



Morphogenèse éolienne littorale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène dans l'Oulja atlantique marocaine

André Weisrock, Michel Fontugne

► To cite this version:

André Weisrock, Michel Fontugne. Morphogenèse éolienne littorale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène dans l'Oulja atlantique marocaine. *Quaternaire*, 1991, 2 (3), pp.164-175. <10.3406/quate.1991.1965>. <hal-03544080>

HAL Id: hal-03544080

<https://hal.science/hal-03544080v1>

Submitted on 26 Jan 2022

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.



HAL Authorization

Morphogenèse éolienne littorale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène dans l'Oulja atlantique marocaine

André Weisrock, Michel Fontugne

Citer ce document / Cite this document :

Weisrock André, Fontugne Michel. Morphogenèse éolienne littorale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène dans l'Oulja atlantique marocaine. In: Quaternaire, vol. 2, n°3-4, 1991. pp. 164-175;

doi : <https://doi.org/10.3406/quate.1991.1965>

https://www.persee.fr/doc/quate_1142-2904_1991_num_2_3_1965

Fichier pdf généré le 19/04/2018

Abstract

The coastal dunes systems undergo morphological changes according to coastline fluctuations and shifts in dominant wind direction; the distance from the ocean induces a shifting of the system and variations in the granulometry, mineral composition and morphoscopy of the dune- sands. Based on these properties and on a ^{14}C chronology, the morphostratigraphic study of the «oulja» coast aims at reconstructing the coastal dune complexe genesis, in relation with both sea level fluctuations and, partly, paleoclimatic evolution, from the Ouljian (= Eemian) stage down to the Holocène.

Three dune complexes are identified:

1° An old-Soltanian complex (earlier than 38, 000 y. B.P.) that accounts for the most part the lower complex. In this complex, two dune-systems (the post-ouljian regressive dune system, and the first intra-soltanian transgressive dune system) are separated by the «old pink silts». 2° A middle and upper-Soltanian complex, which lies against the ouljian dead-cliff. It is composed of one main dune system dated 28,000 y. B.P., called «2d great intra-soltanian dune», which marks the beginning of a dry regressive period, before the «new pink silts» deposition. 3° An holocène complex, at the top of the dead cliff, built for the main part after 6,430 + /- 60 y. B.P., and related to the Mellahian transgression.

Résumé

Les systèmes dunaires littoraux subissent des modifications morphologiques en fonction des fluctuations du trait de côte et de la direction du vent dominant; l'éloignement ou la proximité de l'océan entraîne un déplacement du système et des variations de la granulométrie, de la composition minérale et de la morphoscopie des sables dunaires. A partir de ces propriétés et d'une chronologie ^{14}C , l'étude morphostratigraphique du sillon ouljien permet de reconstituer la genèse des complexes dunaires littoraux, en relation avec les fluctuations du niveau océanique d'une part et, dans une certaine mesure, avec l'évolution climatique d'autre part, ceci depuis l'Ouljien (= Eémien), jusqu'à l'Holocène. Trois complexes dunaires sont mis en évidence:

1° un complexe du Soltanien ancien (avant 38 000 ans B.P.) formant l'essentiel du complexe inférieur. Deux systèmes dunaires (système dunaire régressif post-ouljien et premier système dunaire intra-soltanien, transgressif), y sont séparés par les «limons roses anciens». 2° un complexe du Soltanien moyen et supérieur, plaqué contre la falaise morte ouljienne. Il consiste en un système dunaire principal, daté autour de 28 000 ans B.P., «deuxième système dunaire intra-soltanien», marquant le début d'une régression en phase sèche, avant le dépôt des «limons roses récents». 3° un complexe holocène, de haut de falaise, formé pour l'essentiel après 6340 +/- 60 ans B.P. et lié à la transgression mellahienne.

MORPHOGENESE EOLIENNE LITTORALE AU PLEISTOCENE SUPERIEUR ET A L'HOLOCENE DANS L'OULJA ATLANTIQUE MAROCAINE



André WEISROCK* et Michel FONTUGNE**

RESUME

Les systèmes dunaires littoraux subissent des modifications morphologiques en fonction des fluctuations du trait de côte et de la direction du vent dominant; l'éloignement ou la proximité de l'océan entraîne un déplacement du système et des variations de la granulométrie, de la composition minérale et de la morphoscopie des sables dunaires. A partir de ces propriétés et d'une chronologie ^{14}C , l'étude morphostratigraphique du sillon ouljien permet de reconstituer la genèse des complexes dunaires littoraux, en relation avec les fluctuations du niveau océanique d'une part et, dans une certaine mesure, avec l'évolution climatique d'autre part, ceci depuis l'Ouljien (= *Eémien*), jusqu'à l'Holocène.

Trois complexes dunaires sont mis en évidence:

1° un complexe du Soltanien ancien (avant 38 000 ans B.P.) formant l'essentiel du complexe inférieur. Deux systèmes dunaires (système dunaire régressif post-ouljien et premier système dunaire intra-soltanien, transgressif), y sont séparés par les «limons roses anciens».

2° un complexe du Soltanien moyen et supérieur, plaqué contre la falaise morte ouljienne. Il consiste en un système dunaire principal, daté autour de 28 000 ans B.P., «deuxième système dunaire intra-soltanien», marquant le début d'une régression en phase sèche, avant le dépôt des «limons roses récents».

3° un complexe holocène, de haut de falaise, formé pour l'essentiel après 6340 +/- 60 ans B.P. et lié à la transgression mellahienne.

Mots-clés: Dunes littorales, variations du niveau marin, préhistoire, datations ^{14}C , Pléistocène supérieur, Holocène, oulja, Maroc.

ABSTRACT

UPPER PLEISTOCENE AND HOLOCENE COASTAL DUNE MORPHOGENESIS IN THE ATLANTIC MOROCCAN «OULJA».

The coastal dunes systems undergo morphological changes according to coastline fluctuations and shifts in dominant wind direction; the distance from the ocean induces a shifting of the system and variations in the granulometry, mineral composition and morphoscopy of the dune-sands. Based on these properties and on a ^{14}C chronology, the morphostratigraphic study of the «oulja» coast aims at reconstructing the coastal dune complex genesis, in relation with both sea level fluctuations and, partly, paleoclimatic evolution, from the Ouljien (= *Eemian*) stage down to the Holocene.

Three dune complexes are identified:

1° An old-Soltanian complex (earlier than 38,000 y. B.P.) that accounts for the most part the lower complex. In this complex, two dune-systems (the post-oulijian regressive dune system, and the first intra-soltanian transgressive dune system) are separated by the «old pink silts».

2° A middle and upper-Soltanian complex, which lies against the ouljian dead-cliff. It is composed of one main dune system dated 28,000 y. B.P., called «2d great intra-soltanian dune», which marks the beginning of a dry regressive period, before the «new pink silts» deposition.

3° An holocene complex, at the top of the dead cliff, built for the main part after 6,430 +/- 60 y. B.P., and related to the Mellahian transgression.

Key-words: Coastal dunes, sea level fluctuations, Prehistory, ^{14}C dates, Upper Pleistocene, Holocene, oulja, Morocco.

* Laboratoire de Géographie physique, Université de Nancy II, B.P. 33-97, 54015 NANCY.

** Laboratoire mixte CEA-CNRS, Centre des faibles radioactivités, B.P. 1, 91190 GIF-SUR-YVETTE.

I - LE SYSTEME MORPHOGENIQUE DE L'OUJJA

I.1 - DESCRIPTION

L'oulja, ou sillon ouljien de la côte atlantique marocaine, peut être définie comme une gouttière parallèle au trait de côte, dont elle est séparée par un cordon dunaire, alors que vers l'intérieur, elle se trouve limitée par une falaise morte plus ou moins élevée.

Ce dispositif général a servi de terme éponyme à M. Gigout (1949), pour désigner l'avant-dernier haut niveau océanique, principal responsable de cette morphologie côtière: au pied de la falaise morte façonnée par ce haut stationnement marin «ouljien», équivalent local de l'Eémien, l'«oulja» correspond à la portion interne de la surface d'abrasion marine contemporaine, dont la partie visible est réduite puisque le niveau marin actuel a presque retrouvé la même situation que le niveau ouljien. La morphologie présente de l'oulja n'est plus de ce fait uniquement d'origine marine, puisque cette portion de plate-forme a été largement découverte lors de la régression et envahie par des systèmes dunaires successifs. Entre Sidi Mohamed Zafar et la Zaouia Sidi Radi, à la borne kilométrique 121 de la route côtière El Jadida - Safi, trois complexes dunaires majeurs peuvent être distingués (fig. 1 et 2):

1° Un complexe littoral (= *complexe inférieur*) d'une vingtaine de mètres d'épaisseur, formant le bourrelet

externe de l'oulja, aujourd'hui en partie grésifié et taillé en falaises vives à sa base (*séries (z) à (z3)*).

2° Un complexe de dunes plaquées contre la falaise morte (= *complexe moyen*), d'épaisseur variable selon les secteurs et où le sable peut être mélangé à des apports colluviaux issus de la falaise (*séries (MZ1) à (MZ5)*).

3° Un complexe dunaire sommital, situé au-delà de la falaise morte (= *complexe supérieur*). Ce dernier ensemble comporte principalement un soubassement de très grandes dunes parallèles de direction N 40, grésifiées et encroûtées, qui constituent le «Sahel», appartenant à la formation dite «moghrebienne» (G. Choubert et R. Ambroggi, 1953); au-dessus, mais seulement en certains endroits, des sables plus meubles surmontent les précédents: ces dunes récentes, orientées N 10, aujourd'hui intensivement exploitées, sont les seules étudiées ici (*séries (5B) à (5E)*).

Chaque complexe observable est le résultat d'accumulations dues à l'existence de systèmes dunaires successifs. Ces systèmes sont représentés dans les coupes par des séries, formées elles-mêmes de séquences élémentaires le plus souvent tronquées (E.D. Mc Kee, 1966; W.L. Stokes, 1968). En première approximation, on n'a retenu dans ce qui suit qu'un seul échantillon - choisi de la manière la plus représentative possible - dans chaque série.

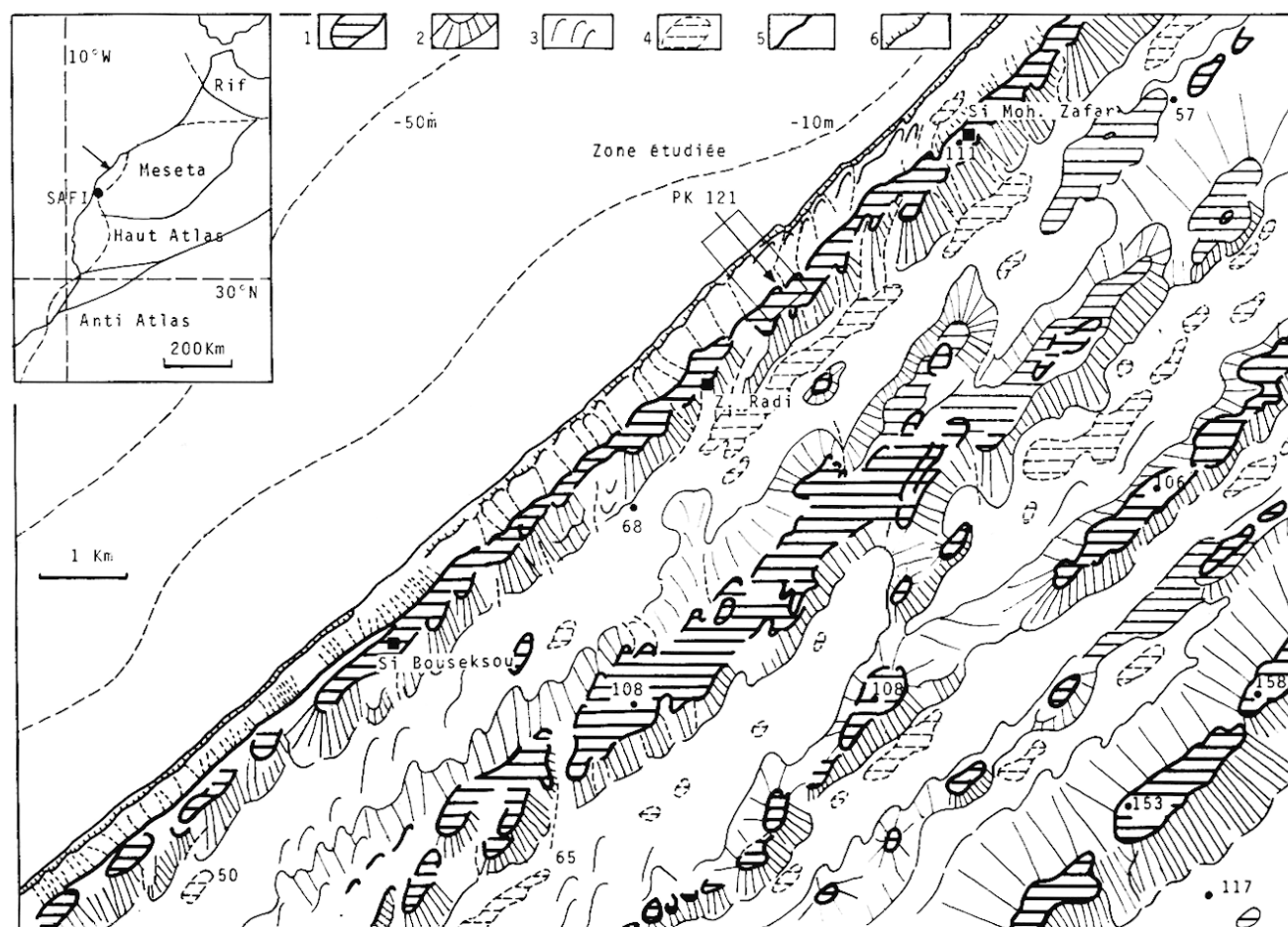


Fig. 1: Carte morphologique du littoral atlantique au sud de Oualidia. 1: dunes moghrébiennes. 2: versants des dunes moghrébiennes. 3: autres dunes d'âge inconnu. 4: dolines interdunaires. 5: sommet de la falaise morte ouljienne. 6: falaise de haute-mer.

Fig. 1: Morphological map of the Atlantic coast, south of Oualidia. 1: Moghrebien dunes. 2: Moghrebien dunes slopes. 3: other dunes of unknown age. 4: interdune dolines. 5: top of the ouljien dead-cliff. 6: high-sea cliff.

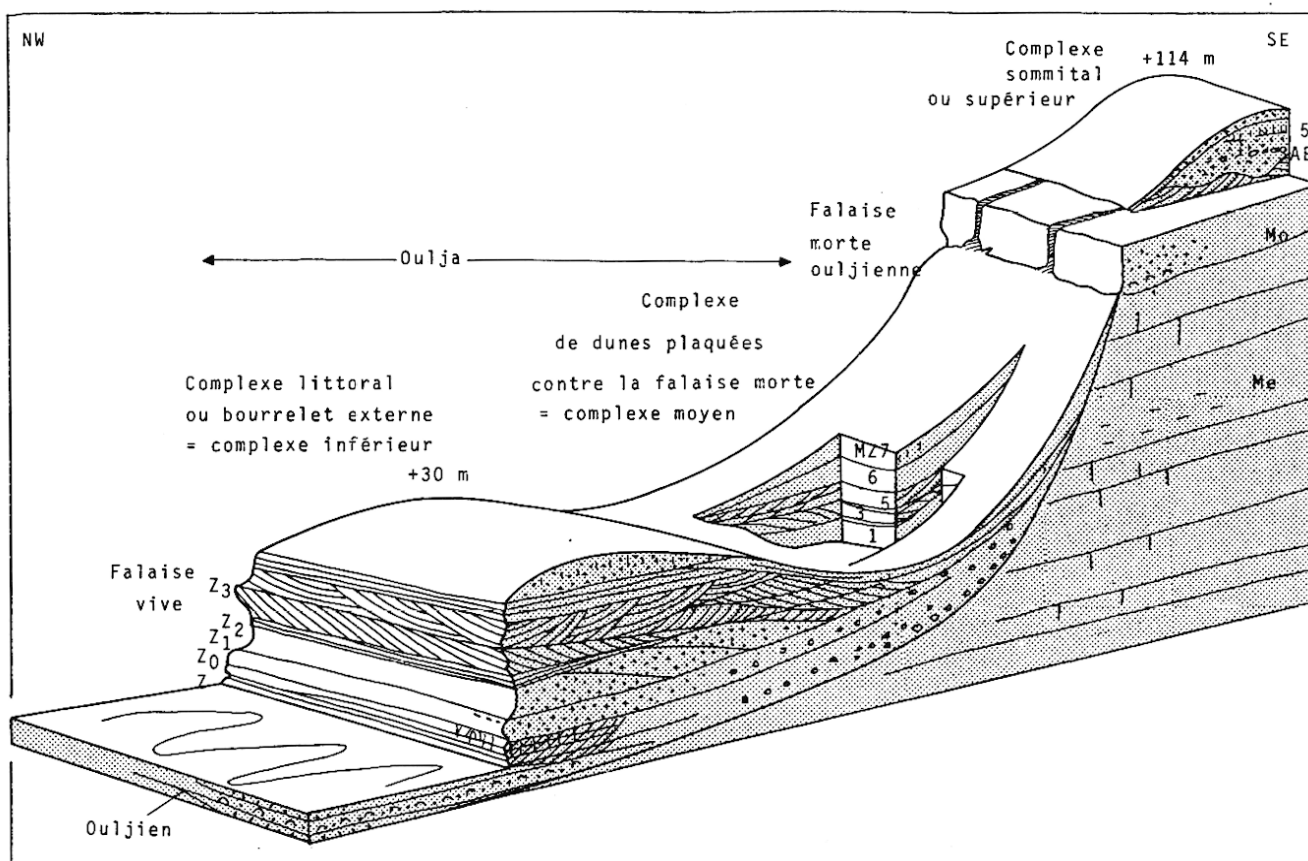


Fig. 2: Bloc-diagramme de l'Oulja. Me: Mésozoïque. Mo: Moghrébien.

Fig. 2: Block-diagram of the oulja. Me: Mesozoic. Mo: Moghrebian.

1.2- LA DYNAMIQUE DU SYSTEME EOLIEN DE L'OULJA

a) Dynamique actuelle et dynamique passée

Les dunes vives naturelles ne se forment aujourd'hui que le long du trait de côte et dans l'oulja, car les sables sont bloqués par la falaise morte. Les amas vifs du sommet de la falaise morte sont dus à des remaniements provoqués par l'ouverture de nombreuses carrières. Le matériel vif actuel est donc issu des plages (*elles-mêmes nourries de la destruction des dunes grésifiées taillées parfois en falaises vives*), et des dunes exploitées. Les caractéristiques de ce sable vif ne traduisent donc pas les effets d'une dynamique actuelle peu apte à alimenter les systèmes de front de falaise et du Sahel. Ceux-ci ont donc été alimentés lors de périodes mieux pourvues en matériel, lorsqu'une partie plus ou moins vaste de la plate-forme d'abrasion était découverte: l'isobathe de -50 m se trouve à une distance moyenne de 4 km du rivage actuel.

La mobilisation du matériel n'a pu toutefois se faire sur cette distance que sous des conditions de sécheresse relative empêchant un trop grand développement de la végétation. L'essentiel des complexes visibles serait donc à rapporter à des phases régressives sèches.

Depuis le retrait de l'océan ouljien, les conditions morphodynamiques de mise en place des accumulations ont peu varié, puisque l'obstacle majeur de la falaise morte était acquis: l'agent du dépôt ne peut être ici qu'un vent dominant de secteur nord ou ouest, ce qui est confirmé par la nature majoritairement biodétritique des éolianites. Ce qui a varié, en revanche, est la distance

entre l'obstacle et le trait de côte.

b) Rôle de la distance au rivage

Des systèmes vifs étendus capables de franchir la falaise morte existent aujourd'hui au sud des embouchures des grands oueds exoréiques, Oum-er-R'bia, Tensift, Ksob, Souss et Massa (A. Weisrock, 1980 et 1982; G. Coudé-Gaussen *et al.*, 1982; A. Chahboun et A. Weisrock, 1987; A. Chahboun, 1988; M. Barrada, 1989). Dans ces systèmes, bien alimentés à la fois par les apports des oueds et par l'océan, l'évolution du matériel est rapide, de la plage vers l'intérieur. Sur une distance de 8 km, cette évolution montre:

- une décroissance de la médiane granulométrique, de 230 à 150 microns, ou de 200 à 110 ou 100 microns.
- une chute du pourcentage de CaCO_3 , de 60 % à 0 et une augmentation corrélative du pourcentage des grains de quartz.
- pour ces grains de quartz, une baisse du pourcentage des émoussés-luisants (*façonnement fluvial et marin*) de 60 % à 0 et une augmentation corrélative des ronds-mats (*façonnement éolien*), de 0 à 45 %.

Ces transformations affectent un matériel originel surtout biodétritique, caractère renforcé dans le cas traité ici, très éloigné des grands oueds. On pourra donc considérer que ces transformations sont l'indice d'un cheminement éolien de longueur grossièrement proportionnelle au degré de décroissance granulométrique et d'enrichissement en quartz et en ronds-mats. On a donc ainsi un moyen d'évaluation de la distance approximative du trait de côte par rapport au dépôt, les caractéristiques du matériau de départ (*ici des sables marins*

qui n'ont guère varié au cours du Pléistocène supérieur étant connues.

c) Rôle de la force et de la direction du vent dominant

Les accumulations actuelles sont réduites également, parce que le vent dominant (*alizé de NNE*) est presque parallèle à la côte. Dans le cas des séquences dunaires pléistocènes et holocènes, lorsque les stratifications internes sont visibles ((Z3), (MZ5), (5C)), les directions de vents dominants correspondantes sont de secteur nord; les constructions s'établissent obliquement par rapport à l'orientation du littoral et de la falaise morte. La phase la plus active d'activité dunaire (Z3) - (MZ5) paraît donc liée à une recrudescence des vents de secteur nord, c'est-à-dire à un renforcement de l'anticyclone subtropical au large du Maroc et à la prise en charge du matériel sur un estran découvert, en période sèche. Pourtant, ces dunes n'ont pas franchi la falaise morte. Elles ne le font nettement que lorsque le trait de côte s'est rapproché (5C), lors de la remontée post-glaciaire.

d) Les indices de nuances climatiques

L'éolisation renforcée par la sécheresse imprime au matériel sableux un relèvement de la médiane accompagné d'un meilleur tri, des figures de stratification internes bien marquées, des grains propres, une proportion de quartz ronds-mats élevée et enfin des litages isolés de coquilles d'*Helix*, traduisant des thanatocaenoses brutales suivies d'accumulations dans les lettres. Inversement, une augmentation de l'humidité se traduit par des apports colluviés, parfois grossiers, mais surtout fins. Il y a augmentation des pourcentages de limons et argiles, véhiculés par ruissellement et peut-être aussi par des vents d'est continentaux, comme aux îles Canaries, où ils sont porteurs de poussières sahariennes (P. Rognon *et al.*, 1989). Les stratifications internes disparaissent, les *Helix* se répartissent dans la masse, la coloration jaune se rubéfie légèrement. Ces modifications syn-sédimentaires peuvent être distinguées de remobilisations, des carbonates surtout, intervenant après le dépôt, et qui entraînent la grésification et/ou la formation de croûtes, dans l'un ou l'autre type de matériel.

II - LES DUNES DU COMPLEXE LITTORAL (COMPLEXE INFÉRIEUR)

II.1 - C'EST UN EMPILEMENT DE 5 SÉRIES PRINCIPALES (fig. 2 et 3):

a) Un soubassement (Z) de sables grésifiés jaune-clair, à stratification entrecroisée, actuellement façonné en platier et lapiés littoraux.

Ces sables sont grossiers (*médiane 340 microns*), mais presque dépourvus de limons et argiles. A leur partie supérieure, ils sont traversés par des encroûtements racinaires enchevêtrés, indices d'une emprise végétale développée à partir de la série immédiatement supérieure (Z0).

b) Une deuxième série (Z0) nettement individualisée par sa couleur brun-rouge clair, formée de sables moyens (*médiane 240 microns*) mal triés, avec une forte proportion de limons et argiles (25 %). Ces sables limono-argileux, décarbonatés, contiennent des ossements de Bovidés et Equidés.

c) Une troisième série (Z1) plus épaisse (4 à 5 m), de sables grossiers (*médiane 340 microns*) légèrement brunifiés mais à grains propres, sans stratifications nettes.

d) La quatrième série (Z3) débute par un lit très continu d'*Helix* déposés en thanatocaenose sur un plancher discordant (Z2). Ces *Helix* ont un âge apparent supérieur ou égal à 38000 ans B.P. (GIF 7853). On a ensuite sur 4 m d'épaisseur, un bel empilement de séquences à stratifications entrecroisées, formées de sables fins (*médiane 175 microns*) jaune clair.

e) Le complexe est recouvert en surface par des sables brun-jaune (Z4) et des sables vifs (Z5), supports des cultures.

II.2 - INTERPRÉTATIONS

a) Le soubassement (Z) est en liaison avec la plage ouljienne, invisible dans cette coupe, mais retrouvée en forage à une profondeur de -1 à -4 m dans des sites voisins (A. Weisrock, 1987). Au Maroc atlantique, ce haut niveau oulien est daté entre 95 +/- 5 et 75 +/- 5 ka B.P. (C.E. Stearns et K.L. Thurber, 1965) et, plus précisément, entre 97 +/- 5 et 72 +/- 2 ka B.P. le long de l'Atlas atlantique (C.T. Hoang *et al.*, 1978), d'après les datations Th/U effectuées sur des coquilles marines. La série (Z) correspond à la *dune fini-ouljienne*, nourrie de sables plus grossiers que ceux de la plage actuelle au même endroit, encore très biodétritiques et faiblement éolisés (fig. 4 et 5).

b) Un premier changement important se manifeste en (Z0), non seulement sur le plan granulométrique (*médiane à 240 microns*), mais surtout avec un enrichissement en limons et argiles et une perte en carbonates (*moins de grains biodétritiques et plus de quartz*). Ces quartz sont davantage éolisés, même s'ils ont été ensuite enrobés d'une pellicule calcitique; la proportion d'émoussés-luisants diminue sensiblement. La série (Z0) indique les caractères d'une série régressive, marquée par une nette humidification: rubéfaction du matériel, mise en mouvement des carbonates, développement d'une végétation à dense réseau racinaire, support de Bovidés et Equidés. Ces «*limons roses anciens*» ont déjà été signalés à maintes reprises au Maroc atlantique, par M. Gigout (1967), G. Delibrias *et al.* (1976), sans pouvoir être datés précisément; dans le secteur de Casablanca-Rabat, trois phases principales de sédimentation des «*silts roses anciens*» sont séparées par deux courtes périodes biotiques (J.P. Raynal *et al.*, 1986): la première entre 93 +/- 5 et 86 +/- 7 ka B.P. à la carrière Thomas, et la seconde entre 66,5 +/- 5 et 58,5 +/- 5 ka B.P. à la grotte d'El Harhoura. La première étant encore liée à la transgression ouljienne, il semble plus vraisemblable de relier les silts (Z0) à la seconde période, en toute hypothèse.

c) Avec (Z1), on retrouve des conditions très similaires à celles de (Z), ceci avant 38000 ans B.P., ou vers cette date. Cette série indique une remontée du niveau marin restant toutefois en deçà de la situation actuelle. Il s'agit de la *première remontée marine intra-soltanienne*, distincte de la principale d'entre elles, située vers 28 000 ans (A. Weisrock, 1980).

d) La phase suivante (Z3) voit s'amorcer sans doute une nouvelle régression: la médiane des sables chute de

moitié (175 microns), ce qui pourrait correspondre à un éloignement de 4 à 5 km du littoral, soit un abaissement de l'ordre de 50 m du niveau marin. L'éolisation étant plus marquée aux petites dimensions (fig. 5), les grains restant propres, il est peu probable que la force du vent ait diminué, et on peut penser que cette régression, contrairement à la précédente, s'effectuerait en phase sèche.

II.3 - CONCLUSIONS

a) Géomorphologiques et paléoclimatiques

Le complexe inférieur ou bourrelet externe de l'ouïja s'est essentiellement mis en place sous l'effet d'une dynamique éolienne, durant le Soltanien ancien, c'est-à-dire antérieurement à 38000 ans B.P. pour l'essentiel. Quatre séries sédimentaires majeures s'y empilent, qui correspondent respectivement:

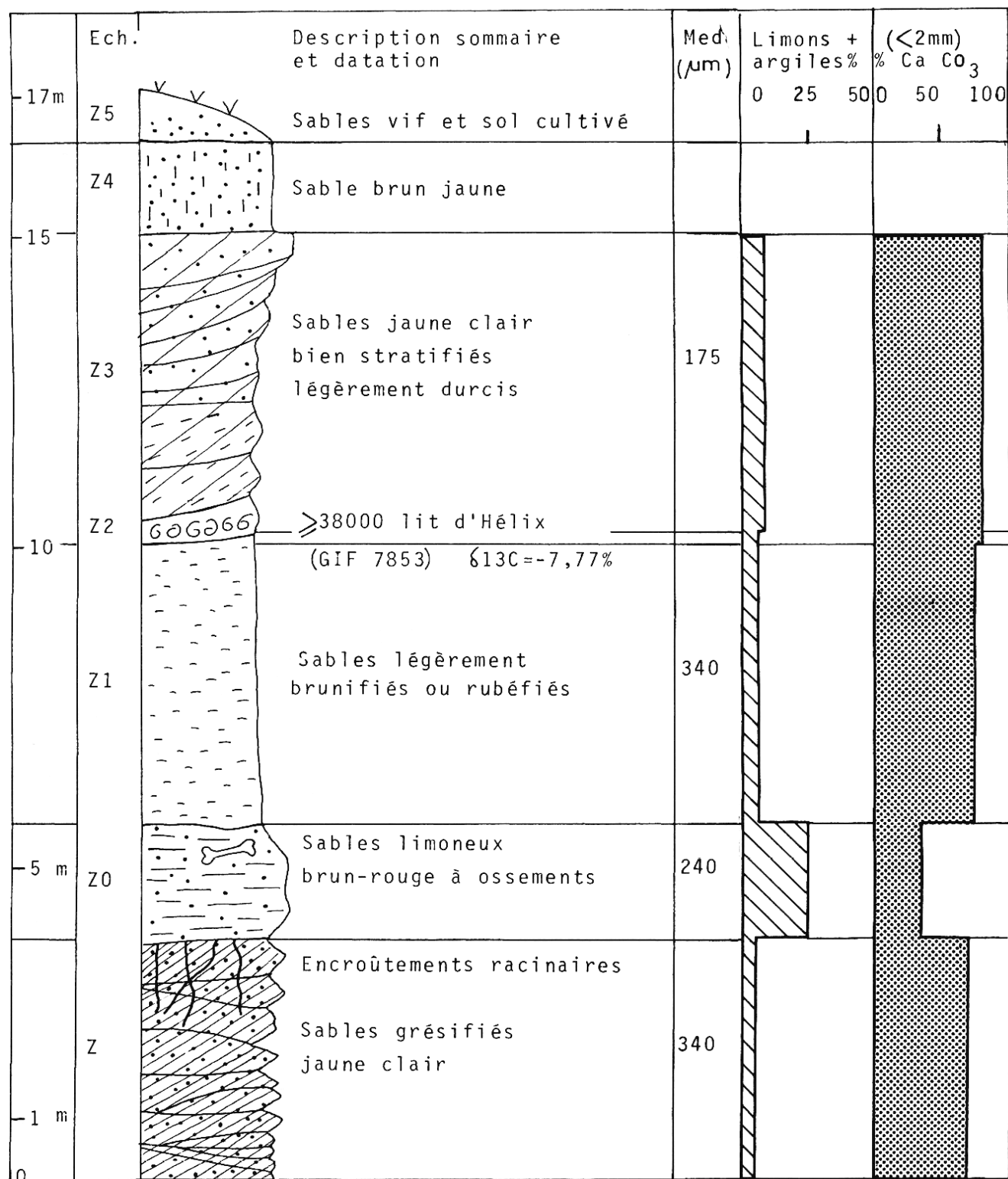


Fig. 3: Le complexe inférieur: coupe et caractéristiques sédimentologiques.

Fig. 3: The lower complex: section and sedimentological features.

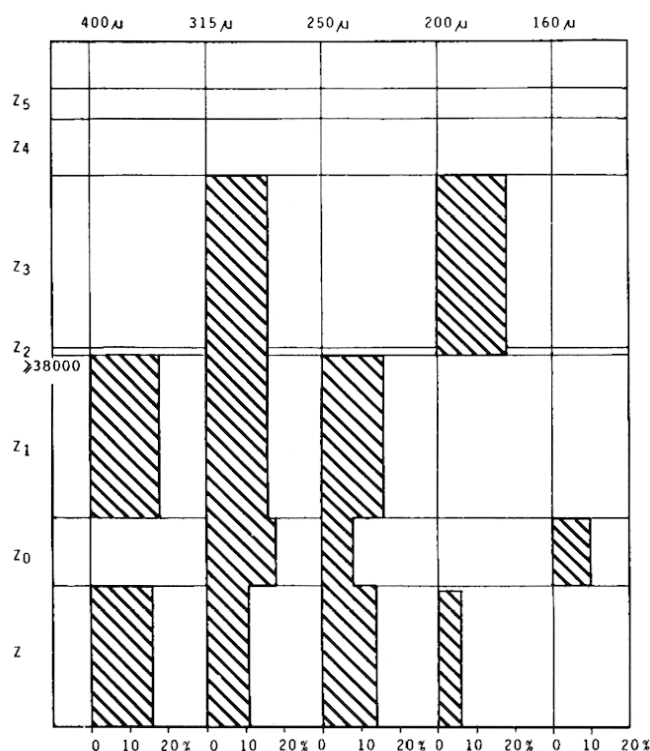


Fig. 4: Le complexe inférieur: variation du pourcentage des grains de quartz.

Fig. 4: The lower complex: amount variation of sand quartz.

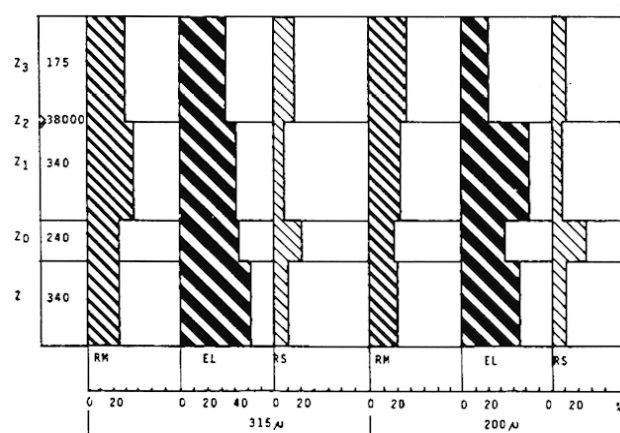


Fig. 5: Le complexe inférieur: morphoscopie des grains de quartz. RM: ronds-mats. EL: émoussés-luisants. RS: «ronds sales».

Fig. 5: The lower complex: sand quartz morphoscopy. RM: rounded frosted grains (aeolian). EL: smooth shining grains. RS: dirty rounded grains.

- à un système dunaire littoral du début de la régression fini-oulienne (Z);

- à un système mixte, dunaire et colluvial, mis en place au cours d'une régression en phase humide, peut-être autour de 60000 ans B.P. (Z0);

- à deux nouveaux systèmes dunaire différents: l'un, antérieur à 38000 ans B.P., est littoral et lié à la première remontée marine intra-soltanienne (Z1). Le second (Z3), plus récent, formé de l'accumulation de petits édifices se tronquant successivement, à matériel fin et éolisé, indique une dynamique active en période régressive sèche, après 38000 ans B.P., sans doute autour de 30000 ans B.P. (*infra*, III.2).

b) Sur les variations du niveau marin.

L'édification du bourrelet externe est en relation avec les variations majeures du niveau marin; les observations précédentes peuvent être corrélées à la courbe générale de variation du niveau marin (N.J. Shackleton, 1987), qui montre l'existence de 4 cycles transgression/régression entre 120 et 20 ka B.P. (fig. 9). La série fini-oulienne (Z) est contemporaine du début de la régression, vers 80 ka B.P.; les positions exactes des systèmes dunaire (Z1) et (Z3) ne peuvent être définies: haut niveau antérieur à 38 ka B.P. pour (Z1), bas niveau probablement postérieur à cette date pour (Z3).

On remarquera que le premier cycle (120 - ka B.P.) n'est pas décelé dans ce complexe. Morphologiquement, il correspond à l'érosion de la falaise morte, lors du maximum transgressif (A. Weisrock, 1980); le cycle suivant se situe déjà en contrebas.

III - LE COMPLEXE DES DUNES PLAQUEES CONTRE LA FALAISE MORTE (= COMPLEXE MOYEN)

III.1 - CARACTERES GENERAUX

Ce complexe n'est pas développé uniformément. Son existence est fonction de facteurs morphodynamiques divers: existence de cols au sein du bourrelet externe, modifications des vents au sol en relation avec l'obstacle (la falaise morte), dont la hauteur et la direction varient localement, existence de ravins issus de la corniche supérieure de la falaise. Les dunes sont conservées sur les interfluvies des ravins actuels encombrés de gros blocs. Les carrières ouvertes dans ces dunes montrent l'épaisseur du complexe (12 m dans le cas étudié), sans tenir compte du soubassement, prolongement du bourrelet côtier interstratifié aux petits cônes de pied de falaise. Ce dispositif entraîne trois conséquences:

- le matériel dunaire est fin, car déposé sous le vent du bourrelet externe déjà constitué, et à l'avant d'un obstacle élevé, où le vent tourbillonne et perd de sa force.
- le matériel est relativement sale, c'est-à-dire chargé en limons et argiles, les grains souvent enrobés d'une pellicule calcitique; ce matériel peut avoir été colluvié; on a récolté les échantillons hors des axes d'écoulement.
- arrivant en bout de course, le sable se dépose à la manière d'un manteau homogène, sans stratification nette, sauf exceptions.

III.2 - LA COUPE OBSERVEE FAIT VOIR 4 SERIES PRINCIPALES (fig. 6):

a) Une série inférieure (MZ1) mal stratifiée, de sables biodétritiques sales légèrement brunifiés et durcis, à *Helix* épars et concrétions calcaires dispersées. Ces caractères altèrent des sables en fait très proches de ceux de la série (Z3): mêmes médianes, mêmes pourcentages de quartz; ils pourraient en constituer le prolongement ou un remaniement un peu plus tardif, daté à 29440 +/- 650 ans B.P. (GIF 7851), sur des charbons de bois issus d'une poche limoneuse, dont le traitement chimique n'a laissé que peu de matériel, rendant indispensable une datation par spectrométrie de masse par accélérateur (C14 - AMS) (1). Si les concordances morphostratigraphiques et sédimentologiques entre (Z3) et (MZ1) sont bonnes, il faudrait considérer que la date supérieure ou égale à 38000 ans B.P. donnée par le lit d'*Helix* à la base de (Z3) est vieillie, ce qui est souvent le

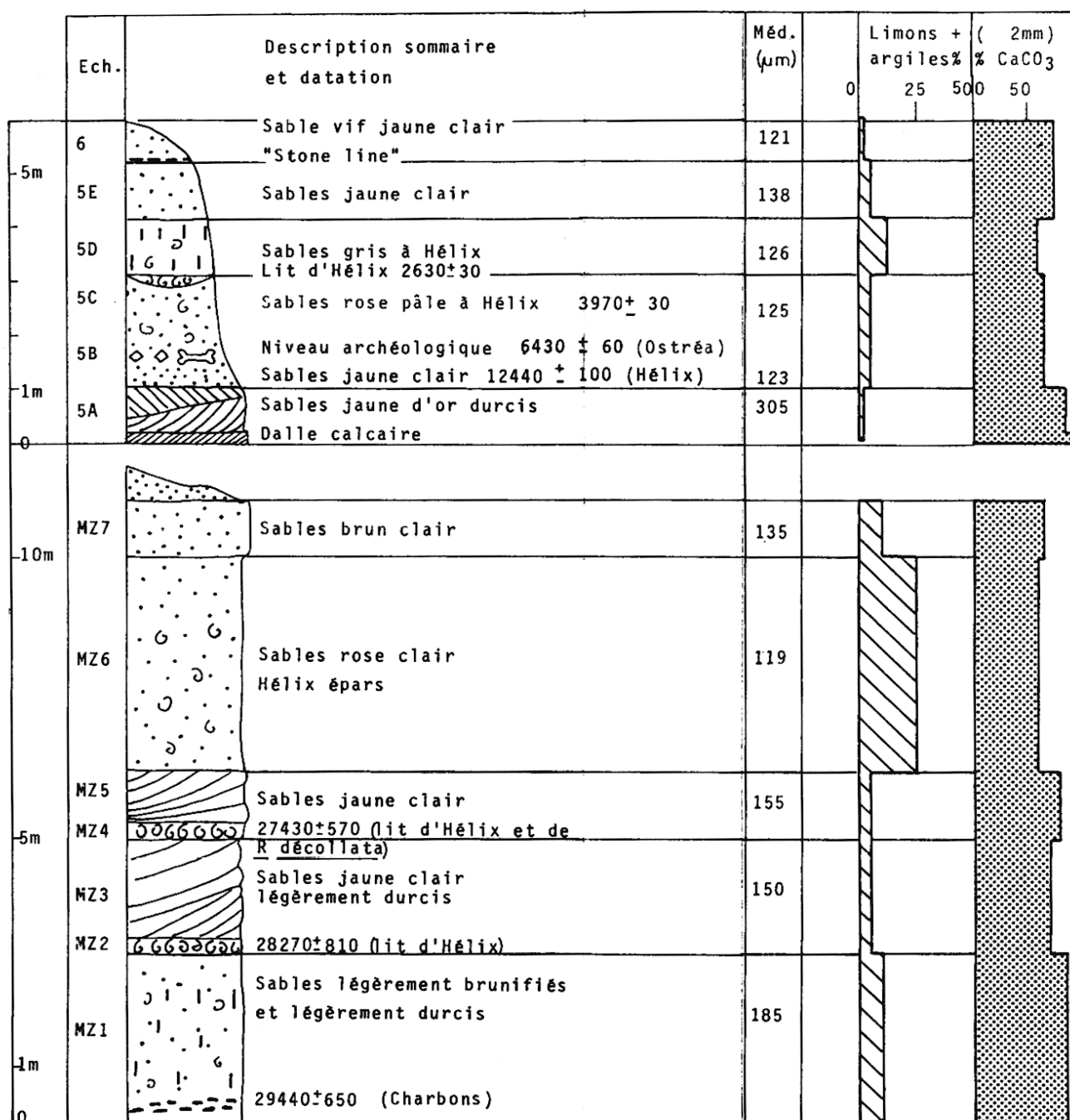


Fig. 6: Les complexes moyen et supérieur: coupes et caractéristiques sédimentologiques.

Fig. 6: The middle and upper complexes: sections and sedimentological features.

cas sur *Helix* (G. Goodfriend, 1983 et 1987; M. Deshaies, 1990).

b) Deux séries de dunes très bien individualisées par une stratification entrecroisée nette et une grande propreté du matériel. Des sables fins (*médianes à 150 microns*), jaune clair, forment deux séries (MZ3 et MZ5) qui débutent chacune par un lit très continu d'*Helix*, le premier daté à 28270 ± 810 ans B.P. (GIF 7915), le second à 27430 ± 570 ans B.P. (GIF 7850). S'agissant toujours d'*Helix*, il convient de prendre les mêmes précautions dans l'interprétation de ces dates, en dépit de leur cohérence.

c) Une épaisse série de sables rose clair, sans stratification nette, à *Helix* épars (MZ6), dont la médiane est faible (119 microns), par suite de l'abondance des li-

mons et argiles.

d) Une série récente de sables brun-clair (MZ7) faiblement pédogénisés, puis de sables vifs.

III.3 - INTERPRETATIONS (fig. 7 et 8)

a) La partie inférieure du complexe plaqué contre la falaise morte montre des sables fins (MZ1) qui se seraient déposés vers la même date, ou peu après la série (Z3) du complexe inférieur, en phase de régression sèche.

b) La régression se poursuit nettement ensuite. Des dunes de sables fins (*médianes à 150 microns*) se forment à une distance de l'ordre de 5 km au moins du trait de côte. L'éolisation marquée des quartz indique un

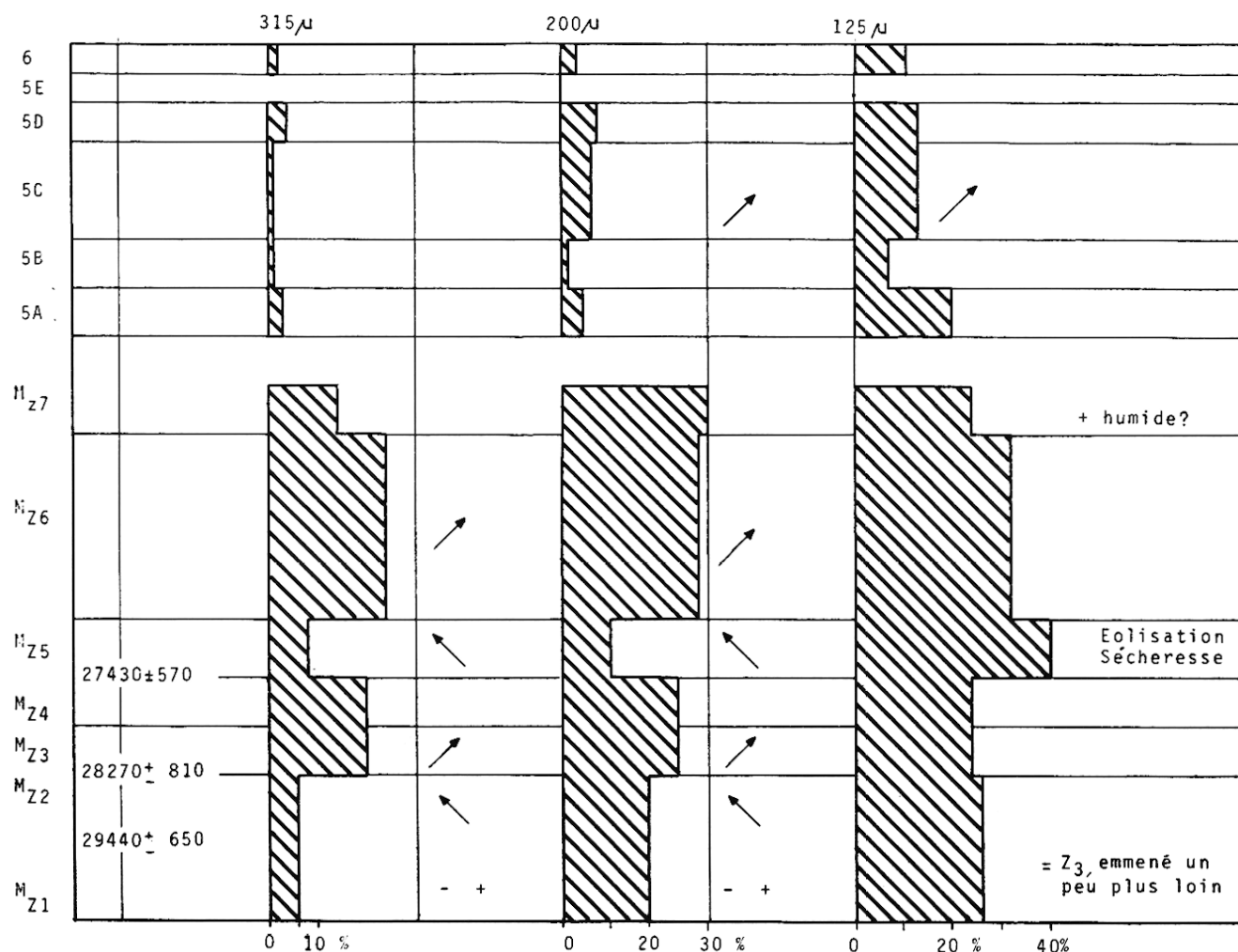


Fig. 7: Les complexes moyen et supérieur: variation du pourcentage des grains de quartz. (-+): variation du niveau marin).

Fig. 7: The middle and upper complexes: amount variation of sand quartz. (-+): sea level variation.

sécheresse toujours forte. Deux datations sur *Helix* situent cette période entre 28270 et 27430 ans B.P. Compte tenu des réserves émises plus haut, elle pourrait être plus récente.

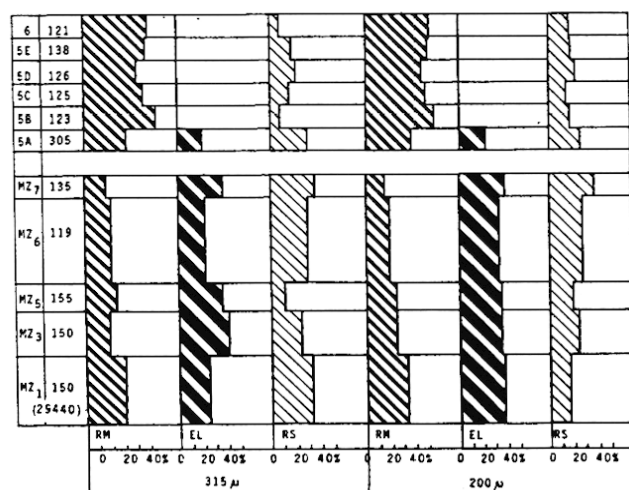


Fig. 8: Les complexes moyen et supérieur: morphoscopie des grains de quartz. RM: ronds-mats. EL: émoussés-luisants. RS: «ronds sales».

Fig. 8: The middle and upper complexes: sand quartz morphoscopy. RM: rounded frosted (aeolian). EL: smooth shining. RS: dirty rounded.

c) Postérieurement à 27430, mais à une date non précisée (les coquilles de (MZ6) n'ont pu être utilisées), la médiane chute encore, mais à cause d'une forte augmentation en limons et argiles. Au cours de la régression qui se poursuit, il y a donc un indice de *légère humidification*. Cette seconde génération de silts roses du Soltanien supérieur ne peut donc pour l'instant que donner lieu à deux hypothèses interprétatives:

1° Ces «*silts roses supérieurs*» correspondent à la régression maximale en période relativement humide (P. Rognon *et al.*, 1984; A. Weisrock *et al.*, 1985).

2° De même que les grandes séries dunaires (MZ3-MZ5), ces silts roses sont plus tardifs et correspondent à un changement climatique amorcé au cours de la transgression post-glaciaire, ce qui a été observé tant sur le piémont du Haut Atlas: creusement des oueds avant 13000 ans B.P. (A. Weisrock et J.C. Miskovsky, 1988) qu'à Fuerteventura (apports de poussières sahariennes indiquant un changement du régime des vents vers 13000 ans B.P. (P. Rognon et G. Coudé-Gaussen, 1987; P. Rognon *et al.*, 1989).

Dans la première hypothèse, les datations C14 sur *Helix* seraient acceptables; dans la seconde, elles seraient évidemment vieillies.

d) Le problème du vieillissement des âges C14 de coquilles d'*Helix*

Les âges obtenus à partir des coquilles d'escargots terrestres sont systématiquement vieillies car l'escargot

ingère, pour constituer sa coquille, des micro-particules de carbonate fossile qui ne présentent généralement pas d'activité C14. Le vieillissement, qui dépend de l'espèce considérée et de la nature du substrat sur lequel vit l'animal, varie entre 300 et 5000 ans (G. Goodfriend, 1983 et 1987). Ainsi, les dates obtenues doivent-elles être considérées comme des âges maxima.

Toutefois, les récents développements en spectrométrie de masse U/Th ont montré que les âges C14 entre 20000 et 30000 ans étaient plus jeunes (*de 2 à 3000 ans*), comparés à ceux obtenus par cette méthode (E. Bard *et al.*, 1990/a et 1990/b). Bien que les deux causes d'erreur sur l'âge C14 ne puissent être encore estimées exactement pour cette époque, elles sont pratiquement du même ordre et ainsi, dans une certaine mesure, se compensent-elles, permettant de considérer les résultats comme relativement fiables et parfaitement utilisables dans le contexte évoqué. C'est pourquoi la datation des «sils roses supérieurs» revêt une grande importance.

III.4 - CONCLUSIONS

Les séries sableuses plaquées contre la falaise morte sont surtout abondantes et franchement éoliennes lors de la grande régression en phase sèche qui débute autour de 28000 ans B.P. et se poursuit ensuite. Ces preuves d'une régression marquée sont en bon accord avec la courbe de N.J. Shackleton (1987), bien qu'on ne puisse exclure un certain vieillissement des dates obtenues.

On enregistre ensuite une modification du système morphogénique et des indices d'humidification, sans pouvoir déterminer si ces changements sont contemporains du maximum régressif de 18000 ans B.P. ou du début de la remontée marine holocène.

IV - LE COMPLEXE SUPERIEUR: LES DUNES DU SOMMET DE LA FALAISE MORTE (fig. 2 et 6)

IV.1 - CARACTERES GENERAUX

Les systèmes dunaires holocènes et actuels forment des collines discontinues recouvrant partiellement les dunes moghrébiennes du Sahel. Les sables y présentent toujours les mêmes caractères, dus à l'obstacle de la falaise: médianes de petite dimension (*entre 121 et 138 microns*), bonnes teneurs en quartz, mais seulement aux petites dimensions, forte éolisation. Ces sables se sont déposés le plus souvent sans nette stratification interne, à la manière d'un manteau éolien assez homogène qui arrive toujours en bout de course à peu près aux mêmes endroits. La fréquentation de ces systèmes par l'homme fait que l'on peut y distinguer des sols permettant d'établir une stratigraphie.

VI.2 - LES DIFFERENTES GENERATIONS DE DUNES RECENTES

Au-dessus du substratum encroûté, on distingue (fig. 6, 7 et 8):

a) Une dune inférieure (5B), d'environ un mètre de puissance, de sables jaune-clair fins (médiane 123 microns).

b) Sur cette première accumulation, un niveau ar-

chéologique majeur à débris de foyers, très nombreux ossements de grands Bovidés et Equidés et atelier de taille. La première étude de l'outillage lithique par A. Ouammou (à paraître) montre que ce matériel, recouvert d'une croûte sableuse, pourrait être assimilé au pré-Néolithique ou au Néolithique ancien (J.P. Daugas *et al.*, 1989) déjà connu à proximité (A. Berthélémy et R. Accart, 1987). Des coquilles d'*Ostrea* prélevées dans ce niveau (5B) ont fourni un âge de 6430 +/- 60 ans B.P. (GIF 8347). En revanche, des coquilles d'*Helix*, associées à ce niveau et au suivant (5B - C) ont donné un âge de 12440 +/- 100 ans B.P. (GIF 8348), date peut-être encore vieillie. Des incertitudes demeurant donc à la fois sur la définition de l'outillage préhistorique et sur la datation du niveau (5B - C), on ne peut exclure ici l'hypothèse de l'existence d'une génération de dunes du Tardiglaciaire.

c) Une deuxième dune holocène (5C) de 2 m de puissance, formée de sables rose pâle, à *Helix* épars, et dont la médiane est très constante (125 microns), recouvre cet ensemble. La recrudescence de l'activité éolienne a recouvert le site, qui a toutefois continué d'être fréquenté. On trouve dans ces sables une abondante industrie lithique qui diffère de la précédente par son matériel (*silex ici nettement éolisés*) et par sa facture qui pourrait s'apparenter à celle d'un Néolithique de tradition méditerranéenne (G. Camps, 1974). Une coquille de *Thais haemastoma* (L.) associée a fourni un âge de 3970 +/- 30 ans B.P., date toutefois sujette à caution, en raison d'un C13 peu conforme aux valeurs marines (GIF 7852).

d) Cette deuxième dune est coiffée par des sables gris à *Helix* d'un mètre d'épaisseur. A la base de cette couche (5D), une poche d'*Helix* a fourni un âge de 2630 +/- 70 ans B.P. (GIF 6792), le matériel de départ étant identique (médiane 126 microns).

e) Une troisième dune (5E), de sables jaune-clair, un peu plus grossiers (médiane 138 microns) indique un nouveau regain de l'activité éolienne. Elle est séparée de la dune actuelle (médiane 121 microns) par un mince sol brun comportant des débris de croûte calcaire, ce qui indique une esquisse d'organisation du ruissellement vers les lettes interdunaires majeures du complexe moghrébien sous-jacent.

IV.3 - INTERPRETATIONS

L'épaisseur des dunes holocènes en certains points du sommet de la falaise morte montre bien leur lien avec la remontée rapide du niveau marin, qui a façonné une falaise vive dans le bourrelet littoral et remobilisé les sables. L'accumulation majeure qui en résulte se place entre 6500 et 4000 ans B.P., qui est l'époque du plus haut niveau «mellahien» (A. Ballouche, 1986).

Le stock sableux n'est ensuite guère renouvelé, sauf vers 2600 ans B.P., lors d'une petite fluctuation positive du niveau marin, repérée déjà à l'île de Mogador, où un mètre de sables dunaires recouvre le premier établissement punique entre 2650 et 2100 ans B.P. (J. Desjacques et P. Koeberlé, 1955; A. Jodin, 1957) et à l'embouchure de l'Oum Laïoun, où le cordon littoral le plus interne se met en place à 2770 +/- 100 ans B.P. (A. Weisrock, 1980). En revanche, il ne fait aucun doute que les dunes historiques (5E) et actuelles soient le résultat de l'action anthropique.

V - CONCLUSIONS

V.1 - CONCLUSIONS MORPHOSTRATIGRAPHIQUES (Tab. 1)

La succession des séries sédimentaires dunaires de la Zaouia Radi présente des analogies très grandes avec la stratigraphie des formations littorales du Cap Rhir, relevée par U. Sabelberg (1978), pour l'ensemble Soltanien-Rharbien.

Aux Canaries, les observations ne portent que sur les dépôts postérieurs à 32000 ans B.P., mais on retrouve également la même succession: accumulation dunaire principale, limons supérieurs, nouvelles dunes. Les différences portent sur les limites précises de ces diverses séries, et essentiellement sur la date du début du dépôt des «limons supérieurs», qui marque un changement climatique majeur, d'humidification après une sécheresse sévère: entre 23000 et 15000 ans B.P. pour N. Petit-Maire *et al.* (1986); vers 13850 B.P. pour P. Rognon *et al.* (1989); probablement avant 11300 ans B.P. dans le Sud-ouest du Maroc (A. Weisrock et J.C. Miskovsky, 1988).

V.2 - CONCLUSIONS MORPHODYNAMIQUES

Les fluctuations du trait de côte provoquent d'importantes modifications des systèmes dunaires littoraux, sans entraîner leur disparition. Il est donc clair qu'il existe des systèmes en phase régressive (*base du bourrelet côtier de l'oulja, dunes principales plaquées contre la falaise morte*), comme en phase transgressive (*corps du bourrelet externe, ensemble des dunes holocènes et postérieures*). Les dunes littorales ont subsisté sur cette côte atlantique depuis l'Ouljien, mais leurs formes et la nature de leur matériel ont sensiblement varié. Le maximum de complexité du système et son plus fort

développement se sont produits lors des régressions en phase sèche (dunes majeures, vers 28000 et sans doute 18000 ans B.P.).

V.3 - VARIATIONS DU NIVEAU MARIN

La courbe de ces variations qui peut être déduite de nos observations (fig. 9) présente un bon accord avec celles de A.L. Bloom *et al.* (1974) et de N.J. Shackleton (1987), mais avec des approximations qui tiennent à l'absence de datations antérieures à 38000 ans B.P. Le dispositif morphologique de l'oulja ne permet pas d'autre part de remonter au-delà de 80000 ans B.P. Pour la période 80000 - 38000, des progrès ne pourraient être réalisés qu'avec une étude plus minutieuse du complexe inférieur et l'emploi de nouvelles méthodes de datation. Concernant enfin la régression majeure de 18000 ans, elle se trouve en quelque sorte mise en évidence par défaut: les vestiges de cette période sont recouverts ou détruits par la transgression récente.

V.4 - CONCLUSIONS PALEOCLIMATIQUES

Les nuances du climat évoquées dans cette note ne peuvent constituer qu'un canevas grossier de la question, en l'absence d'analyses palynologiques notamment. Le système morphodynamique de l'oulja peut en effet fournir un bon enregistrement des fluctuations globales de l'environnement au Pléistocène supérieur comme il l'a déjà fait pour l'Holocène (A. Ballouche, 1986). Bien que ce type de milieu littoral ventilé renforce le gradient de sécheresse, trois pulsations «humides principales» sont mises en évidence, avant 38000 ans B.P., vers 12440 ans B.P. et avant 3970 ans B.P.

(1) Nous remercions M. Arnold pour cette datation.

MAROC				CANARIES	
Oulja de Zaouia Radi		Cap Rhir (1)	Chronologie générale marocaine	ka	(Fuerteventura)
complexes morphologiques	séries sédim.				(2) (3)
Supérieur ↑ ↓	Dunes actuelles	"Helle feinsédiment serie"	RHARBIE	0	
	Dunes historiques 2630				
	Dunes holocènes 12440			10	"Sables blancs" 9800 ?
	Limons roses supérieurs	"Obere rote serie"			"Dune ocre" 15000 ou 23000 ↑ Limons bruns loessiques 13850
	Dunes de la grande régression	"Haupt Dünen serie"	SOLTANIE	20	
	Dunes de la 2ème remontée intra-soltanienne 29440			30	"Dunes rouges" >30000 ↑
				40	Partie supérieure de l'accumulation dunaire 32180
Moyen = "Dunes majeures"				50	
	Dunes de la 1ère remontée intra-soltanienne			60	
	Limons roses inférieurs	"Untere rote serie"		70	
Inférieur	Dunes fini-ouliennes	"Basaler sand komplex"			
	oulien marin		Ouljien	80	

Tableau 1 : Morphostratigraphie des dunes de l'oulja de Zaouia Radi et comparaison avec les régions voisines. (1) d'après U. Sabelberg, (1978); (2) d'après N. Petit-Maire *et al.*, (1986); (3) d'après P. Rognon *et al.*, (1989); (Datations sur Helix, sauf 29 440, sur charbons).

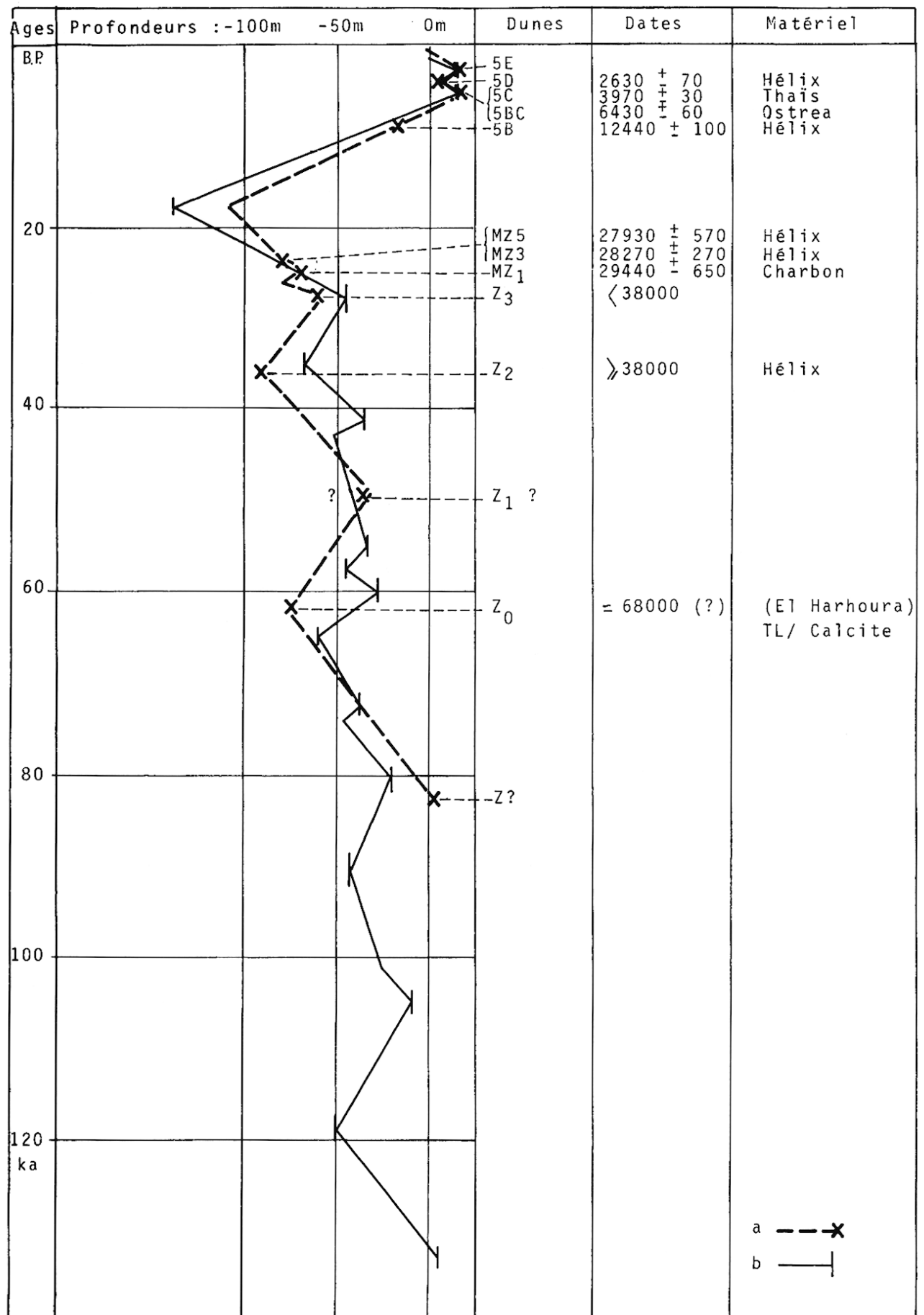


Fig. 9: Courbe du niveau marin estimé, d'après les données de Zaouia Radi (a) et comparaison avec les données de Nouvelle Guinée (b), in N.J. Shackleton, 1987.

Fig. 9: Sea level curve estimated from the Zaouia Radi records (a) and comparison with sea-level estimated from New Guinea data, in N.J. Shackleton, 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- BALLOUCHE, A., 1986 - *Paléoenvironnements de l'homme fossile holocène au Maroc. Apports de la palynologie*. Thèse, géol., Bordeaux I, 134 p.
- BARD, E., HAMELIN, B. et FAIRBANKS, R.G., 1990/a - U/Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: sea level during the past 130,000 years. *Nature*, 346, 456-458.
- BARD, E., HAMELIN, B., FAIRBANKS, R.G. et ZINDLER, A., 1990/b - Calibration of the C14 timescale over the past 30,000 years using mass spectrometry U/Th ages from Barbados corals. *Nature*, 345, 405-410.
- BARRADA, M., 1989 - *Le système dunaire littoral des Chouka de l'Ouest (Maroc)*. Mém. D.E.A. Géomorphologie, Nancy II, 70 p.
- BERTHELEMY, A. et ACCART, R., 1987 - Ma Izza, site néolithique marocain. *Bull. Soc. Préhistorique franç.*, 84/3, 75-82.
- BLOOM, A.L., BROECKER, W.S., CHAPPEL, J.M.A., MATTHEWS, R.K. et MESOLELLA, K.J., 1974 - Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast: new 230 Th/234 U dates from the Huon Peninsula, New Guinea. *Quaternary Research*, 4, 185-205.
- CAMPS, G., 1974 - *Les civilisations préhistoriques de l'Afrique du Nord et du Sahara*. Doin, Paris, 366 p.
- CHAHBOUN, A. et WEISROCK, A., 1987 - Le matériel du système dunaire à l'embouchure de l'oued Souss, Sud d'Agadir. *Dirassat. Agadir*, 1, 59-67.
- CHAHBOUN, A., 1988 - *Les formations sableuses fluviales, littorales et éoliennes aux embouchures des oueds Tensift, Ksob et Souss (Maroc)*. Thèse, Paris VI, 187 p.
- CHUBERT, G. et AMBROGGI, R., 1953 - Note préliminaire sur la présence de deux cycles sédimentaires dans le Pliocène marin au Maroc. *Notes Serv. géol. Maroc*, 7, n° 117, 3-72.
- COUDE-GAUSSSEN, G., ROGNON, P. et WEISROCK, A., 1982 - Evolution du matériel sableux au cours de son déplacement dans un système dunaire. Les barkhanes du Cap Sim, Sud d'Essaouira, Maroc. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, 621-624.
- DAUGAS, J.P., RAYNAL, J.P., BALLOUCHE, A., OCCHIETTI, S., PICHET, P., EVIN, J., TEXIER, J.P. et DEBENATH, A., 1989 - Le Néolithique nord-atlantique du Maroc: premier essai de chronologie par le radiocarbone. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 308, II, 681-687.
- DELIBRIAS, G., ROGNON, P. et WEISROCK, A., 1976 - Datation de plusieurs épisodes à «limons roses» dans le Quaternaire récent de l'Atlas atlantique marocain. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, 593-596.
- DESHAIES, M., 1990 - *Problèmes posés par la datation C14 de coquilles d'Helix, à partir d'exemples pris au Maroc méridional*. Mém. D.E.A., Nancy II, 48 p.
- DESJACQUES, J. et KOEBERLE, P., 1955 - Mogador et les Iles purpures. *Hespéris*, 42, 193-202.
- GIGOUT, M., 1949 - Définition d'un étage oulien. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, 551-552.
- GIGOUT, M., 1967 - Recherches sur le Quaternaire marocain. *Travaux Inst. Sc. Chérif.*, Rabat, 7, 77 p.
- GOODFRIEND, G., 1983 - Limestone and the problem of radiocarbon dating on land snail shell carbonate. *Geology*, 575-577.
- GOODFRIEND, G., 1987 - Radiocarbon ages anomalies in shell carbonate of landsnails from semi-arid areas. *Radiocarbon*, 29, 159-167.
- HOANG, C.T., ORTLIEB, L. et WEISROCK, A., 1978 - Nouvelles datations 230 Th/234 U de terrasses marines «ouliennes» du sud-ouest du Maroc et leurs significations stratigraphique et tectonique. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, 1759-1762.
- JODIN, A., 1957 - Note préliminaire sur l'établissement pré-romain de Mogador. *Bull. Archéo. maroc.*, II, 9-40.
- McKEE, E.D., 1966 - Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and a comparison with structures of dunes from other selected areas). *Sedimentology*, 7, 1-69.
- PEIT-MAIRE, N., DELIBRIAS, G., MECO, J., POMEL, S. et ROSSO, J.C., 1986 - Paléoclimatologie des Canaries orientales (Fuerteventura). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 303, II, n° 13, 1241-1246.
- RAYNAL, J.P., TEXIER, J.P., LEFEVRE, D. et FEDOROFF, N., 1986 - Quaternary paleoenvironments and paleoclimates of Morocco. *Quaternary climate in Western Mediterranean*, Madrid, 503-515.
- ROGNON, P., WEISROCK, A., OLIVE, P., COUDE-GAUSSSEN, G., 1984 - Premières datations d'un paléosol du dernier maximum glaciaire (18 - 20000 ans B.P.) au Maroc. *Méditerranée*, 3, 65-69.
- ROGNON, P. et COUDE-GAUSSSEN, G., 1987 - Reconstitution paléoclimatique à partir de sédiments du Pléistocène supérieur et de l'Holocène du nord de Fuerteventura (Canaries). *Zeitsch. Geomorph.*, 31-1, 1-19.
- ROGNON, P., COUDE-GAUSSSEN, G., LE COUSTUMER, M.N., BALOUET, J.C., OCCHIETTI, S., 1989 - Le massif dunaire de Jandia (Fuerteventura, Canaries): évolution des paléoenvironnements de 20000 B.P. à l'actuel. *Bull. Ass. fr. Et. Quat.*, 1, 31-37.
- SABELBERG, U., 1978 - Jungquartäre Relief- und Bodenentwicklung im Küstenbereich Südwestmarokkos. *Landschaftsogenese und Landschaftsökologie*, Braunschweig, 1, 170 p.
- SCHACKLETON, N.J., 1967 - Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews*, 6, 183-190.
- STEARNS, C.E. et THURBER, D.L., 1965 - 230 Th/234U dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals. *Quaternaria*, VII, 29-41.
- STOKES, W.L., 1968 - Multiple parallel-truncation bedding planes - a feature of wind-deposited sandstone formations. *J. Sediment. Petrol.*, 38, 510-515.
- WEISROCK, A., 1980 - *Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas atlantique, Maroc*. Thèse, Paris 1, 931 p.
- WEISROCK, A., 1982 - Signification paléoclimatique des dunes littorales d'Essaouira-Cap Sim (Maroc). *Rev. géomorph. dyn.*, XXXI, 3, 91-108.
- WEISROCK, A., DELIBRIAS, G., ROGNON, P. et COUDE-GAUSSSEN, G., 1985 - Variations climatiques et morphogénèse au Maroc atlantique (30-33° N) à la limite Pléistocène-Holocène. *Bull. Soc. géol. France*, 8, I, n° 4, 565-569.
- WEISROCK, A., 1987 - Oulja et oulien au Maroc atlantique. *Etudes médit.*, Poitiers, 11, 175-187.
- WEISROCK, A. et MISKOVSKY, J.C., 1988 - Nouvelles précisions sur le stratotype holocène de Makhfame (Haut Atlas occidental, Maroc). *Bull. Ass. franç. Et. Quat.*, 36, 4, 205-214.