

**L'INFLUENCE DE LA GEOMORPHOLOGIE SUR LE
COMPORTEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE DU SOUF**

**Etude réalisée par Jean-Louis BALLAIS
avec la collaboration de Marc CÔTE et Ali BENSAAD**

**Centre d'Etudes Géomorphologiques d'Aix-en-Provence
UMR 6012 ESPACE
Université de Provence
29, avenue Robert Schuman
13621 Aix-en-Provence Cedex 1**

**janvier 2002
nouvelle édition : janvier 2009**

L'INFLUENCE DE LA GEOMORPHOLOGIE SUR LE COMPORTEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE DU SOUF

Jean-Louis BALLAIS,

avec la collaboration de Marc COTE et Ali BENSAAD

Face à la gravité de la situation créée par la remontée de la nappe phréatique dans une partie du Souf (Nesson, 1975 ; Côte, 1998, fig. 1), et afin de préciser la dynamique de cette nappe, une mission a été organisée à El Oued du 18 au 25 octobre 2001.

1 – L'état des connaissances :

1.1 - Les premières indications sur la géomorphologie du Souf ont été collectées par E. Reclus (1886). Il indique (p. 793-795) que, au nord du Sahara, « la progression lente de ces dunes s'accomplit dans le sens du sud-est, ainsi que le prouve l'emplacement actuel de leurs grandes chaînes par rapport aux centres de désagrégation... Dans l'ensemble, d'après M. Duveyrier, le mouvement général des sables sahariens se porterait du nord-est au sud-ouest, conformément à la marche du courant aérien des alizés ».

Dans le même ouvrage, p. 565, apparaît la première indication de fluctuations de la nappe phréatique : « ... il faut choisir un endroit favorable dans les entre-deux des dunes et creuser le sol à des profondeurs variables, en certains endroits jusqu'à 12 mètres, pour atteindre une couche du sous-sol suffisamment humectée : les arbres qu'on y plante descendent par les racines jusqu'à la nappe aquifère, mais il arrive parfois que la nappe se déplace ou s'abaisse : il faut alors déchausser l'arbre et le soutenir par des étais et creuser au-dessous ou par côté pour lui donner un emplacement plus favorable. »

1.2 – Les études sur le Grand Erg Oriental :

Par la suite, les études se concentrent sur le Grand Erg Oriental et négligent totalement son substratum.

1.2.1 - Pour I.G. Wilson (1971), entre les montagnes de l'Atlas et Touggourt, la bordure du Grand Erg Oriental paraît directement reliée à une accumulation de flux sableux dans les aires à l'amont vent. Il y a une transition continue entre la bajada alluviale ouverte avec des nebkas liées aux petits buissons, puis une zone de dunes dispersées et d'accumulations plus grandes liées aux buissons, et une zone de dunes plus denses formant des draas par coalescence, jusqu'à l'erg à couverture sableuse continue et un développement à la fois des dunes et des draas.

1.2.2 - Monique Mainguet est ensuite à l'initiative de plusieurs études du Grand Erg Oriental. En 1984 (Mainguet *et al*), « il apparaît que la cause principale de la localisation des dépôts sableux hors des aires situées en position topographique basse est *le ralentissement d'un courant éolien transporteur de*

sable... par la convergence de deux ou de plusieurs vents... Le Grand Erg Oriental connaît sans doute la même origine... »

Les deux ergs septentrionaux de l'Afrique nord-équatoriale, immédiatement au nord du Sahara central très pauvre en sable, - Grand Erg Occidental et Grand Erg Oriental, appartenant encore partiellement au domaine subméditerranéen – sont originaux à cette latitude par leur taille, approximativement 100 000 et 200 000 km², et leur épaisseur évaluée, dans le Grand Erg Oriental, à 26 m (Mc Kee, 1979).

Lorsque le régime éolien est multidirectionnel, les pyramides dunaires sont la règle. Ce type de dunes compose en grande partie les deux ergs septentrionaux du Sahara : Grand Erg Occidental et Grand Erg Oriental.

L'examen de l'état de surface des ergs de l'Afrique nord-équatoriale... révèle la situation suivante : des ergs à budget sédimentaire positif sur les marges nord du Sahara (Grand Erg Occidental et Grand Erg Oriental)... Une bande d'ergs septentrionaux dont les marges nord et ouest sont encore en phase excédentaire et passent, dans leur partie sud, en phase déficitaire. Ces ergs doivent leur richesse en sable à l'abondance des épandages hydriques, eux-mêmes alimentés pendant le Quaternaire car, dans ces marges septentrionales, le climat ne fut jamais vraiment sec. » La même année (Mainguet, Jacqueminet), l'étude du Grand Erg Oriental, surtout à partir des cartes au 1/200 000., révèle trois familles de dunes dont les sifs et nappages sableux qui forment le quart nord-ouest de l'erg et la partie septentrionale bordant les chotts. Il existe des nappages sableux minces plus à l'Ouest et au Nord que les limites de l'erg telles que choisies par les auteurs. L'ensablement dans cet amont-vent de l'erg s'organise en nappages devenant de plus en plus continus et sur lesquels le sable est concentré en sifs. Ces derniers sont indicateurs d'un régime éolien à deux directions dominantes. La hauteur des sifs croît au fur et à mesure que l'on pénètre dans l'erg avec des hauteurs maximales proches de 80 m lorsque les sifs se compliquent et sont relayés par des chaînes ghourdiques (32°30'N et 6°50'E).

La cartographie des hauteurs moyennes des édifices dunaires met en évidence l'accroissement de la quantité de sable du Nord vers le Sud.

Les nappages sableux et les sifs du bord nord-occidental ont l'épaisseur minimale. L'épaississement de la couverture sableuse coïncide avec une remontée de la topographie du Nord vers le Sud : de - 37 m dans le chott Melrhir, à 379 m à Hassi Bel Guebbour au Sud de l'erg. La topographie à contre pente par rapport au transport dominant NNE-SSO de sable et la nature sableuse du substrat freinent le vent et favorisent le dépôt. Tout se passe comme si le Nord se vidait au profit du centre puis du Sud de l'erg. Ainsi apparaît une situation paradoxale de chaînes dunaires de plus en plus hautes vers le Sud, mais séparées par des couloirs interdunaires de plus en plus larges. Conformément à l'effet Venturi qui, en s'exerçant sur une contre pente, diminue la pression et augmente la vitesse du vent dans le Sud du Grand Erg Oriental, il y a simultanément au dépôt de plus en plus épais dans le sens de l'alizé, un déblaiement croissant des couloirs qui s'élargissent dans le même sens. Ainsi, tout le nord de l'erg, jusqu'à Hassi Messaoud, a une balance sédimentaire positive et n'est pas menacé d'ensablement par apport excédentaire de matériel.

« Dans les deux ergs l'alimentation en sable est septentrionale, l'évacuation méridionale. » Dans le Grand Erg Oriental, le budget sédimentaire n'est pas encore franchement négatif mais il est déjà amorcé par la disposition en chaînes ghourdiques séparées par des gassis.

Dans ce Grand Erg Oriental, le sable se serait réparti de façon plus homogène dans l'ensemble du champ de dunes, celui qui s'en échappe par le Sud étant repris par les vents dominants OSO-ENE qui, sur le plateau du Tinrhert au sud de l'erg laissent leurs marques par de très belles stries de corrasion dans les calcaires. Le sable exporté à partir de l'erg se trouverait ainsi partiellement réimporté. Ou, autre hypothèse, les deux ergs se vidant par le Sud et cette exportation procédant par érosion régressive dans les gassis, le Grand Erg Occidental, déposé sur une pente conforme à la direction dominante des vents NE-SW, serait plus aisément vidé que l'erg oriental, disposé sur une contre-pente par rapport aux vents dominants NE-SW et N-S.

Les ghourds sont formés dans un régime éolien à trois ou sans direction dominante. L'organisation de ces dunes en chaînes signifie, dans un contexte d'alimentation multidirectionnel, que l'une des directions, qui est la direction d'exportation, devient dominante.

L'observation de la nature des dunes et de leur organisation amène à la conclusion que *la circulation éolienne a, dans ces deux ergs, une disposition à dominante anticyclonique*, ce qui n'est pas contradictoire avec les régimes anémométriques multidirectionnels (E. McKee, 1979) que l'on trouve dans les oasis en bordure des ergs.

Les aires menacées de l'ensablement le plus rapide sont celles qui se trouvent sous le vent d'aires à budget sédimentaire négatif, exportatrices de sable, ce qui est le cas d'une très large bande située à la périphérie Sud du Grand Erg Oriental. Par contre, les risques d'ensablement sont beaucoup moins graves à l'amont-vent, même proche, des aires à budget sédimentaire positif, même si dans ces secteurs l'erg réexporte une partie du sable déposé dans ces aires d'accumulation : c'est ainsi que les oasis du Tarhirt et de Béni-Abbès, quasiment au pied de ghourds, ne souffrent pas d'ensablement.

Une étude ultérieure (Mainguet, Chemin, 1987) confirme les types de dunes et leur répartition.

Ensuite, seules des études ponctuelles s'intéressent soit aux paléoenvironnements holocènes (Petit-Maire *et al*, 1991 ; Ballais, 1994 ; Gartet, 1995), soit aux rides qui modèlent la surface des dunes de la partie centrale du Grand Erg Oriental (Eddaoudi, 2001).

1.3 - Conclusion : au sein du Bas Sahara algérien, le Souf constituait l'ensemble le moins bien connu. Plus précisément, l'attention s'était portée presque exclusivement sur le Grand Erg Oriental et non sur le substratum de cet erg et ses rapports avec lui.

2 – Les recherches effectuées en octobre 2001 :

Ces recherches n'ont pas été centrées sur le Grand Erg Oriental, mais sur l'influence de la topographie et des formations superficielles sur l'écoulement de la nappe phréatique.

2.1 – Le rôle de la topographie : les oueds fossiles :

2.1.1 – La mise en évidence des talwegs :

2.1.1.1 – La « horra » :

L'examen attentif des photos aériennes révèle que, au Nord d'El Oued, alternent deux modelés : d'une part des dunes vives (sifs et silks), organisées en cordons et, d'autre part, des étendues planes recouvertes ou non d'un voile sableux éolien, les sahanes.

Au contact de deux de ces ensembles, tout particulièrement du sud de Guémar jusqu'au nord-est de Hobba, à l'est de la route nationale n° 48, s'individualise une rangée simple, parfois double, de ghouts (photos aériennes au 1/40 000 de 1999), selon un allongement sinueux que les habitants appellent « oued » ou « horra ». L'examen de l'image de SPOT du 30 mai 1998 (fig. 2) confirme l'existence d'une forme qui sinue vers l'aval en s'élargissant. Les photos aériennes de 1983 au 1/60 000 montrent, à l'amont, deux alignements principaux de ghouts : à l'ouest, celui de Daouia-Douara-Ourmés et, à l'est, celui de Robbah-El Oued, qui confluent à Guémar et se prolongent par la forme indiquée ci-dessus. Cette dernière sépare brutalement les dunes, à l'est, d'une sahane à encroûtement gypseux, à l'ouest. Par son tracé, elle évoque une forme fluviale qui aurait été générée à contre sens des vents efficaces dominants actuels de secteur nord-ouest à nord-est.

Vers le nord (photo aérienne 0082, 1/40 000, 1999), des talwegs apparaissent à l'est de la forme, orientés est-ouest, dans la direction de cette forme. Plus à l'aval (photo 0084), la forme s'élargit et les ghouts disparaissent, puis la forme se dédouble entre un talweg très large (300 à 400 m ?, fig. 2) à l'est, et un bas plateau à l'ouest. Des dunes, orientées NE-SW, absentes à l'est, apparaissent dans le talweg qu'elles tronçonnent.

Les observations de terrain ont été faites à Guémar et au nord-est de Hobba. A Guémar (photo 0082), les ghouts ont été creusés dans les sables dunaires qui recouvrent une couche de sable jaune, très légèrement indurée, à grains un peu plus grossiers que ceux des dunes. Les déblais montrent l'existence, en dessous, d'un encroûtement gypseux constitué de petites roses des sables et de manchons de racines discontinus et irréguliers, au-dessus d'un grès gris-jaune non gypseux. La nappe phréatique supérieure est douce.

Au nord-est de Hobba (N 33°43.445', E 6°46.335'), la coupe est la suivante, sur la rive occidentale du très large talweg sableux, localement humide:

- talus haut d'environ 1,50 m, bordant une banquette étroite de largeur variant de zéro à quelques mètres et recouvert de gypse en grands cristaux lamellaires, brillants ou ocres, rappelant les cristaux contenus dans les couches mio-pliocènes. Ils recouvrent des sables gypseux ;
- sur cette banquette, des cailloux d'un grès bien lité, épars, parfois volumineux,
- un erg fossile recouvert d'une croûte gypseuse et recouvrant la banquette précédente, descendant localement sur les berges du talweg,
- l'erg actuel constitué de nebkas colonisées par le drinn (*Aristida pungens*).

Plus au nord, le talweg se rétrécit et vient se jeter dans l'une des nombreuses sebkhas orientées NNW-SSE qui jalonnent l'intervalle entre le chott Melrhir à l'ouest et le chott Rharsa, à l'est.

2.1.1.2 – La « daya » :

L'examen attentif des photos aériennes, confirmé par celui de l'image de SPOT, révèle un deuxième alignement de ghouts, parallèle au précédent, passant par Magrane, et disparaissant vers le nord plus tôt que la « horra ».

A El Hamadine, au fond des ghouts (N 33°37,187', E 6°54,376'), s'observe un sable concrétionné, finement lité en lits subhorizontaux, raviné en surface par une pellicule de sable induré (l'induration est très probablement due à l'évaporation). Comme pour l'amont de la horra, vers Guémar, aucune formation superficielle de texture ou de structure franchement fluviales n'a été observée.

Vers l'aval, au lieu-dit Oued Melah, en revanche, des formes incontestablement fluviales existent : au moins trois vallées orientées est-ouest, larges d'une centaine de mètres, à flancs raides et fond plat, entaillées de 10 à 20 mètres dans un plateau qui se termine, à l'ouest, par un talus parallèle à la daya. Le fond du lit de ces vallées est constitué de grès non gypseux sur lequel reposent des artefacts : éclats de silex et de chalcédoine taillés, céramique, fragments de coquilles d'œufs d'autruche, attribuables au Néolithique. La nappe phréatique, à 4 m de profondeur, est douce, elle sert à l'irrigation de cultures légumières, dont l'arachide.

2.1.1.3 – L'évolution géomorphologique :

Le substratum du Grand Erg Oriental a été modelé par une première surface qui n'est plus représentée que localement par le plateau d'Oued Melah. Ce plateau n'est pas datable directement mais, soit sa surface constitue le sommet de l'accumulation mio-pliocène et elle date alors du Pliocène, soit elle tronque cette accumulation et date donc du Pléistocène inférieur (cf. ci-dessous).

En contrebas de la précédente, le substratum de sables et d'argiles est modelé par une vaste surface en pente douce (1 pour mille) et régulière vers le niveau de base constitué par les chotts Merouane et Melrhir. Ces caractéristiques sont celles d'un glaciaire ou encore d'un épandage comparable à celui qui fonctionne actuellement sur le piémont des Aurès et des Nemencha, au nord de ces chotts.

Les deux talwegs fossiles de la « horra » et de la « daya » sont légèrement entaillés dans cette surface. L'ampleur de leurs dimensions indique qu'ils ont été modelés par des écoulements fluviaux, des oueds de grande taille et de forte compétence, capables de transporter des galets de grès du Tinrhert sur des centaines de kilomètres, jusqu'à proximité des chotts. Une phase de très grande activité des oueds a été mise en évidence sur la rive nord-ouest du chott Melrhir pendant le Pléistocène moyen (Ballais *et al*, 1985 ; Ballais, Benazzouz, 1987 ; Ballais, Ben Ouedzou, 1987, 1991) : là aussi, des galets sont alors apportés des Aurès et des Nemencha en grand nombre par des écoulements beaucoup plus compétents que les actuels qui ne déposent plus que des limons. On peut donc penser que le creusement des oueds du Grand Erg Oriental se place également au Pléistocène moyen.

L'erg fossile à croûte gypseuse a été identifié depuis longtemps : d'abord en Tunisie présaharienne (Coque, 1961), puis sur la bordure sud du chott Melrhir (Coque, Gachelin, 1975 ; Ballais *et al*, 1985, Ballais 1993). Il est contemporain du maximum froid et sec de la dernière période froide vers 18 000 B.P. (Pléistocène supérieur = Würm des Alpes).

Aucune forme ou formation éolienne fossile n'a été observée entre l'erg à croûte gypseuse et l'erg actuel. En particulier, aucun équivalent de l'erg El Oussif, identifié au nord-est du chott Melrhir (Ballais, Benazzouz, 1987 ; Ballais, 1992) et daté de l'Holocène inférieur n'a été reconnu.

La mise en place de l'erg actuel peut être cernée différemment selon la latitude. Au Nord, là où existe l'erg fossile à croûte gypseuse, l'erg actuel est donc postérieur au Pléistocène supérieur, son âge est inférieur à 18 000 ans. Au Sud, vers 31°N environ, une génération d'erg non encroûté est localement conservée sous les dépôts palu-lacustres de l'Holocène inférieur à moyen (Ballais, 1994). Là, une partie de l'erg actuel n'a que quelques milliers d'années. Entre ces deux ensembles, soit entre environ 33°45'N et 31°N, l'erg actuel repose directement sur des dépôts sableux, certes de texture éolienne (Beauzée, 1952), mais non structurés par le vent. Là, il est impossible de lui donner un âge maximum.

2.1.2. – Le rôle de la topographie :

2.1.2.1 – L'influence sur le concrétionnement à l'Holocène inférieur et moyen :

A la différence des latitudes inférieures à 31°N, il n'a jamais été observé de dépôts lacustres ou palustres datables de la première moitié de l'Holocène. Cependant, des formations phréatiques ou pédologiques, détaillées ci-dessous, se sont alors mises en place. Systématiquement, les talwegs ont été alors le lieu de cimentations non gypseuses qui ont affecté les sables. A l'inverse, dans les sahanes, les concrétionnements ont été aussi systématiquement gypseux.

2.1.2.2 – L'influence sur l'accumulation éolienne :

A la différence de la bordure méridionale des chotts (Coque, Gachelin, 1975 ; Ballais *et al*, 1985 ; Ballais, 1993), dans le Souf, un erg n'apparaît que tardivement, au Pléistocène supérieur. Il est cependant le signe d'une tendance à l'aridification perceptible également plus au Nord (Ballais, 1984, 1985). La localisation générale de cet erg, sur la pente remontant à l'aval-vent du fond de la dépression des chotts Melrhir et Mérouane, est conforme à celle de nombreux ergs.

Dans le détail, le modelé du glaciais-épandage a pu influencer la sédimentation éolienne. La localisation étroite de l'erg fossile à croûte gypseuse limite singulièrement les possibilités d'observation. Cependant, il semble que ce n'est que localement et partiellement que des dépôts éoliens s'accumulent sur les berges des talwegs fossiles.

En revanche, pour l'erg actuel, et d'après les témoignages des agriculteurs et en l'absence de forages localisés sur ces talwegs, il apparaît que les épaisseurs de sables éoliens meubles sont systématiquement plus fortes qu'aux alentours. On peut expliquer cette caractéristique de la façon suivante : les talwegs constituaient des lieux de rugosité plus forte, à la fois par leur modelé en creux, mais aussi, très probablement, à cause de la densité plus forte de la végétation qui y trouvait une meilleure alimentation en eau.

2.1.2.3 – Conséquences sur la nappe phréatique :

L'absence ou la faiblesse de la minéralisation de la nappe phréatique dans les talwegs fossiles résulte ainsi de plusieurs facteurs : d'abord l'absence de salinité du matériel éolien meuble (dunes) ou consolidé (grès holocène) et, en ce qui concerne les sables éoliens, une forte porosité qui permet une circulation plus rapide de la nappe, ce qui limite les possibilités de dissolution.

2.2 – Le rôle des formations superficielles :

Les formations superficielles ont été déterminées par l'examen de 25 logs de forages fournis très aimablement par la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'El Oued (cf. liste en annexe), complétés par 22 points d'observation sur le terrain.

2.2.1 – Les types de formations superficielles :

On peut distinguer deux cas : celui où une formation superficielle constitue l'essentiel ou la totalité de l'épaisseur considérée et celui où deux formations se superposent.

2.2.1.1 – Les types simples :

Les plus nombreux, ils comprennent des formations meubles : les sables quartzeux et les sables quartzo-gypseux, et des formations plus ou moins concrétionnées ou cimentées : les concrétions gypseuses, le grès et les concrétions gréseuses.

- Les formations meubles :

Le sable quartzueux en constitue le cas le plus simple. Il s'agit, comme à El Oued (Beauzée, 1952) de sables siliceux, constitués de grains de taille comprise entre 50 et 400 μm , d'origine éolienne ($1,1 < So < 1,35$).

Le sable quartzueux est souvent enrichi, en proportion variable, en grains de gypse parfois finement cristallisé, ces grains de gypse étant souvent plus volumineux que les grains de quartz. Il s'agit alors d'un sable éolien enrichi en gypse d'origine diverse.

- **Les formations concrétionnées-cimentées :**

Les concrétions gypseuses se présentent surtout sous deux formes : les roses des sables et les manchons de racines.

Les roses des sables, appelées localement « louss », forment des couches épaisses de plusieurs décimètres, très denses et très dures : les phoeniculteurs doivent les défoncer à la barre à mine ou au bulldozer. Elles sont presque exclusivement constituées de gypse. Ce type de concrétionnement se produit dans la zone de battement de la nappe phréatique salée.

Les manchons de racines forment un concrétionnement moins dense, constitué de tubulures souvent creuses. Composés de cristaux pâles de gypse ayant emprisonné quelques grains de sable, ils se sont formés autour des racines des végétaux. C'est donc un concrétionnement pédologique mais qui, en général, était à une faible hauteur au-dessus de la nappe phréatique qui alimentait les plantes en eau.

Le grès est constitué de grains de sable quartzueux, éoliens, pris dans un ciment calcaire. Il s'agit aussi d'une cimentation phréatique, mais dans une nappe d'eau non salée.

Les concrétions gréseuses sont des manchons de racines développés dans les mêmes conditions pédologiques que les manchons gypseux, mais dans un sol non salé.

2.2.1.2 – Les combinaisons :

Elles ne représentent que 19 cas sur 47. Le cas le plus fréquent est celui de la superposition de sable quartzueux sur des concrétions gypseuses, alors que la superposition de sable sur grès ne représente que 7 cas et le sable quartzueux sur gypse un seul.

2.2.2 – La répartition des formations superficielles :

Les sables gypseux occupent une vaste surface (fig. 3) depuis Oued el Allenda et El Oglâ, au sud, jusqu'à Hassani au nord-est et Hobba au nord-ouest, selon une orientation générale SE-NW.

Les sables quartzueux occupent une surface plus réduite (fig. 4), avec une base large au sud, de Robbah à Daouia et qui s'effile vers le nord-est jusqu'au delà de Magrane.

Ce sont les sables sur concrétions gypseuses qui occupent l'espace le plus vaste (fig. 5), d'autant que les limites sud-ouest et nord ne sont pas connues. Il présente un curieux étranglement central, à l'ouest d'El Oued, et se dilate largement au nord, de Bir Fouila à Magrane.

Les sables quartzueux sur grès occupent un espace central (fig. 6), depuis Bayada au sud jusqu'à Guémar et Hassani au nord.

Le grès occupe un espace plus réduit et plus septentrional (fig. 7) car il ne dépasse pas Akfadou au sud et Hobba au nord-ouest. Au nord-est, il pousse jusqu'à l'Oued Melah.

Les concrétions gypseuses pédologiques se localisent immédiatement à l'amont du précédent (fig.8), couvrant une bande presque latitudinale de Guémar au nord de Sohine.

Enfin, les concrétions gréseuses se limitent à l'ouest de Mih Ouensa.

2.2.3 – Conséquences sur l'écoulement de la nappe phréatique :

La vitesse d'écoulement de la nappe phréatique doit atteindre son maximum dans les sables meubles, qu'ils soient quartzeux ou gypseux (Castany, 1967).

Les niveaux concrétionnés, en revanche, sont de nature à la ralentir. Ce ralentissement est renforcé par la disposition transversale à perpendiculaire de ces niveaux par rapport à l'axe sud-nord d'écoulement de la nappe. C'est ainsi que le principal axe des concrétions gypseuses sous sable, orienté SW-NE, passe juste au nord d'El Oued, ou encore que le grès, qui affleure au nord, où la nappe se rapproche de la surface topographique, est orienté ouest-est, perpendiculairement à l'écoulement. Le caractère très superficiel des concrétions gypseuses pédologiques permet de les négliger.

Par ailleurs, la partie centrale est constituée de grès sous quelques mètres de sable, ce qui ne doit permettre qu'une faible vitesse de la nappe.

En conclusion, la nappe phréatique superficielle doit présenter généralement des vitesses lentes de part et d'autre d'El Oued, d'abord parce qu'elle circule partie dans des sables, partie dans des grès, ensuite parce qu'elle est ralentie par les concrétions gypseuses phréatiques à l'aval d'El Oued et enfin parce que les affleurements de grès d'aval la freinent encore.

Si on compare la carte de la remontée de la nappe (fig. 1) avec celles des formations sableuses sur grès (fig. 6) on constate, à l'exception de l'ensemble Oued el Allenda – Mih Ouensa, une excellente coïncidence. Elle pourrait indiquer le rôle important joué par le ralentissement de l'écoulement de la nappe phréatique par le grès.

3 – Conclusions :

L'apport de l'étude géomorphologique à la connaissance de la dynamique de la nappe phréatique du Souf est donc double.

D'une part, elle a permis de mettre en évidence l'existence de deux paléotalwegs, creusés probablement au Pléistocène moyen, qui ont concentré les écoulements puis l'accumulation de sables éoliens meubles. La circulation de l'eau a ainsi été accélérée et sa salinisation limitée. Dans la perspective d'une réinjection de l'eau pompée dans la nappe à El Oued, ces talwegs constituent des lieux privilégiés par leur forte porosité et leur salinité faible à nulle.

D'autre part, elle a mis en évidence le rôle des formations superficielles, phréatiques ou éoliennes, depuis le début de l'Holocène. Ces formations superficielles, par leur porosité variable et par leur répartition spatiale, influencent également la vitesse d'écoulement de la nappe phréatique, globalement dans le sens d'un ralentissement.

Références bibliographiques :

- BALLAIS J.-L. (1984). - *Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie)*, ANRT, Lille, 10 microfiches.
- BALLAIS J.-L. (1985). - Zonation et aridification au Quaternaire moyen dans l'Atlas saharien algérien oriental, *Physio-Géo*, Paris, n° 14-15, 125-130.
- BALLAIS J.-L. (1992). - Morphogénèse et géosystèmes holocènes dans l'Atlas saharien oriental et le Bas-Sahara (Algérie, Tunisie), *Würzburger Geographische Arbeiten*, Würzburg, 84, 1-16.
- BALLAIS J.-L. (1993). - Formations éoliennes et phases arides quaternaires dans le Bas-Sahara algéro-tunisien, *Würzburger Geographische Arbeiten*, Würzburg, 87, 107-119.
- BALLAIS J.-L. (1994). - *Mission géomorphologique dans le Grand Erg Oriental (Algérie) du 19 au 25 avril 1993*, Rapport GDR "Sahara", 10 p.
- BALLAIS J.-L., BALLAND V., BENAZZOUZ M.T., COQUE R. (1985). - Recherches préliminaires sur l'évolution quaternaire du Bas-Sahara algérien, in *Pour Fernand Joly*, Paris, CERCG, 29-39.
- BALLAIS J.-L., BENAZZOUZ M.T. (1987). - Sédimentation quaternaire lacustre et éolienne dans le Bas-Sahara algérien, *8th Regional Meeting of Sedimentology.*, Tunis, 54-55.
- BALLAIS J.-L., BEN OUEZDOU H. (1987). - Formes et dépôts du Quaternaire continental de la bordure présaharienne du Maghreb oriental : Essai de synthèse provisoire, *Colloque PICG 210*, Marrakech, 2 p.
- BALLAIS J.-L., BEN OUEZDOU H. (1991). - Forms and deposits of the Continental Quaternary of the Saharan margin of Eastern Maghreb (Tentative Synthesis), *Journal of African Earth Sciences*, Oxford, 12, 1/2, 209-216.
- BEAUZEE G. (1952). - *Oasis d'El-Oued. Etude des Conditions de Renouvellement de la Nappe Phréatique. Compte-rendu de mission effectuée du 19 mars au 3 avril 1952*, Laboratoire du bâtiment et des Travaux Publics, Alger, 31 p.
- CASTANY G. (1967). - *Traité pratique des eaux souterraines*, Paris, Dunod.
- COQUE R. (1961). - *La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique*, A. Colin, Paris, 476 p.
- COQUE R., GACHELIN C. (1975). - Problèmes géomorphologiques du Bas-Sahara algéro-tunisien, *Mélanges G. Viers*, Université Toulouse-Le Mirail, 161-169.
- COSANDEY C., ROBINSON M. (2000). - *Hydrologie continentale*, A. Colin, Paris, 360 p.
- CÔTE M. (1998). - Des oasis malades de trop d'eau ? *Sécheresse*, 9,2, 123-130.
- EDDAOUDI M. (2001). - *Les caractères sédimentologiques des sables des rides de la partie Est du Grand Erg Oriental (entre Bordj-Messaoud et Hassi-Messaoud, Algérie)*, Mémoire DEA, Université de Provence, 56 p. + annexes.
- GARTET J. (1995). - *Paléoenvironnements du Grand Erg Oriental à l'Holocène inférieur et moyen (Lacs du Sahara algéro-tunisien)*, Mémoire DEA, Université de Provence, 66 p.
- MACKEE E.D., ed (1979). - *A study of Global Sand Seas*, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1052, Washington, 429 p.
- MAINGUET M., BORDE JM, CHEMIN MC (1984). - Sédimentation éolienne au Sahara et sur ses marges. Les images Météosat et Landsat, outil pour

l'analyse des témoignages géodynamiques du transport éolien au sol, *T.I.G.R.*, 59-60, 15-27.

MAINGUET M., JACQUEMINET C. (1984). – Le Grand Erg Occidental et le Grand Erg Oriental, *T.I.G.R.*, 59-60, 29-48.

MAINGUET M., CHEMIN M.-C. (1987). – Images satellites et mesures de terrain pour une approche quantitative des systèmes dunaires du Grand Erg Oriental. Relation avec l'ensablement des oasis périphériques, *Stuttgarter Geographische Studien*, 106, 145-160.

NESSON C. (1975). – L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas-Sahara algérien, *Mémoires et Documents*, vol. 17, n^{elle} série, CNRS, Paris, 7-99.

PETIT-MAIRE N., BUROLLET P.F., BALLAIS J.-L., FONTUGNE M., ROSSO J.-C., LAZAAR A. (1991). – Paléoclimat holocène du Sahara septentrional : dépôts lacustres et terrasses alluviales en bordure du Grand Erg Oriental à l'extrême-Sud de la Tunisie, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312, II, 1661-1666.

RECLUS E. (1886). – L'Afrique septentrionale, *Nouvelle Géographie Universelle*, XI, Paris, Hachette, 915 p

WILSON I.G. (1971). – Desert sandflow basins and a model for the development of ergs, *Geographical Journal*, 137, 180-199.

WILSON I.G. (1972). – Aeolian bedforms – their development and origins, *Sedimentology*, 19, 173-210.

Annexes :

Fig. 1 : Etat de la nappe phréatique en 1993

Fig. 2 : La « horra » sur l'image de SPOT (30 mai 1998)

Fig. 3 : Carte de répartition des sables gypseux.

Fig. 4 : Carte de répartition des sables quartzeux

Fig. 5 : Carte de répartition des sables sur concrétions gypseuses

Fig. 6 : Carte de répartition des sables quartzeux sur grès

Fig. 7 : Carte de répartition du grès

Fig. 8 : Carte de répartition des concrétions gypseuses pédologiques

Liste des forages communiquée par la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'El Oued :

Sondage Magrane, mars-mai 1961

Sondage Sidi-Aoun, novembre 1962-janvier 1963

Sondage Nakhla, juillet-août 1977

Sondage Ourmès, août-octobre 1977

Sondage Kouinine, octobre-novembre 1977

Sondage Trifaoui, novembre-décembre 1977

Sondage Chouhadas El Oued, novembre 1980-avril 1981

Sondage Reguiba, janvier-août 1982

Sondage Hobba (4), avril-juillet 1985

Sondage Soualah, mai-septembre 1985

Sondage Guemar, décembre 1986-mars 1987

Sondage Taghzout – Forage n° 1, avril-juillet 1987

Sondage Dokkar, janvier-mai 1988

Sondage Menchia, février-novembre 1993

Sondage Oued Alenda, septembre-décembre 1994

Forage P46, juillet-août 1999

Forage P49, juillet-août 1999

Forage P57, août-septembre 1999

Forage P58, décembre 1999-février 2000

Forage El Ogla 2bis, sans date

Sondage P1-P2, sans date

Sondage P4, sans date

Sondage P6, sans date

Sondage P9, sans date

Sondage P23, sans date

Forage P24, sans date

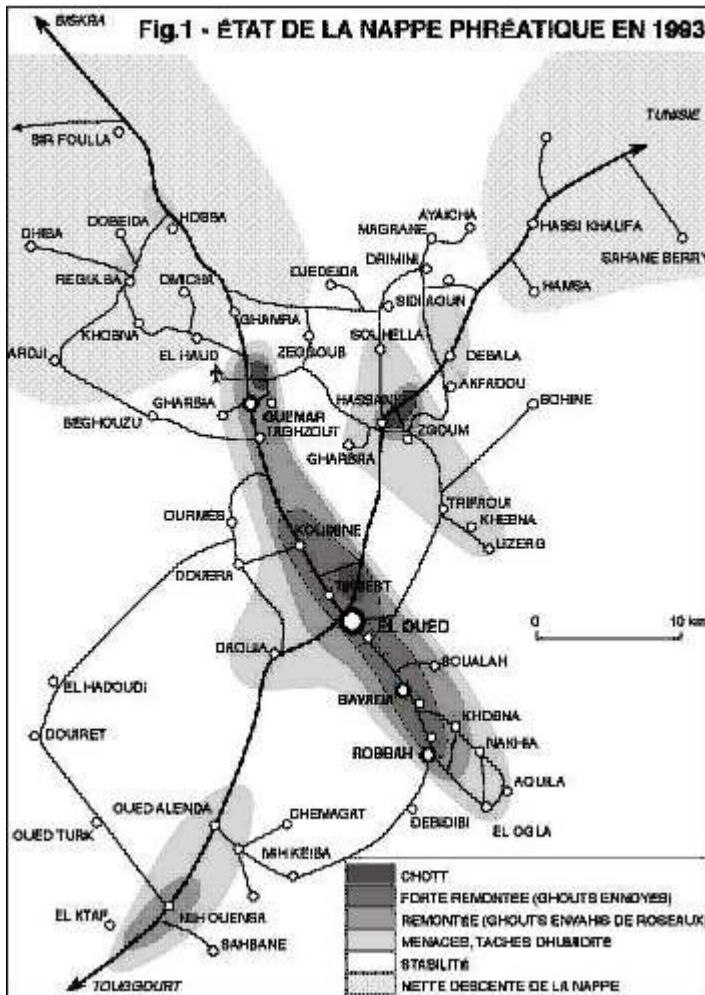
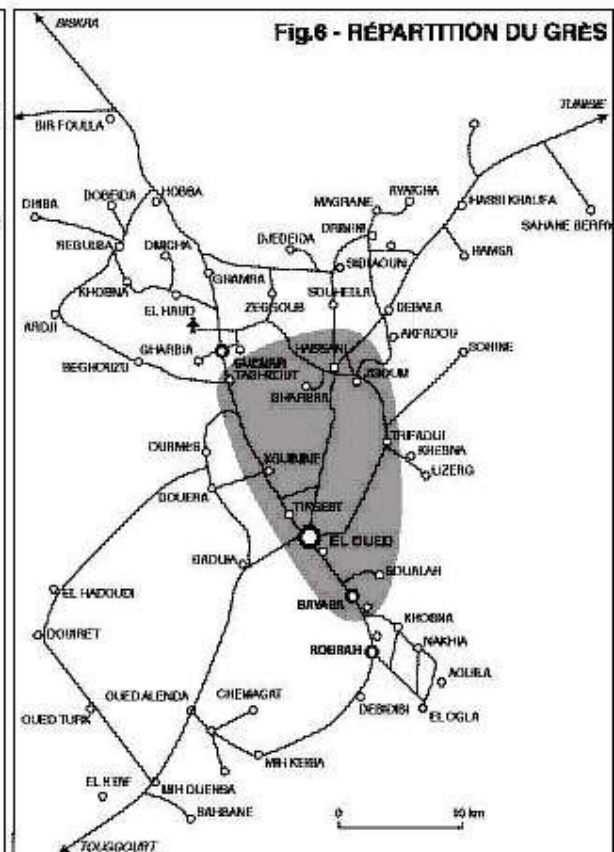
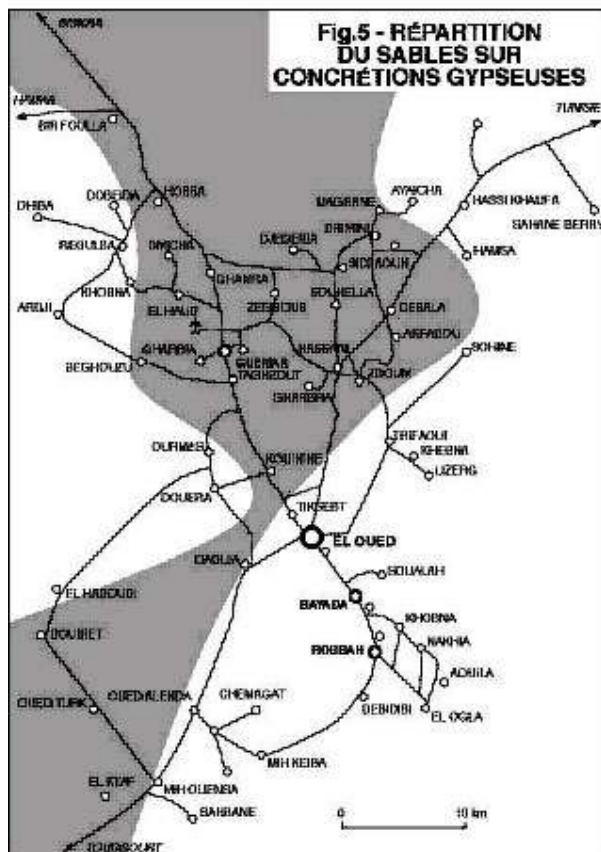
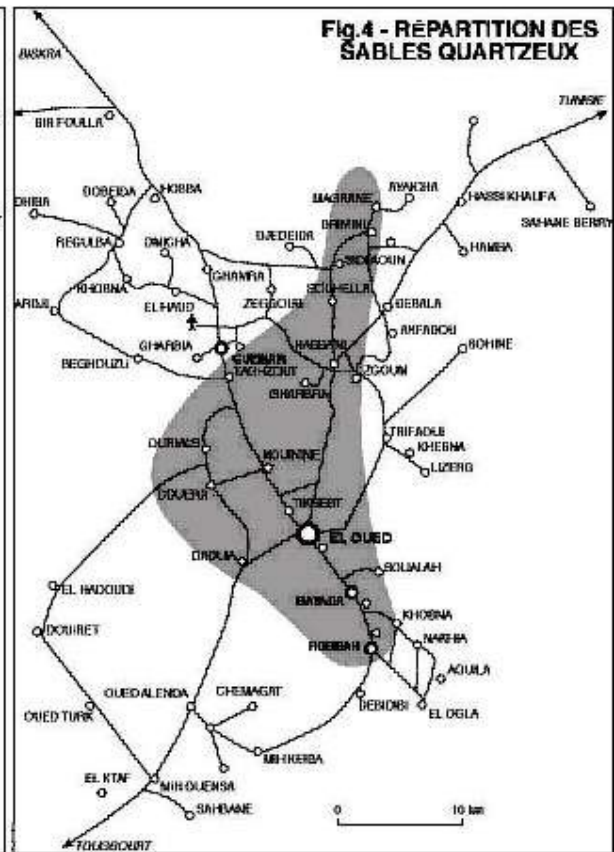
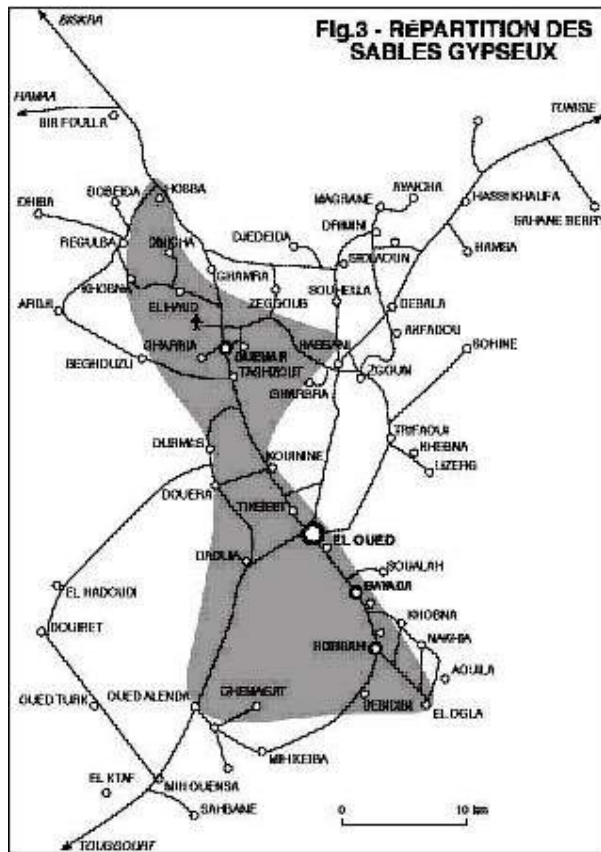




Fig. 2 – LA « HORRA » SUR L'IMAGE DE SPOT (30 mai 1998)



Erratum : sables quartzeux sur grès

