



HAL
open science

Formations éoliennes et phases arides quaternaires dans le Bas-Sahara algéro-tunisien

Jean-Louis Ballais

► **To cite this version:**

Jean-Louis Ballais. Formations éoliennes et phases arides quaternaires dans le Bas-Sahara algéro-tunisien. Würzburger Geographische Arbeiten, 1993, Geowissenschaftliche Beiträge zu Forschung, Lehre und Praxis - Festschrift für Horst Hagedorn, 87, pp.107-119. hal-01563718

HAL Id: hal-01563718

<https://amu.hal.science/hal-01563718>

Submitted on 21 Jul 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.

Würzburger Geographische Arbeiten	87	107-119	Würzburg	1993
-----------------------------------	----	---------	----------	------

Formations éoliennes et phases arides quaternaires dans le Bas-Sahara algéro-tunisien

Jean-Louis BALLAIS, Aix-en-Provence

Résumé: Dans le Bas-Sahara, se sont succédés quatre ergs depuis le Pliocène: un erg de la fin du Pliocène, puis deux ergs fossiles à modelé encore bien reconnaissable: l'erg à croûte gypseuse du Pléistocène supérieur et l'erg el Oussif qui date probablement de l'Holocène inférieur, enfin le Grand Erg Oriental actuel. Elaborés par des vents de même sens que les vents efficaces dominants actuels, les ergs fossiles sont les témoins de phases climatiques plus sèches que l'Actuel.

Abstract: In the Lower-Sahara, four sand seas took place since the Pliocene: one during the final Pliocene, two fossil sand seas with well preserved features: the Upper Pleistocene gypcrete sand sea and the el Oussif sand sea (probably dating from the Lower Holocene), then the present-day Great Eastern Erg. They were built up by winds blowing in the same sens as the predominant efficient present-day winds during dryer climatic periods than the actual one.

Dans le Bas-Sahara (Fig.1), les formations à *Cerastoderma* sont connues depuis plus d'un siècle et ont fait l'objet d'une abondante littérature scientifique depuis. Des synthèses ou mises au point successives ont été présentées tout particulièrement par COQUE (1962) puis par LEVY (1987). Par contre, les formations éoliennes ont été beaucoup moins étudiées. Cependant, et en particulier grâce à leurs relations spatiales avec les formations à *Cerastoderma*, elles constituent certainement l'ensemble le plus complet de tout le Sahara septentrional.

En fonction de l'importance des volumes et des formes conservées, on peut ainsi distinguer trois ensembles. Le premier est constitué par les vestiges de la première génération du Grand Erg Oriental. Le second comprend les restes de deux véritables ergs du Pléistocène supérieur et, probablement, de l'Holocène inférieur. Enfin, des dépôts éoliens localisés, d'âge holocène moyen à supérieur, forment le troisième ensemble.

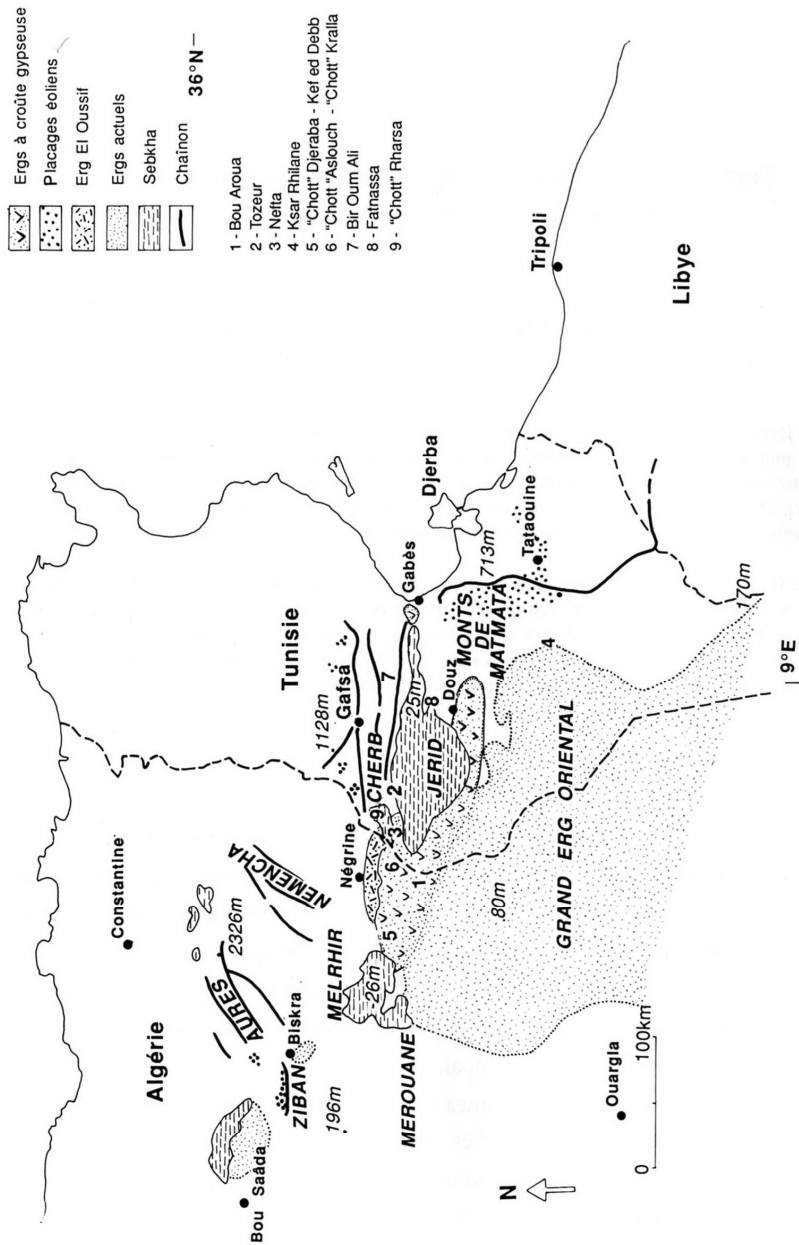


Fig.1: Carte du Bas-Sahara. Location map.

1. Les vestiges de la première génération du Grand Erg Oriental

Ils ont été identifiés par COQUE et GACHELIN (1975) en Algérie, au Sud-Est du "chott" Melrhir (Fig.1). Les sables clairs, gypseux, à stratification entrecroisée, épais de 2 à 3 m, se placent soit à la base (au "chott" Djerabaa), soit dans la partie inférieure (à Kef ed Debb, dans une lanière résiduelle qui sépare les "chotts" es Semhari et Makhzene) de la première génération de dépôts "lagunaires" définie par COQUE (1962) en Tunisie.

L'étude en a été reprise par BALLAIS et al. (1985), confirmant la forte proportion de gypse (plus de 45%). Les sables quartzeux sont moyens ($Q_2 = 173 \mu\text{m}$) et remarquablement triés ($So = 1,13$) (Fig.2). Ces sables sont donc bien les témoins du premier erg connu dans le Bas-Sahara. Leur extension vers l'Est semble très réduite car ils ne sont pas connus en Tunisie. Vers l'Ouest et le Sud-Ouest, nous les avons suivis, de proche en proche, sur une dizaine de kilomètres seulement, après quoi ils semblent disparaître. L'intercalation de sables éoliens à stratification entrecroisée dans les dépôts lacustres argileux et gypseux à Kef ed Debb peut indiquer soit une récurrence aride, soit que le lac a commencé à se remplir d'eau alors que l'erg était toujours fonctionnel, au moins localement. Quoiqu'il en soit, cet erg a été tronqué par les dépôts lacustres et certains de ses sables ont été remaniés dans de petits lits qui accompagnent les *Cerastoderma*. La première génération de l'erg apparaît ainsi comme très peu antérieure à la première phase lacustre, il date donc probablement du Pliocène supérieur (BALLAIS, BENAZZOUZ, 1987), soit le Villafranchien des auteurs (COQUE, 1962).

2. Les ergs du Pléistocène supérieur - Holocène inférieur

Au-dessus des dépôts de la première phase lacustre, un second erg à croûte gypseuse est encore très bien conservé. Vers sa limite septentrionale, il est lui-même recouvert par un erg vêtu.

2.1. L'erg à croûte gypseuse

Il a d'abord été reconnu en Tunisie par COQUE (1962). Il est constitué par des accumulations de sables quartzeux et gypseux, organisés en véritables dunes.

La masse principale joint le "chott" Melrhir, en Algérie, au "chott" Jerid, en Tunisie, qu'elle déborde aussi bien sur la rive méridionale que sur la rive septentrionale. Au Sud, il faut distinguer, à la suite de COQUE (1962), deux types de dunes : des mamelons ovoïdes et de petites loupes hautes de quelques décimètres, au maximum, qui sont des nebkas. A l'Est de Douz, les mamelons, hauts de 2 m, longs de 20 m et larges de 5 à 10 m pourraient être des boucliers barkhaniques organisés en champ de dunes orientées NE-SW. Les sables mobiles actuels sont structurés en nebkas. Les dunes fossiles disparaissent à une quinzaine de kilomètres à l'Ouest de Douz.

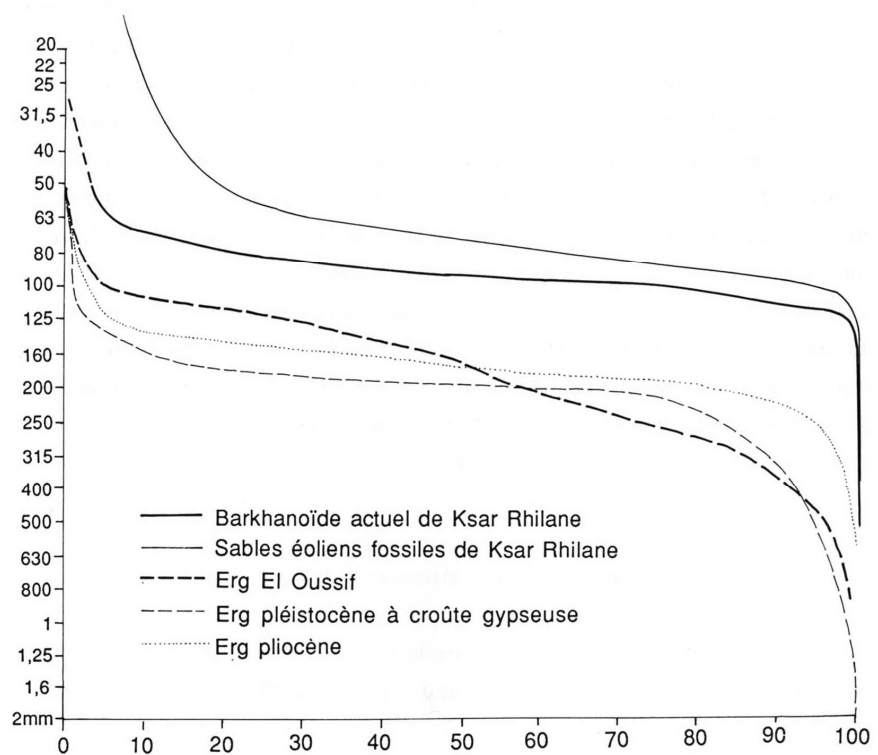


Fig.2: Courbes granulométriques cumulatives des sables des ergs. Grain-size curves of the sand of the sand seas.

Au Nord, entre le chapelet des petites sebkhas algériennes ("chott" Aslouch, "chott" Kralla) et le chott Rharsa, d'une part, et la latitude du poste frontière de Bou Aroua, s'étend un vaste ensemble de grandes dunes parallèles, orientées sensiblement Est-Ouest. Elles apparaissent un peu au Nord-Ouest de Tozeur, puis leur altitude augmente progressivement vers l'Ouest où elle peut dépasser 20 m. Cuirassées par une croûte de gypse, elles sont souvent intactes, mais aussi parfois recreusées par la déflation éolienne. Cependant, il est rare que cette déflation n'ait laissé subsister que les bas de versants ou les creux interdunaires dégagés en inversion de relief. Les sables mobiles actuels jaunes se réduisent à une pellicule superficielle mince mais continue. Alors que les dunes s'abaissent progressivement vers le "chott" Rharsa, au Nord, elles dominant brutalement le "chott" Jerid au Sud où la coupe révélée par la route conduisant à la frontière montre que les sables à stratification entrecroisée sont nettement indurés à la base des dunes.

Tout à fait à l'autre extrémité de la Tunisie présaharienne, à la pointe orientale du "chott" Fejaj, un petit ensemble de dunes à croûte gypseuse subsiste (fig. 1), constitué de boucliers barkhaniques très semblables à ceux de Douz, mais orientés Est-Ouest. Encore plus que les précédents, ce petit champ de dunes est nettement plus septentrional que le Grand Erg Oriental actuel.

Vers l'Ouest, au Sud-Est du "chott" Melrhir, l'erg fossile se réduit à une pellicule discontinue de sables en lentilles, en pellicule qui peut atteindre localement 1 à 2 m à la faveur de boucliers barkhaniques et il disparaît très vite, vers le Sud, sous le Grand Erg Oriental actuel.

Les sables de cet erg sont généralement très gypseux: jusqu'à 20% à Kef ed Debb (BALLAIS et al., 1985) et 55% de $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ à Bir Retmet Messaouda (COQUE, 1962) (Tab.1). De granulométrie moyenne ($Q_2 = 110 \mu\text{m}$ (Bir Retmet Messaouda) à $172 \mu\text{m}$ (Kef ed Debb)), ces sables sont bien triés ($S_o = 1,42$) (Fig.2).

La croûte qui les cuirasse est encore plus riche en gypse : à Bir Retmet Messaouda, gypse et anhydrite cumulés représentent 88% (COQUE (1962)). Cette croûte présente très souvent des alvéoles qui sont des nids de guêpes maçonnées et leur altération révèle tout le réseau de manchons de racines qui en constitue l'essentiel. L'orientation des dunes fossiles constituant cet erg montre que le régime des vents efficaces dominants qui les ont modelées était le même qu'aujourd'hui. En d'autres termes, si on compare, pour chaque type de dunes, quand c'est possible,

l'orientation des dunes encroûtées de gypse et l'orientation des dunes actuelles, elle est identique: Est-Ouest à l'Ouest de Gabès et aux environs de Nefta, NE-SW aux environs de Douz. Ces observations confirment celles effectuées à propos des dépôts loessiques des Monts de Matmata (BALLAIS, BALLAND, 1983) et sur le piémont de la chaîne du Cherb, à partir de la répartition des versants aspergés et voiles éoliens sableux contemporains de cet erg (BALLAIS, BEN OUEZDOU, 1992).

Tab.1: Caractéristiques géochimiques des sables des ergs.
Geochemical Characteristics of sands of sand seas.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	CaCO ₃	C
Erg à croûte gypseuse	27	1,5	-	-	55*	16**	-
Erg el Oussif	77,41	-	1,53	0,119	0,43	11,3	2,03
Erg fossile de Ksar Rhilane	82,27	2,52	1,64	0,015	0,14	4,7	0,18
Grand Erg Or. à Ksar Rhilane	91,28	1,72	1,00	0,007	0,14	1,1	0,10

* SO₃Ca 2H₂O ** CaCO₃, MgCO₃

Par ailleurs, cet erg fossile s'étend plus au Nord que le Grand Erg Oriental, particulièrement au Nord de Nefta, en bordure du "chott" Melrhir et même aux environs de Douz. En effet, si on regarde de près, on s'aperçoit que, sur les grandes dunes fossiles, les sables mobiles actuels se réduisent à peu de chose: une pellicule mince le plus souvent, des nebkas parfois, alors que la désertification sévit avec efficacité comme le montrent les mesures prises pour protéger les palmeraies. Il semble donc ainsi prouvé que, lors de la genèse de l'erg à croûte gypseuse, les vents étaient plus efficaces qu'aujourd'hui. Cela signifie que la végétation était moins capable qu'aujourd'hui de piéger les sables éoliens, qu'elle était donc plus ouverte, ce qui n'était possible que si le climat était plus sec qu'aujourd'hui.

Selon R. COQUE (1962), ces "dunes reliques" sont postérieures à la dernière phase "lagunaire" des Grands "Chotts" qu'il attribuait alors au Pléistocène supérieur. Les

nouvelles datations à l'U/Th (CAUSSE et al., 1989): 100.000 à 150.000 B.P., viennent renouveler cette question. Cependant, comme les dunes à croûte gypseuse s'observent, en Tunisie, à des altitudes inférieures à celle des derniers dépôts lacustres, la datation relative reste valable. Il me semble cependant, qu'on peut conserver une datation du Pléistocène supérieur. En effet, l'erg à croûte gypseuse, qui constitue la plus vaste accumulation sableuse antérieure à l'erg actuel, s'est déposé à la partie aval des flux aériens qui ont aussi accumulé, sur les versants septentrionaux de l'Atlas oriental, la première génération de sables éoliens, la plus riche en croûtes gypseuses qui moulent souvent, là aussi, de véritables dunes (BALLAIS, BEN OUEZDOU, 1992). Or, cette première génération, si elle n'est pas datée directement, du moins s'emboîte-t'elle dans la couverture alluviale du glacis attribué au Pléistocène moyen, contemporain de la dernière phase lacustre des Grands "Chotts" (BALLAIS, HEDDOUCHE, 1991).

Finalement, cet erg constitue l'équivalent des ergs, en particulier de l'erg ogolien qui, au sud du Sahara mais au même moment, se sont étendus très au-delà des limites actuelles du désert.

2.2. L'erg el Oussif

Il a été identifié en Algérie à environ 25 km au Sud de Négrine (BALLAIS, BENAZZOUZ, 1987). Il s'agit d'un erg vêtu constitué de sables quartzeux très comparables à ceux des ergs précédents ($142 \mu\text{m} < Q_2 < 165 \mu\text{m}$; $1,33 < So < 1,47$) (fig.2). Cependant, il s'en distingue très nettement par la présence d'un vieux sol superficiel qui s'est surtout conservé dans les creux interdunaires. Là, il comprend souvent deux horizons : un horizon supérieur beige foncé, épais de 10 à 15 cm (mais parfois jusqu'à 1 m) et un horizon inférieur beige clair, à structuration primatique lâche et petits nodules grésocalcaires, épais d'au moins 50 cm. L'horizon superficiel est beaucoup plus riche en silice que les sables des ergs plus anciens (77,41%) et, au contraire, à peu près dépourvu de gypse (0,43% de SO_3). Comme les sables de l'erg à croûte gypseuse, ils contiennent peu de carbonates (11,3% contre 16%). Par contre les taux non négligeables de P_2O_5 (0,119%) et, surtout, de carbone (2,03%) confirment l'existence de la pédogénèse qui se traduit aussi par la présence de 5,8% de limons et de 6% de colloïdes. Les minéraux argileux sont principalement la smectite mal cristallisée (un peu moins de 40%) et la palygorskite (un peu moins de 35%), alors que la kaolinite (un peu moins de 15%), la chlorite (10%) et l'illite (un peu moins de 5%) sont peu représentées. Cette

pédogénèse a permis une légère induration des sables, spécialement sous la forme de tubulures de racines qui a facilité leur conservation mais aussi la formation de micro-yardangs à leurs dépens.

Les grandes dunes ainsi conservées (longueur : quelques dizaines de mètres à plus de cent mètres; largeur: 20 à 50 m; hauteur : une dizaine de mètres) sont orientées N-S dans la partie septentrionale de l'erg puis elles tournent au Sud-Ouest, à l'Ouest, et enfin au Sud, ainsi que le montrent parfaitement les images Landsat 2 du 13 juin 1980 et du 20 mars 1981. Grâce à ces mêmes images, il a été possible de délimiter cet erg qui comporte (Fig.3) un ensemble principal au Nord-Ouest du "chott" Rharsa, entre la frontière algéro-tunisienne, à l'Est, et le cours moyen de l'oued el Mitta, à l'Ouest, à partir duquel il se fragmente en direction de l'angle Nord-Est du "chott" Melrhir. Vers le Sud, l'erg el Oussif vient recouvrir partiellement l'erg à croûte gypseuse, par exemple à proximité du "chott" Aslouch où, très vite, il est réduit à des lambeaux de dépression interdunaire, en forme de "fond de bateau" épais de 1,50 m au maximum. Comme pour l'erg précédent, l'orientation des dunes fossiles constituant cet erg montre que le régime des vents efficaces dominants qui les ont modelées était le même qu'aujourd'hui.

Par ailleurs, cet erg se situe globalement au Nord du Grand Erg Oriental actuel. Dans sa partie septentrionale, le sable n'est remobilisé aujourd'hui que par suite d'une désertification très efficace, surtout sous la forme du surpâturage effectué par les troupeaux de chèvres et de moutons. Le sable s'accumule alors en voiles minces ou en petites dunes en partie colonisées par *Aristida pungens*. A la limite méridionale, vers le "chott" Aslouch, l'erg el Oussif et l'erg à croûte gypseuse sont progressivement recouverts par les sables clairs, fins et très mobiles de l'erg actuel. Par conséquent, et encore plus que pour l'erg précédent, il est possible d'affirmer que l'erg el Oussif s'est accumulé au cours d'une période plus sèche que l'actuelle. Cet erg n'a pas pu être daté directement. Cependant, on observe fréquemment, en particulier dans les creux interdunaires, et dégagés du sol par déflation ou corrosion, des silex de facture néolithique accompagnés de fragments de coquilles d'oeuf d'autruche, d'esquilles d'os et de coquilles abondantes de petites *Helicella* ainsi que de rares fragments d'un gros gastéropode qui pourrait être *Helix melanostoma*.

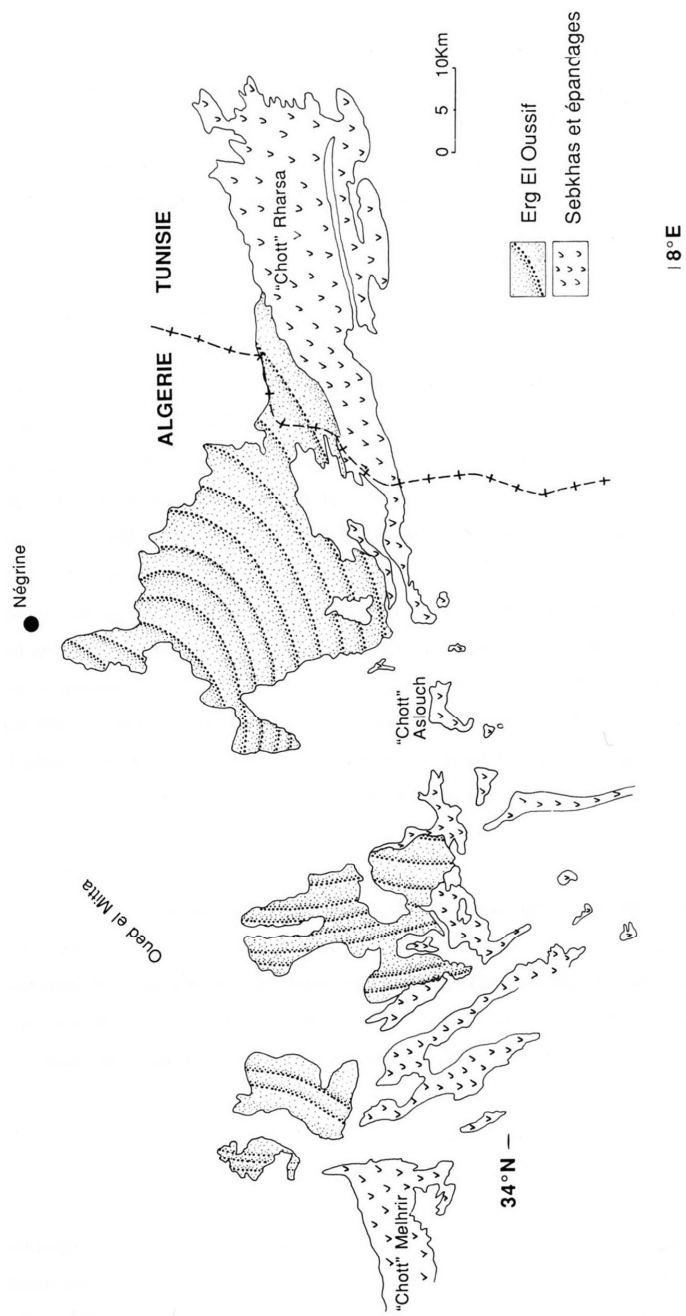


Fig.3: Extension de l'erg el Oussif. Location of el Oussif sand sea.

Entre et sur les dunes de l'erg à croûte gypseuse, à l'extrémité orientale de la Tunisie présaharienne, s'observent également des placages de sable affectés d'une pédogénèse comparable à celle de l'erg el Oussif et comprenant, en abondance, des silex taillés de facture néolithique, des coquilles d'oeuf d'autruche et des escargots très abondants, en particulier *Helix melanostoma*, très dominant, mais aussi quelques *Leucochroa candidissima* et de grosses *Helicella*.

Malgré sa grande marge d'erreur, une datation au 14C effectuée sur ces *Helicella*: 5.930 +/- 1.780 B.P. (C 3574) confirme l'âge Holocène moyen de la pédogénèse indiqué par les industries néolithiques et déjà connu dans l'ensemble de la Tunisie présaharienne et saharienne (BALLAIS, 1991). La mise en place de l'erg est, par conséquent, antérieure. Par l'ensemble de ses caractères comme par sa position chronologique, cet erg est donc tout à fait comparable à la troisième génération de sables éoliens définie sur le piémont Nord du djebel Morra, dans la chaîne du Cherb (BALLAIS, BEN OUEZDOU, 1992). L'âge exact de cet erg reste donc incertain car on peut hésiter entre un âge pléistocène supérieur terminal et un âge holocène inférieur. Le premier en ferait le contemporain des sables de Bir Oum Ali datés de 17.500 à 14.400 B.P.. Le second le daterait de 7.500 à 7.000 B.P., intervalle aride de la fin de l'Holocène inférieur pendant lequel une nouvelle génération de sables éoliens se met en place, particulièrement dans les Ziban (BALLAIS et al., 1979), mais aussi, très probablement, dans le djebel Morra (BALLAIS, 1991).

3. Les placages et accumulations sableux éoliens récents et actuels

Les générations récentes de sables éoliens sont beaucoup plus difficiles à distinguer des sables mobiles actuels car l'évolution géochimique qu'ils ont subi est très limitée. Cependant, deux ensembles peuvent être distingués: un à Ksar Rhilane, et un à proximité des "chotts" Melrhir et Rharsa.

3.1. Les sables holocènes supérieurs de Ksar Rhilane

A Ksar Rhilane (Fig.1), entre les barkhanes du Grand Erg Oriental, se sont déposés, vers 2.380 +/- 155 B.P. (C 3594), des limons argileux, dans un milieu palustre (BALLAIS, 1991, 1992). Ils ont recouvert des sables éoliens très fins ($Q_2 = 72 \mu\text{m}$), bien triés ($S_o = 1,24$), avec, cependant, une fraction importante de limons

(13,4%) et de colloïdes (4,4%) (Fig.2). Extrêmement riches en silice (82,27%), ils sont pauvres en éléments majeurs (Tab. 1) à l'exception notable de l'alumine (2,52%) et de l'oxyde ferrique (1,64%). Le minéral argileux principal est la palygorskite (45%), suivie de la smectite mal cristallisée (20%), de la kaolinite (un peu moins de 20%), de la chlorite (un peu plus de 10%) et de l'illite (un peu plus de 5%).

3.2. Les sables indurés des "chotts" Rharsa et Jerid

Sur la bordure méridionale du "chott" Rharsa, au Nord de Nefta, on observe les vestiges de grandes dunes constituées de sables jaunes légèrement grésifiés, à stratification entrecroisée, encore hautes parfois d'une dizaine de mètres. Elles sont parfois recouvertes par les sables mobiles actuels ou, le plus souvent, retaillées en yardangs orientés NE-SW. A faible distance, mais sans qu'il soit possible de mettre en évidence les relations géométriques des deux formations, des placages de sables beiges sont affectés par la même pédogénèse que l'erg el Oussif. Comme les dunes grésifiées ne sont pas affectées par cette pédogénèse, il est possible qu'elles soient plus récentes.

Un âge récent, historique, est par contre certain pour des dunes grésifiées, au pied d'un marabout à l'Ouest de Fatnassa, sur la rive Sud du "chott" Jerid (Fig.1). Ces dunes, hautes de 4 à 5 m, reposent sur un épandage de sables gris à céramique commune modelée et tournée, coquilles de *Melania*, esquilles d'os, charbon de bois et mortier, issu d'une source artésienne actuellement tarie. Par ailleurs, des troncs de palmiers, certains en position de vie, et même des palissades de palmes, destinées à lutter contre l'ensablement par les vents d'Est, sont cimentés dans les sables. Ces dunes sont actuellement retaillées en yardangs orientés Est-Ouest.

3.3. Les sables actuels

Les sables mobiles actuels se distinguent des précédents par leur richesse extrême en silice et la faible représentation des autres éléments. Par exemple, à Ksar Rhilane, la silice représente 91,28% des sables, l'alumine 1,72% et l'oxyde ferrique 1%, le carbonate de calcium ne représente que 1,1% et les sulfates 0,14% (Tab.1)! Toujours à Ksar Rhilane, ils sont très fins ($Q_2 = 88 \mu\text{m}$) et très bien triés ($So = 1,1$) (Fig.2). Du double point de vue géochimique et granulométrique, ils ressemblent donc beaucoup aux sables mobiles actuels de la chaîne du Cherb (BALLAIS,

BEN OUEZDOU, 1992). Leurs minéraux argileux sont identiques à ceux des sables antérieurs à 2.380 B.P., à la nuance près que la palygorskite représente un peu plus de 40% et la smectite mal cristallisée un peu moins de 25%. Localement, entre les "chotts" Melrhir et Merouane, ils deviennent plus grossiers ($167 \mu\text{m} < Q_2 < 225 \mu\text{m}$), moins bien triés ($1,30 < S_o < 1,42$) et plus gypseux (5% de gypse en moyenne) (REBILLARD, BALLAIS, 1984).

4. Conclusions

1. - Le Bas-Sahara se caractérise donc par une très grande richesse en héritages des ergs qui s'y sont succédés. Plus exactement, et COQUE et GACHELIN (1975) l'avaient déjà bien souligné, c'est la partie la plus basse du bassin qui est la plus riche. En effet, la présence de ses sebkhras caractéristiques, a joué un rôle décisif :

- lors des phases lacustres, en créant les possibilités de fossilisation des formations éoliennes sous les argiles gypseuses,
- lors des phases éoliennes de formation des croûtes gypseuses, en créant les possibilités de grésification des sables.

Après l'Holocène moyen, ces possibilités disparaissent à petite échelle et la reconnaissance des formations éoliennes successives, d'extension plus réduite, devient plus délicate.

2. - Quoi qu'il en soit, et malgré les incertitudes chronologiques, il est possible d'avancer les conclusions provisoires suivantes:

- le déplacement des sables et l'extension des ergs au-delà des limites actuelles, se fait en phase, au Nord et au Sud du Sahara. Par conséquent, le désert se dilate et se contracte, il ne subit pas un balancement latitudinal au cours duquel il conserverait sa surface inchangée;
- la formation des ergs au Nord des ergs actuels se produit pendant des phases plus sèches que l'actuelle dont au moins celle du Pléistocène supérieur correspond au maximum d'une phase froide en Europe tempérée, ce qui contredit le schéma d'équivalence entre "Glaciaire" et "Pluvial";

- l'extension des ergs vers le Nord n'est pas dû à un déplacement des sables du Sud dans le même sens, puisque l'orientation des dunes indique que le sens des vents dominants efficaces actuels (de secteur Nord à Est) n'a pas été modifié. C'est

l'aridification progressive en direction du Nord qui permet que les sables soient mobilisés sur des espaces de plus en plus septentrionaux. En d'autres termes, ce sont les paysages d'ergs qui progressent vers le Nord, pas le matériel sableux. Et ce fait doit être bien gardé à l'esprit si on veut correctement analyser, et donc combattre, la désertification qui progresse actuellement aussi bien en Algérie qu'en Tunisie.

Remerciements: Je tiens à remercier les ingénieurs et techniciens du Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. à Caen qui ont effectué les analyses dont les résultats ont été utilisés ici.

Références bibliographiques

- BALLAIS, J.-L. (1991): Evolution holocène de la Tunisie saharienne et présaharienne. - Méditerranée, 4: 31-38.
- BALLAIS, J.-L. (1992): Le climat au Maghreb oriental de - 500 à + 500: apports de la géomorphologie et de la géochimie.- Les Nouvelles de l'Archéologie, 50: 27-31.
- BALLAIS, J.-L., MARRE A. & P. ROGNON (1979): Périodes arides du Quaternaire récent et déplacement des sables éoliens dans les Zibans (Algérie).- Rev. Géol. dyn. et Géogr. phys., 21,2: 97-108.
- BALLAIS, J.-L. & V. BALLAND (1983): Discussion sur l'origine du "loess" pléistocène de Téchine (Sud Tunisien). - Bull. Soc. géol. France, (7), XXV, 4: 635-636.
- BALLAIS, J.-L., BALLAND V., BENAZZOUZ M.T. & R. COQUE (1985): Recherches préliminaires sur l'évolution quaternaire du Bas-Sahara algérien. - Pour Fernand Joly, 29-39, Paris.
- BALLAIS, J.-L. & M.T. BENAZZOUZ (1987): Sédimentation quaternaire lacustre et éolienne dans le Bas-Sahara algérien. - 8th Reg. Meeting of Sedim.: 54-55.
- BALLAIS, J.-L. & A. HEDDOUCHE (1991): Bas Sahara septentrional et Grand Erg Oriental. - Coll. "Paléomil. et Peupl. préhist. sahar. au Pléist. sup.": 23 p., sous presse.
- BALLAIS, J.-L. & H. BEN OUEZDOU (1992): Sables éoliens quaternaires entre les chaînes de Gafsa et du Cherb (Sud Tunisien). - Z. für Geom., Suppl.-Bd 84: 89-99.
- CAUSSE, C., COQUE R., FONTES J.-C., GASSE F., BEN OUEZDOU H. & K. ZOUARI (1989): Two high levels of continental waters in the southern Tunisian chotts at 100 and 150 ka. - Geology, 17: 922-925.
- COQUE, R. (1962): La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique. - 476 p., Paris.
- COQUE R. & C. GACHELIN (1975): Problèmes géomorphologiques du Bas-Sahara algéro-tunisien. - Etudes géogr. offertes à G. Viers: 161-169.
- LEVY, A. (1987): L'énigme de la mer saharienne quaternaire. - Pour la Science, 120.
- REBILLARD P. & J.-L. BALLAIS J.-L. (1984): Surficial deposits of two Algerian playas as seen on SIR-A, Seasat and Landsat coregistered data. - Z. für Geom., 28, 4: 483-498.

Jean-Louis Ballais
UFR des Sciences Géographiques et l'Aménagement
Université d'Aix Marseille I
29, Avenue Robert Schuman
F-13621 Aix-en-Provence Cédex