

Analyse comparée et interprétation des caractéristiques granulométriques des systèmes dunaires sahéliens et sahariens de l'est du Niger

Compared analysis of sand particles sizes distribution between saharan and sahelian sand dunes in the oriental part of Niger.

IBRAHIM, S .¹, OUSSEINI, I.¹ & AMBOUTA, K.J - M.²

Abstract : The compared analysis of sand dunes situated from 13 ° to 21 ° of latitude in the oriental part of Niger is limited here to their quartz grains size characterization. The total distributions in their particles sizes confirm that in spite of their strong sensibility to wind erosion, the Saharan ergs could not to be the first sources of Saharan dusts because of the extreme low components in very fine fractions. Although limited to the central portions of the grains size distributions, all the parameters indicate a progressive and rather continuous refinement of the material and the sorting from the hyper arid zone towards the Sahel. It means that in term of sensibility to the wind erosion, the ergs of Sahel are more mobilizable by winds than those of Sahara without the vegetation cover. This tendency of the parameters interpreted only as indicator of sorting by wind action is coherent with models, rather frequent in the literature, of interconnection in transport at the synoptic scale Sahara-Sahel. It is contradictory to some sketches of mineralogical correlations between the ergs which give evidence that contrary to wind dusts, sands are largely autochthon. However, some current reconsiderations of the sensibility of quartz grains to weathering bring some hypothesis to conciliate the discontinuities in heavy minerals (autochthony of sands) with the continuity in the refinement of the grains size. The research perspectives should be focalized on one hand on the understanding of the mechanisms of sand dunes erosion in situ, on the other hand to define more exactly the various mineralogical provinces of sediments as well as their relationship with the bedrocks.

Key words: Sahara, Sahel, ergs, aeolian erosion, particles size distribution, dusts.

Résumé : L'analyse comparée des sables des édifices éoliens situés entre 13° et 21° de latitude Nord dans la partie orientale du Niger est ici limitée à leur caractérisation granulométrique. Les distributions totales de leurs textures confirment que malgré leur forte sensibilité à l'érosion éolienne, les ergs sahariens ne sauraient être les premières sources de lithométéores en raison de leur pauvreté extrême en fractions très fines. Bien que limités aux portions centrales des distributions granulométriques, tous les paramètres indiquent un affinement progressif et assez continu du matériel et du tri de la zone hyper-aride vers le sahel. Cela signifie qu'en terme de sensibilité à l'érosion éolienne, les ergs du Sahel dénudés de leur couverture végétale protectrice sont mobilisables à des seuils de compétence de vents plus faibles que ceux du Sahara. Cette tendance des paramètres interprétée comme indicateur d'usure est cohérente avec les schémas, assez fréquents dans la littérature, d'interconnexions dans les transports à l'échelle synoptique Sahara-Sahel. Elle est en contradiction avec les quelques esquisses de corrélations minéralogiques entre les ergs qui attestent qu'à l'inverse des poussières éoliennes, les sables sont d'une bonne autochtonie. Cependant, certaines reconsidérations actuelles de la sensibilité des grains de quartz à l'usure par altération apportent une hypothèse de conciliation des discontinuités en minéraux lourds (autochtonie) avec la continuité dans l'affinement du matériel. Les perspectives de recherche devraient d'une part approfondir la compréhension des mécanismes d'érosion in situ, d'autre part définir plus précisément les différentes provinces minéralogiques des sédiments ainsi que leurs affiliations pétrographiques.

Mots-clés : Sahara, Sahel, ergs, érosion éolienne, granulométrie, lithométéores.

¹Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université Abdou Moumouni de Niamey Département de Géographie, B.P. 418 Niamey Niger Email mamsani75@yahoo.fr / E-mail: oussissa@refer.ne

²Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey Département Science du sol, B.P. 10 960 Niamey Niger E-mail: abouta.karimou@yahoo.fr

INTRODUCTION

Les mobilisations éoliennes de sables et de poussières sont d'une importance fondamentale dans la compréhension de bien des mécanismes dans les environnements sahariens et sahéliens: évolution des sols, climats et types de temps, fréquences épidémiologiques, etc... La continuité des flux éoliens et des aérosols en suspension est évidente depuis la zone hyper-aride. Mais qu'en est-il des matériaux sableux? La réponse est capitale en ce qu'elle concerne toutes les perspectives d'implantation d'infrastructures (routes, barrages, habitats...) et de protection des ressources naturelles dans le sud, particulièrement avec les tendances observées d'accélération des fréquences de sécheresse et d'accroissement de la pression démographique.

L'évolution actuelle des paysages sahéliens est caractérisée par une accentuation de l'érosion des terres. L'érosion éolienne tient une place remarquable dans cette dynamique, notamment sur les systèmes dunaires fixés. Contrairement à l'érosion hydrique dont les manifestations sont limitées à la saison des pluies, l'action érosive des vents reste efficace tout au long de l'année en raison du caractère semi-aride du climat et de la raréfaction du couvert végétal due aux pressions anthropiques croissantes (défrichements, surpâturages).

L'évaluation de l'érosion éolienne reste cependant assez problématique. Les surfaces peu ou non affectées, celles érodées et celles ensevelies par les dépôts éoliens se répartissent presque toujours en mosaïques d'échelles emboîtées dépendant des facteurs aérodynamiques locaux et des états de surface des sols. Quand les taux de ruissellement sont marqués, les actions de l'eau et celles du vent se relaient de façon interactive. Cette pluralité de facteurs rend l'évaluation de l'ampleur de l'érosion éolienne complexe et difficile. Cependant, l'intensité de l'érosion éolienne peut être approchée indirectement à travers certains indicateurs factoriels tels les paramètres aérodynamiques et des indicateurs d'impacts tels les caractéristiques des états de surface des sols et des sédiments. Les caractéristiques des sédiments ont fait l'objet de normalisations scientifiques assez largement pratiquées.

ECHANTILLONNAGE ET LOCALISATION

L'échantillonnage est réparti dans les ergs de trois sous-zones bioclimatiques du Niger (Fig.1): dans la sous-zone nord-sahélienne autour du Mounio (Gouré) et dans le Manga (Mainé Soroa), à l'est d'Agadez en bordure de la Falaise de Tiguidit et dans le Ténéré en ce qui concerne la sous-zone saharienne aride, et enfin près de Dao Timi (Djado) et Emi Fezzan (Manguéni) dans la sous-zone saharienne hyperaride. Sauf dans le cas des petits édifices de remaniements du Mounio et du Manga, la répartition des prélèvements est raisonnée de façon à comparer systématiquement les flancs exposés au vent d'Harmattan (nord-est à est) à ceux situés sous le vent (ouest à sud-ouest). Les prélèvements sont en majorité des échantillons des surfaces actuellement activées par les vents (niveau 1 ou N1). Ils ont été réalisés à mi-flanc au vent (av) et sous le vent (sv) des édifices dunaires. Dans la zone sahélienne (Manga et Mounio) où les pédogenèses ont été assez poussées pour différencier les profils des corps dunaires, des prélèvements complémentaires sont faits dans les différents niveaux homogènes identifiés. Là, les niveaux 2 (N2 ou horizons B) et 3 (N3 ou horizons BC) ont été faits à la faveur des coupes naturelles révélées par les entailles de ravines sur les flancs des dunes du Manga et du Mounio.

Bien que les sédiments présentent partout une bonne homogénéité spatiale sur chaque édifice, les prélèvements comprennent 3 à 4 échantillons répartis à la même altitude sur chaque flanc. Chaque échantillon contient 1kg de sédiment sur lesquels 100g sont extraits après quartage pour les besoins des analyses granulométriques. Les ergs étudiés se répartissent ainsi entre 10° et 14° de longitude est et 13° et 21°40' de latitude nord.

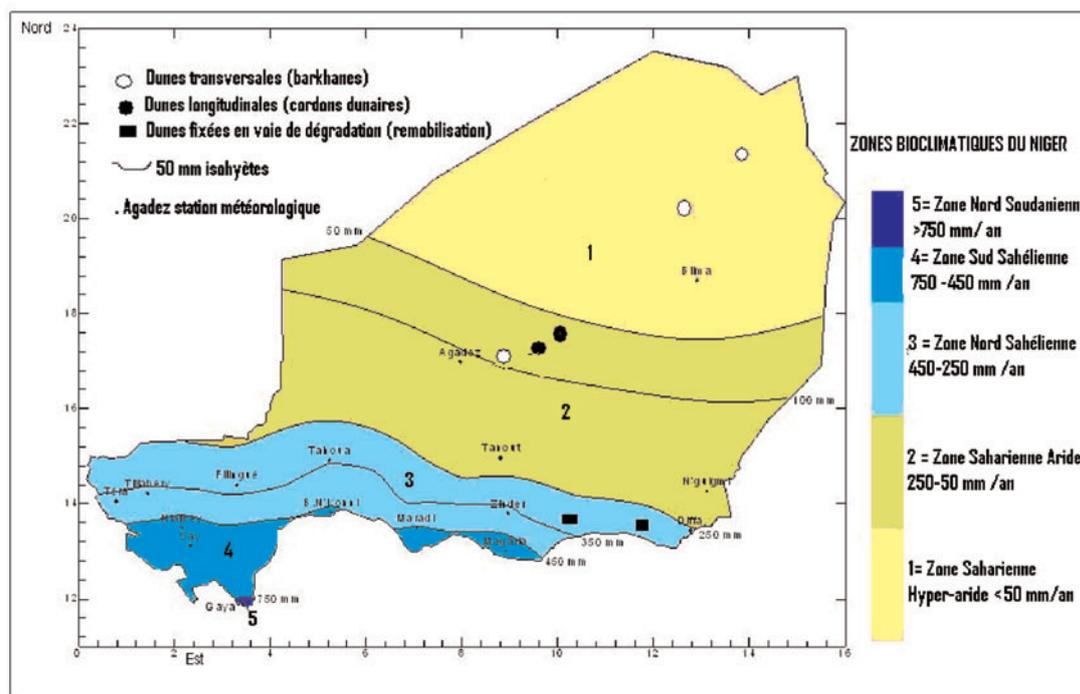


Fig.1: Zones bioclimatiques du Niger et localisation des systèmes dunaires échantillonnés respectivement en zone nord-sahélienne (■), saharienne aride (●) et saharienne hyper-aride (○)

Les formes dominantes des édifices dunaires sont variables d'un erg à un autre et souvent au sein d'un même erg. En synthétisant les types morphologiques d'édifices selon la nomenclature géomorphologique adoptée par MAINGUET et CALLOT (1978), les différentes formes dominantes identifiées sont consignées dans le tableau 1. Il apparaît que les barkhanes sont des formes limitées aux zones arides et hyperarides. A l'inverse, les aklés sont typiques de la zone semi-aride et présentent souvent des édifices piriformes abâtardis par la rugosité liée à la couverture végétale discontinue. Les cordons dunaires se retrouvent aussi bien en zone aride (sif) et semi aride.

Tableau 1: Localisation et caractéristiques morphologiques des ergs étudiés

Région	Latitude	Zone bioclimatique	Etat général de l'erg	Type morphologique
Manga	13° 19' N	Semi aride	Erg fixé, ravivé en surface	Aklé (mixte dunes transversales / longitudinales)
Mounio	14° 02' N			
Tiguidit	16° 56' N	Aride	Erg vif	Barkhanes
Ténéré	18° 14' N			Dune longitudinale (sif)
Ténéré	17° 40' N	Hyper aride	Erg vif	Barkhanes
Djado	20° 56' N			Barkhanes
Manguéni	21° 39' N			Barkhanes

La zone semi-aride reçoit en moyenne (tableau 2: Mainé Soroa et Gouré) plus de 300 mm de précipitations par an. La végétation de savane arbustive aérée typique du Sahel nord permet une fixation relative des dunes. Mais les défrichements agricoles et les surpâturages ont fortement éclairci de larges portions dont les matériaux sableux sont actuellement remobilisés par les vents. On y observe une inversion des crêtes de dunes en saison des pluies, montrant que la pluviosité et le tapis herbacée sont insuffisants pour réduire l'efficacité éolienne des flux de mousson.

La zone aride reçoit moins de 150mm (Agadez). Cette pluviosité permet d'entretenir une végétation de savane arbustive contractée dans les dépressions dans le sud. Dans le

Ténéré, les pluies plus aléatoires n'y autorisent que des mosaïques d'acheb, sorte de pâturage de végétation saharienne temporaire qui pousse après une pluie. La quasi-totalité des terrains sont donc exposés à l'action des vents. L'harmattan est largement dominant. Cependant, en saison de pluies, la mousson peut avoir une efficacité visible par des inversions très épisodiques des crêtes de dunes.

Tableau 2: Pluviosités moyennes (1951-2001, en mm) des stations caractéristiques des différentes zones bioclimatiques (données DMN, Niamey)

Stations	Lat N	Long E	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Mainé Soroa	13.23	11.98	0,0	0,0	0,1	2,7	10,3	32,3	106,9	151,0	55,6	7,4	0,0	0,0	366,4
Gouré	13.98	10.30	0,0	0,0	0,0	1,7	12,4	25,1	102,6	132,7	53,3	2,2	0,0	0,0	330,8
Agadez	16.96	7.98	0,0	0,1	0,2	1,2	6,4	10,7	40,7	62,5	14,0	0,3	0,0	0,0	136,1
Bilma	18.68	12.91	0,1	0,1	0,0	0,5	0,3	1,1	1,8	7,1	1,1	0,2	0,0	0,0	12,1

Dans la zone hyperaride (Bilma) la moyenne de 12,1mm est indicative. Les pluies très aléatoires, proviennent majoritairement de la mousson. Cependant, des apports liés à des flux d'air méditerranéen peuvent être observés en hiver (Janvier- Février). La végétation est limitée aux oasis et les fréquences d'apparition de l'acheb sont plutôt rares. L'Harmattan devient exclusif quant à l'activité éolienne.

PRESENTATION DES RESULTATS

Les caractéristiques granulométriques déterminées sont les plus communes et classiques, dérivées des fréquences relatives et cumulées des différentes classes de tailles de grains (RIVIERE A, 1977). Les fractions fines sont les limons et argiles à tailles inférieures au refus du tamis 0,040mm (Norme AFNOR).

Les systèmes dunaires s'appauvrissent en particules fines limoneuses et argileuses selon le gradient d'aridité qui s'accroît avec la latitude. En proportion, elles varient de plus de 1% dans les systèmes fixés du sud des ergs du Manga et du Mounio, à 0,3-0,5% dans le Ténéré et moins de 0,2% dans le Manguéni (Fig. 1). Des exceptions sont observées. Les enrichissements au nord correspondent à des proximités particulières de sources lithologiques riches en particules fines: sédiments lacustres, affleurements de roches très altérées. Les appauvrissements accentués au sud correspondent à des sites très exposés aux vents ou à des reprises de sables alluviaux.

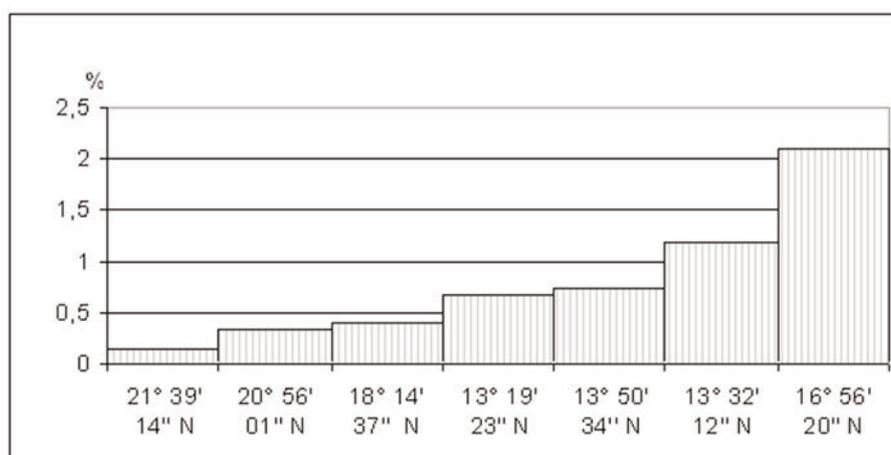


Fig. 2: Proportions en limons et argiles des édifices dunaires selon leur latitude

On note une bonne hiérarchisation croissante des valeurs modales avec la latitude (tableau 3). Au sud, les valeurs modales se situent vers les sables fins (0,125 à 0,315mm), autour des sables moyens dans le Ténéré (0,630mm) et vers les sables grossiers (1mm) sur les plateaux de Djado et Manguéni. Dans les zones aride et hyperaride, des différenciations très nettes opposent les côtés au vent avec des valeurs modales plus grossières à ceux sous le vent présentant des valeurs plus faibles. Le contraste est moins affirmé dans la zone semi aride où les différenciations apparaissent seulement avec les valeurs moyennes. Mais au total les valeurs moyennes ont un gradient latitudinal conforme à cette variation.

Tableau 3: Valeurs modales et moyennes granulométriques

Ergs et types d'édifices dominants	Modes (mm)		Moyennes (mm) (P ₈₄ +P ₁₆)/2	
	Au vent	Sous le vent	Au vent	Sous le vent
Barkhanes				
Manguéni	1,000	0,500	0,904	0,325
Djado	1,000	0,315	0,653	0,240
Ténéré	0,250 à 0,630		0,325	0,168
Dunes longitudinales et aklé				
Ténéré	0,630	0,250	0,584	0,204
Mounio / remaniements N1*	0,315		0,228	
N2*	0,315		0,332	
Manga / cordon dunaire	0,125 à 0,250		0,163	0,139
Manga / remaniements N1*	0,125 à 0,250		0,163	
Manga N2*	0,125 à 0,250		0,153	
Manga N3*	0,125 à 0,250		0,151	

* N1 (niveau 1) correspond aux horizons pédologiques de surface classés ici A, N2 aux horizons les plus argiliés classés B et N3 aux horizons de base classés BC discriminés principalement par les décolorations attribuées à l'action des eaux souterraines.

Concernant les deux ergs fixés du sud, les moyennes montrent un matériel de surface plus fin qu'en profondeur dans le Mounio et une tendance inverse dans le Manga. Les édifices de remaniements éoliens actuels (horizon A) du Mounio ainsi que les niveaux dunaires sous-jacents (horizon B, BC) sont aussi plus grossiers que dans le Manga.

Les barkhanes dans la zone hyperaride (Manguéni, Djado) ont les tris les plus poussés (Fig.3 et tableau 4) avec une tendance marquée vers les éléments plus grossiers, notamment

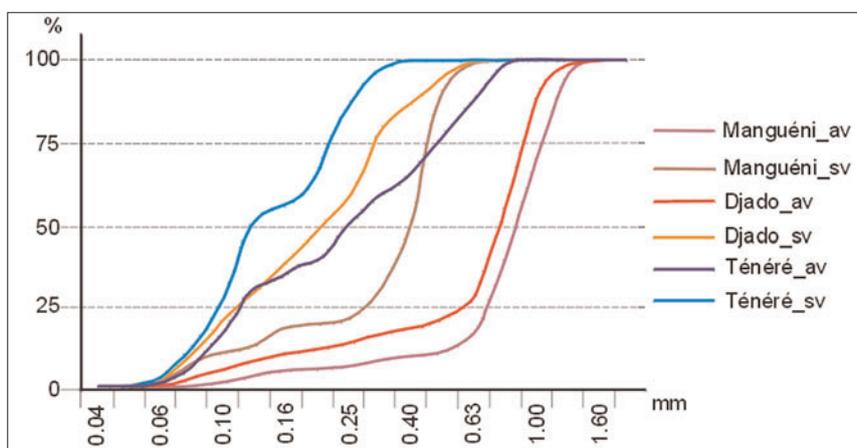


Fig. 3: Exemples de courbes de fréquences cumulées des sables de surface des barkhanes (av = au vent,sv = sous le vent)

sur les versants au vent qui sont aussi mieux triés que ceux sous le vent. Le tri est moins bien poussé dans les barkhanes situées sur la bordure du Ténééré au contact de l'Air, bien que les stocks de sables y soient plus fins.

Les dunes longitudinales du Ténééré (tableau 4 et Fig. 4) ont des caractéristiques proches des barkhanes avec une déviation encore plus accentuée vers les sables fins. Celles du Manga prennent des caractères convergant plutôt vers les parties sous le vent des cordons dunaires du Ténééré avec un tri encore plus reporté vers les sables fins. Dans les deux ergs du Ténééré et du Manga, les dunes longitudinales se distinguent par des oppositions plus marquées entre versants au vent et sous le vent et le meilleur tri des sables sous le vent devient caractéristique.

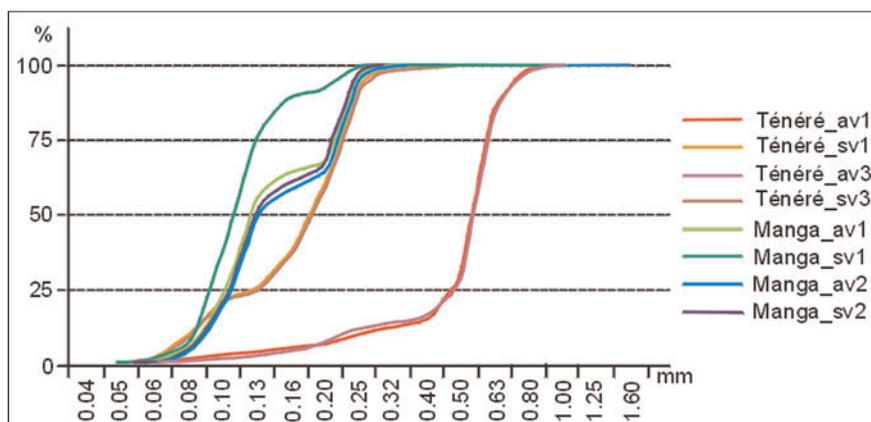


Fig. 4 : Exemples de courbes de fréquences cumulées des sables de surface des dunes longitudinales (av = au vent, sv = sous le vent)

Concernant les remaniements actuels des zones d'aklé du sud (tableau 4 et Fig. 5), l'erg du Mounio se distingue par un étalement des classes granulométriques vers les sables grossiers. Ceci s'y traduit par un moins bon tri en surface. Dans le Manga, le tri est bien poussé (mieux que dans le Ténééré) et nettement dévié vers les sables fins et limons grossiers. Ce tri est meilleur en surface (dépôts actuels) et en profondeur (horizon BC) que dans les horizons relativement enrichis en plasma pédologique (AB et B).

Tableau 4: Paramètres du degré de tri des différents matériaux

Ergs et types d'édifices dominants	Sorting index ($\sqrt{P_{75}/P_{25}}$)		Standard deviation ($(P_{84}-P_{16})/2$)	
	Au vent	Sous le vent	Au vent	Sous le vent
Barkhanes				
Manguéni	1,250	1,261	0,249	0,155
Djado	1,234	1,465	0,313	0,151
Ténééré	1,565	1,506	0,225	0,083
Dunes longitudinales et aklé				
Ténééré	1,439	1,366	0,193	0,091
Manga / cordon dunaire	1,448	1,303	0,072	0,049
Mounio / remaniements N1	1,445		0,107	
N2	1,4		0,161	
Manga / remaniements N1	1,319		0,028	
Manga N2	1,358		0,059	
Manga N3	1,343		0,056	

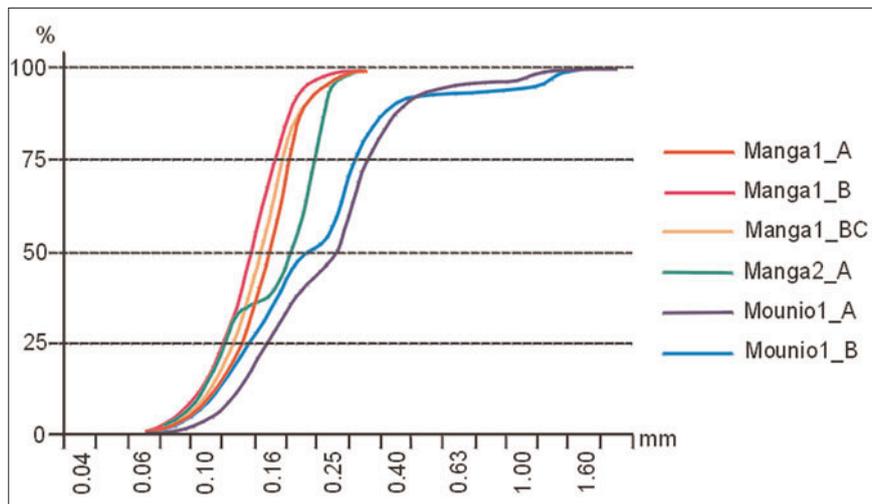


Fig. 5 : Exemples de courbes de fréquences cumulées des sables des dunes des akés du Manga et du Mounio (A= remaniements de surface, B= sol en place (horizon B), BC = horizon BC à action de nappe)

DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES

Ces résultats préliminaires avalisent les hypothèses largement étayées que les ergs ne sont pas les premières sources de poussières éoliennes depuis le Sahara (HERRMANN *et al.*, 1997; OZER, 2002), tant ils sont démunis en ces fractions fines. Les sources de poussières doivent être localisées davantage dans les anciennes cuvettes lacustres et les secteurs de roches fortement altérées et dénudées pour le Sahara mais aussi et surtout dans la zone sahélienne.

La progression spatiale apparente de l'évolution granulométrique des sables depuis le Djado et le Manguéni jusqu'au Manga, interprétée comme indicateur d'usure liée au transport suggérerait une continuité interzonale du transport de sables entre le Sahara et sa bordure sahélienne. Des schémas de budgets sédimentaires déduits en partie de l'échelle d'observation météorologique (MAINGUET 1977 et 1996) mais aussi les observations sur le terrain de connections entre certains ergs (MAINGUET et CALLOT 1974, MAINGUET et CALLOT 1978, STENGEL 1992 a et b) avaliseraient cette hypothèse. Cependant les corrélations minéralogiques esquissées entre ergs (PFEIFFER 1992), aussi bien que celles entre les ergs et le substratum géologique local (OUSSEINI 1986) indiquent plutôt une autochtonie des stocks de sables.

Cette dernière argumentation serait cohérente avec les résultats ci-dessus si l'on interprétait la continuité de l'évolution granulométrique non pas comme un fait lié à un transport continu du nord au sud, mais comme un héritage de contextes d'altération progressivement différenciés, plus hydrolysants au sud et quasi limités à la désagrégation granulaire au nord. Les reconsidérations actuelles de la sensibilité désormais avérée des éléments siliceux à l'altération (POPE G.A. 1995; McFARLANE *et al.* 2007) appuient cette hypothèse. Les différenciations granulométriques constatées entre les formations dunaires sur le socle (Mounio) et celles du bassin du Tchad (Mainé Soroa) dans la zone sahélienne tendent aussi à la renforcer.

Une meilleure connaissance des schémas de mobilisation éolienne des sables aux échelles régionale et zonale nécessite à la fois des suivis in situ sur les moyen et long termes mais aussi des identifications minéralogiques spatialement plus fines des provinces sédimentaires (particulièrement des stocks de sables fins et moyens plus mobilisables) et leurs affiliations lithologiques.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent au Programme de Lutte contre l'Ensamblage (Mainé Soroa), au Programme de Recherche sur l'Ensamblage des Cuvettes (Gouré) et à l'Institut de Géographie de l'Université de Würzburg qui ont appuyé l'échantillonnage et le traitement des données.

BIBLIOGRAPHIE

- HERRMANN L., STAHR K. & SPONHOLZ B. 1997: Identifizierung trockenzeitlicher und regenzeitlicher Staubquellen im östlichen Westafrika. *Würz. Geogr. Arbeiten*, 92: 189-211
- MAINGUET M. 1977: Analyse quantitative de l'extrémité sahélienne du courant éolien transporteur de sable au Sahara nigérien. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 285 : 1029-1032.
- MAINGUET M. 1996: The Saharo-Sahelian global wind action system: one facet of wind erosion analysed at a synoptic scale. In "Wind erosion in West Africa: The problem and its control" Proceedings of International Seminar, Stuttgart-Hohenheim, Margraf Verlag, pp. 7-22.
- MAINGUET M. & CALLOT Y. 1974. Air photo study of typology and interrelations between the texture and structure of dune patterns in the Fachi-Bilma Erg, Sahara, *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*,20: 62-68.
- MAINGUET M. & CALLOT Y. 1978. L'Erg de Fachi-Bilma (Tchad-Niger) contribution à la connaissance de la dynamique des Ergs et des dunes des zones arides chaudes. CNRS Mémoire et documents. Nouvelle série 18, Paris, 184 p.
- McFARLANE M.J., COETZEE, S.H., KUHN, J.R., VANDERPOST C.H.M. & ECKARDT, F.D. 2007. In situ rounding of quartz grains within an African surface weathering profile in North West Ngamiland, Botswana. *Z. Geomorph. N.F.*, 51, 3: 269-286
- OUSSEINI I. 1986. Etude de la répartition des formations quaternaires et interprétation des dépôts éoliens dans le Liptako Oriental (Rép. Du Niger). Thèse 3e cycle, Paris 6, 233 p.
- OZER P. 2002. Les lithométéores au Niger: mise au point. *Würz. Geogr. Arbeiten*. 97: 7-32.
- PFEIFFER Lothar 1992. Heavy Mineral analysis of Dune sands of Africa and Central Asia (SouthSahara, Sahel, Namib, Taklamakan). *Würz. Geogr. Arb.* 84: 347-359.
- POPE G.A. 1995: Newly submicron-scale weathering in quartz: geographical implications. *Profess. Geografer*, 47, 4 : 375-389.
- RIVIERE A. 1977. Méthodes granulométriques: techniques et interprétations. Masson, Paris New York Barcelone, Milan, 167 p.
- STENGEL I. 1992 a. Zur äolischen Morphodynamik von Dünen und Sandoberflächen. *Würz. Geogr. Arb.*, Heft 83, 363 p.
- STENGEL I. 1992 b. Morphodynamic types of longitudinal dunes in the Ténéré desert and the Erg of Bilma (Republic of Niger). *Würzb. Geogr. Arb.* 84: 147-168.