Saada où les écoulements sont fréquents, sur les rebords de terrasses érodées, on peut voir de bas en haut : 2 m de sables indurés rougeâtres, 1 m de galets roulés, et 0,50 m de sol sableux gris foncé consolidé et aujourd'hui en cours d'érosion; enfin, au-dessus, des dunes vives actuelles;
- dans l'oued Maïtar, au Nord de Bou Saada, l'écoulement semble plus exceptionnel et les bonnes coupes de terrasses sont inexistantes. Pourtant la terrasse de rive nord est couverte par un reg de galets alors que des nebkas, orientées NW-SE, se développent sur la rive

sud aux dépens d'épaisses accumulations sableuses. Il semble donc y avoir déflation sur la rive nord où le sol sableux gris a été érodé, laissant affleurer le niveau de galets. Au contraire les accumulations en transit sur la rive sud résultent de cette déflation.

2. Sur le Piedmont sud des Zibans.

Tous les versants sud des djebels qui dominent la route Biskra-Tolga sont aspergés de sables (photo 2). Les versants aspergés sont systématiques jusqu'à 23 km à l'Ouest de Biskra. Au-delà vers l'Ouest, les accumulations sableuses sont plus rares, puis disparaissent après Zbaret et Raïat.

À Delaouat Beni Brahim, deux crêtes sont parallèles à la route Biskra-Tolga et correspondent au flanc sud de l'anticlinal éventré en combe du Dj. Bou Rhezal. Alors que leur versant nord ne porte que de petits placages de sables vifs, leur versant sud est abondamment recouvert jusqu'au sommet. Sur le piedmont sud de ces reliefs,

TABL.II. — Les cortèges de minéraux lourds des sables récoltés et localisés sur la figure 4.

POIDS %	ZIRCON	TOURNALINE	GRENAT	RUTILE	AMPHIBOLES	PYROXÈNES	STAURITIDE	DISTHÈNE	ANATASE	ÉPIDOTE
0,1770	45	22	17	13	3	X	X	X	X	X
0,1308	52	22	9	13	4	X	X		X	X
0,1745	49	19	6	16					10	X
0,1421	30	38	13	8	4		X		2	1
0,2258	47	20	17	10	X		X	2	X	X

TABL.II. — Heavy mineral analyses of sand collected from the sites shown on figure 4.

des nebkas très denses sont colonisées par *Stipa tenacissima*. Les dunes couvrent le sommet de certaines collines (par exemple la cote 259) et s'allongent en sifs NW-SE au pied des versants (entre les cotes 245 et 190). L'analyse détaillée des dunes du versant sud montrent qu'elles sont érodées sur leur flanc septentrional, où la corrosion fait apparaître leurs stratifications et dégage les racines gypsifiées des végétaux qui fixaient d'anciennes nebkas. Sur le versant nord du crêt de la cote 190, les blocs sont creusés de stries de corrosion orientées NW-SE qui progressent aux dépens de microlapiez fossiles. Sur le versant méridional on observe une patine (photo 3). Versants aspergés, sifs, corrosion sont une fois de plus témoins de vents dominants de direction NW-SE (photo 4).

Enfin au Sud de Biskra dans les dunes d'Oumache s'observent encore deux phases éoliennes.

- une phase ancienne de sables jaune foncé et actuellement érodés par des sillons de corrosion NW-SE.
- une phase actuelle de sables jaune clair représentée par des dunes de 2 à 3 m de haut dont les sables progressent vers le SE, provoquant l'ensablement de la route et de la voie ferrée (accumulations sableuses à l'Est de chaque rail).

3. À l'échelle régionale.

On constate l'existence d'une même orientation pour le déplacement des poussières de gypse. En effet le Chott du Hodna est soumis à une forte déflation éolienne et il est bordé au Sud et également à l'Est, par un bourrelet de type « lunette » très continu. Ceci indique encore des directions éoliennes du NW vers le SE (M. Sary, 1976). Si, comme nous le pensons, les poussières de gypse retrouvées dans la coupe du piedmont nord du Dj. Ténia (fig. 2) ont pour origine la dépression du Hodna, la déflation sur ce chott aurait

déjà fonctionné avant le « Soltanien », donc plut tôt que ne le pensaient R. Guiraud (1973) ou M. Sary (1976).

Une dissymétrie identique est observée dans la répartition des accumulations sableuses autour de plusieurs sebkas du Sud-Algérien : Chott el Hodna, Zarhez au Nord de Djelfa, Chott Chergui (R. Guiraud, 1973 ; P. Ozenda et M. Keraudren, 1955). Les sables des alluvions des oueds du piedmont nord de ces dépressions sont repris, transportés par le vent et déposés sur la bordure méridionale. La répartition de ces accumulations sableuses suggère l'existence d'un courant de circulation des sables éoliens vers le Grand Erg oriental. Il est jalonné par les étendues sableuses du SE du chott Chergui, de la vallée de l'O. Maïtar, de Bou Saada et du piedmont sud du Hodna (R. Guiraud, 1973 ; M. Sary, 1976, p. 217-225), la plaine d'El Outaya (Bled el Madher, Bled el Mazouchia), le piedmont des Zibans (de Zbaret er Raïat à Biskra) et l'Oued Djedi (à l'Est d'Ouled Djellal) (fig. 4).

Il est intéressant de noter que ces placages éoliens traversent les « monts » Zibans à l'Ouest de Biskra en profitant du seuil de M'Doukal. Ils n'existent ni à l'Est de Biskra sur le piedmont méridional de l'importante montagne aurasienne, ni à l'Ouest de Zbaret er Raïat où les « monts » du Zab sont plus imposants.

Pour tenter de démontrer la réalité de ces flux, nous avons prélevé des sables actuels en trois points dans les zones amont du courant éolien, à la bordure occidentale et méridionale du Hodna. Nous avons comparé les granulométries et les cortèges de minéraux lourds avec ceux des sables actuels de la bordure sud des Zibans.

Les sables des régions « amont » proviennent de (fig. 4) :

Échantillon n° 1. Sud-Ouest de Baniou à 500 m à la sortie du village, dans les nebkas actuelles.

Échantillon n° 2. Nebkas de la basse terrasse de la rive droite de l'Ouest Maïtar près de Bou Saada.

Échantillon n° 3. Nebkas actuelles à 500 m à l'Ouest du village de Bir Guellalia.

Les sables des régions de transit proviennent de :

Échantillon n° 4. Les versants aspergés actuels de Ed Delaouat Beni Brahim.

Échantillon n° 5. Les dunes actuelles au Sud de Biskra (quelques kilomètres au Nord d'Oumache).

B. — Arguments sédimentologiques.

L'analyse des cortèges de minéraux lourds (tabl. II) montre une grande diversité dans les zones « amont ». Dans la région de Baniou (n° 1), prédominent les grenats après les tourmalines et les zircons, dans celle de l'O. Maïtar (n° 2), se trouve le maximum des zircons ; enfin dans celle de Guellalia (n° 3), l'anatase, minéral typique du métamorphisme, est particulièrement notable avec ses formes « en pavés », donc très peu usées, ce qui indique un très faible transport.

Si on compare ces résultats avec les échantillons n° 4 et n° 5 prélevés au Sud des Zibans, on constate un gradient net dans l'éroussé de plus en plus poussé des minéraux lourds vers le Sud, bien que les zircons restent toujours sub-automorphes. Une certaine filiation pourrait exister entre les n° 1 (Baniou) et n° 5 (région au SSW de Biskra) qui ont de forts pourcentages de grenats (17 %) avec dans les deux cas, trois variétés de grenats : rose, jaune vif et surtout orangé, espèce particulièrement rare. De même les anatases existent à la fois dans les n° 3 (10 %) et 4 (2 %). Mais, dans l'ensemble, le tableau II indique qu'il existe une nette modification entr les zones « amont » et le piedmont atlasique :

- sur le piedmont, le pourcentage de minéraux lourds par rapport à un poids identique de sable est plus élevé que dans les zones de départ (n° 5 : 0,22 %) ;
- Les échantillons « d'aval » (n° 4 et 5) indiquent une brusque augmentation de certains minéraux comme la

tourmaline, surtout le grenat (17 % dans le n° 5), mais aussi la staurotite ;

- Les n° 4 et 5 contiennent de nombreux zircons subautomorphes, qui ont été transportés, sans doute, sur de courtes distances.

À très peu d'exception près, tous les minéraux lourds se situent dans la fraction la plus fine (inférieure à 0,160 mm), ce qui est caractéristique d'un tri éolien déjà assez poussé. Mais il faut reconnaître que cet échantillonnage ne permet pas de conclure pour l'instant à une filiation nette entre les sables du Hodna et ceux du Sud des Zibans.

Si on considère la granulométrie (fig. 3) des sables mobiles des édifices actuels, on constate que, du NW au SE, le tri a tendance à croître : à Baniou et à l'Ouest Maïtar, So est de l'ordre de 1,31 à 1,50 et Qdφ de 0,39 à 0,58 (cette dernière valeur pouvant être considérée comme limite pour un dépôt éolien), alors qu'au Sud des Zibans, So varie de 1,11 à 1,34 et Qdφ de 0,15 à 0,42 seulement. Cette variation serait un argument en faveur du transport de sables éoliens du NW au SE si l'échantillon prélevé à Guellalia ne présentait pas déjà un tri remarquable (So = 1,20, Qdφ = 0,26). Par contre, et la figure 3 le montre bien, on peut affirmer que les sables du Hodna ne proviennent pas du Sahara.

C. — Arguments tirés du climat actuel.

Les roses des vents de Biskra et Ouled Djellal (SW de Biskra sur l'Oued Djedi) montrent que les fréquences dominantes des vents réparties sur l'année sont de NW à Biskra (40 % à 7 h, 33 % à 13 h, 36 % à 18 h) et de N à Ouled Djellal (30 % à 7 h, 27 % à 13 h, 30 % à 18 h) (P. Seltzer, 1941). Ces vents de N et NW soufflent surtout pendant la saison fraîche (octobre à avril) ; en été dominant les vents du Sud mais, à Biskra, les vents de NW restent notables pendant l'été

PHOTO 1. — Bir Guellalia.

Entre les nebkas anciennes de couleur jaune foncé, s'édifient de petites dunes suivant la direction NW-SE.

PHOTO 2. — Ed Delaouat Beni Brahim.

Versant orienté au SE noir et patiné, versant orienté au NW clair et corrodé par le vent.

PHOTO 3. Ed Delaouat Beni Brahim.

Versant aspergé sur le flanc SE du crêt.

PHOTO 4. — Ed Delaouat Beni Brahim.

Versant aspergé sur le flanc SE du crêt avec sifs actuels de direction NW-SE venant reposer sur les anciennes nebkas portant de la végétation au premier plan.

PHOTO 1. — Bir Guellalia.

Small dunes aligned NW-SE are developing between the older, deep yellow nebkas.

PHOTO 2. — Ed Delaouat Beni Brahim.

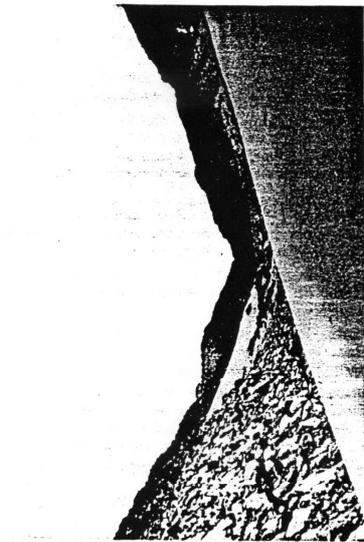
Slope facing SE is black and patinated, slope facing NW is pale and wind-abraded.

PHOTO 3. — Ed Delaouat Beni Brahim.

Sand-mantled slope on SE side of the ridge.

PHOTO 4. — Ed Delaouat Beni Brahim.

Sand-mantled slope on the SE side of the ridge with modern NW-SE aligned seif dunes, resting on older, vegetated nebkas in the foreground.



2



4



1



3

(14 à 25 %), particulièrement l'après-midi. Or comme on peut l'observer sur le Sud des Hautes Plaines Constantinoises et comme le note M. Sary (1976, p. 48) dans le bassin du Hodna, ce sont les vents d'automne (NW dominant) soufflant juste avant la période des pluies qui ont le plus grand pouvoir érosif sur les sols desséchés par le long été. Ces vents ont leur plus grande fréquence l'après-midi et par conséquent une meilleure emprise sur le sol sec (*idem*, p. 232). Ainsi la direction NW-SE des nebkas correspond bien à ces vents dans ces régions. Il est fréquent d'observer des stries de corrasion éoliennes nettes, toujours orientées NNW-SSE aux dépens des croûtes gypseuses recouvrant les glacis depuis le Bled Salahouine (entre Biskra et le Hodna) jusqu'aux environs de Roumane, à l'W de Khanga Sidi Nadji. De même, les nebkas qui entourent l'oasis d'Ain Naga ont envahi la route de Biskra-Zeribet el Oued, en octobre 1978, par vent du NW.

Conclusion.

Chacun des arguments géomorphologiques, sédimentologiques ou climatiques présentés ci-dessus peut paraître discutable, pris isolément. Mais ils constituent un ensemble cohérent qui permet de dire qu'au moins dans ce secteur de l'Algérie orientale, les déplacements de sable et de poussière gypseuse s'effectuent suivant la direction NW-SE. Ce transfert a repris à chacune des phases arides mises en évidence dans cet article, en particulier pour l'Holocène inférieur. Ces transports de sable n'ont pas l'importance des « trains » de barkanes qui se déplacent le long de l'Atlantique entre le Sud-Marocain et la baie des Lévriers (A. Clos-Arceud, 1965; M. Sarnthein et E. Walger, 1974), ni l'ampleur des courants de sables éoliens qui envahissent la bordure sud du Sahara, en particulier au Niger (M. Mainguet, 1977). Dans les Zibans, nous pensons qu'ils ne sont pas dirigés vers la bordure du désert mais, au contraire, qu'ils alimenteraient les ergs en sables issus des hautes plaines algériennes. En transposant à la bordure du Maghreb, les conclusions obtenues sur la bordure sahélienne, un « barrage vert » a été installé au Nord de la cuvette du Hodna où ces reboisements auront des effets bénéfiques sur la reconstitution d'une couverture de sols. Leur efficacité serait encore augmentée par leur extension aux régions sableuses de départ, avec des espèces végétales adaptées.

RÉFÉRENCES

- ALIMEN H., BIEDA Z. et CASTA L. (1976). — Étude sédimentologique du remplissage de la grotte Capeletti (Aurès). in C. Roubet : le Néolithique de tradition capsienne en Algérie orientale (thèse Doc. État, Paris X).
- AUMASSIP G., DAGORNE A., ESTORGES P., LEFEVRE P., MAHROUR M., MARNIER F., NESSON C., ROUVILLOIS M. et TRECOLLE G. (1972). — Aperçu sur l'évolution du paysage quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla. *Libyca*, t. XX, p. 205-257.
- BALLAIS J.L. (1975). — Étude comparative des glacis des piedmonts Nord et Sud des Aurès. Colloque Géom. des Glacis, Tours 1974, Imp. Univ. Tours, p. 11-16, tabl.
- CLOS-ARCEUD A. (1965). — Les fleuves de sable entre le Maroc et la Mauritanie et la théorie des barkanes. *C.R. Acad. Sci., Paris*, t. 261, p. 3637-3639.
- ESTORGES P., AUMASSIP G. et DAGORNE A. (1969). — El Haouita, un exemple de remblaiement fini-würmien. *Libyca*, t. XVII, p. 53-91.
- GUIRAUD R. (1973). — Évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Sci., Nice, 270 p. ronéot., 114 fig., XII pl. h-t.
- LUBELL D., BALLAIS J.-L., GAUTIER A. et HASSAN F.A. (1975). — The prehistoric cultural ecology of Capsian escargotières. *Libyca*, t. XXIII, p. 43-121, 2 ph., 26 fig., 22 tabl. h-t.
- MAINGUET M. (1977). — Analyse quantitative de l'extrémité sahélienne du courant éolien transporteur de sable au Sahara nigérien. *C.R. Acad. Sci., Paris*, (D), t. 285, p. 1029-1032.
- MARNIER F. et TRECOLLE G. (1968). — Stratigraphie du Gisement d'Hassi Mouillah, région de Ouargla (Algérie). *Bull. Soc. Préhist. fr.*, t. LXV, n° 4, p. 121-127, 2 fig.
- OZENDA P. et KERAUDREN M. (1955). — Carte de la végétation de l'Algérie au 1/200.000° = Guelt es Stel - Djelfa.
- RENAULT-MISKOWSKY J. (1979). — Analyse pollinique des sédiments de l'Escargotièrre du Chacal (Algérie). *L'Anthropologie* (à paraître).
- ROGNON P. (1976). — Essai d'interprétation des variations climatiques au Sahara depuis 40.000 ans. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.*, (2), vol. XVIII, fasc. 2-3, p. 251-282, 8 fig.
- SARNTHEIN M. et WALGER E. (1974). — Der äolische Sandstrom aus der W. Sahara zu Atlantikküste. *Geol. Rdsch.*, 63-3, p. 1065-1087.
- SARY M. (1976). — Géographie physique d'une Haute Plaine steppique algérienne : le Hodna. Thèse 3° cycle, Strasbourg, ronéot., 284 p., 35 fig., 25 annexes.
- SELTZER P. (1946). — Le climat de l'Algérie. *Trav. Inst. Météo. et Phys. du Globe de l'Algérie*, Alger, Carboneel, 219 p., 2 cartes h-t.

Manuscrit déposé le 12 janvier 1979.
accepté le 19 mars 1979.