

## SEDIMENTOLOGIE ET MINERALOGIE DE LA SEQUENCE SEDIMENTAIRE «MALA» SITUEE A LANZAROTE (ILES CANARIES, ESPAGNE): LES SIGNIFICATIONS PALEOCLIMATIQUES

B. Damnati<sup>1</sup>, M. Maatouk<sup>1</sup>, J. Meco<sup>2</sup> et N. Petit-Maire<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Natural Resources and Risks Observatory (NARRO), FST-Tanger, B.P 416, Tanger, Morocco. b\_damnati@yahoo.fr*

<sup>2</sup> *Universidad Las Palmas Gran Canaria (ULPGC), Las Palmas, Spain*

<sup>3</sup> *Laboratoire de Géographie Physique. Université de Provence, Aix-en-Provence, France*

**Resumen:** Lanzarote es una isla volcánica que se localiza a 125 km al oeste de la costa marroquí. Su clima es árido con una precipitación anual de 140 mm y una temperatura media aproximada de 20 °C, con el extremos de 40 y 5,4 °C. La isla Lanzarote, como la de Fuerteventura, se caracteriza por la importancia de las formaciones sedimentarias cuaternarias: las terrazas marinas, depósitos de carbonatos, dunas y paleosuelos. Estas formaciones se prestan perfectamente al estudio de variaciones climáticas cuaternarias (Petit-Maire *et al.*, 1987; Meco *et al.*, 1992; Damnati *et al.*, 1996). Al norte de Lanzarote, la secuencia «Mala» ha sido seleccionada para analizar varios parámetros sedimentológicos y mineralógicos (granulometría, carbonatos, mineralogía de arcillas, MEB). Esta secuencia ha sido dividida en tres unidades litológicas que pueden correlacionarse con tres grandes períodos paleoclimáticos. El estudio de alta resolución de la unidad superior basado en la mineralogía de arcillas ha permitido de poner en evidencia una alternancia de tres cortas fases húmedas separadas por otras dos áridas. Para situar cronológicamente todas estos períodos y fases paleoclimáticos se han obtenido algunas edades preliminares, que serán complementadas con otras que están en proceso.

**Palabras clave:** Secuencia «Mala», Sedimentología, Mineralogía de arcillas, reconstrucciones paleoclimáticas, Lanzarote, Islas Canarias.

**Résumé:** Lanzarote est une île volcanique. Elle est située à 125 km de la côte marocaine. Elle caractérisée par un climat aride. La moyenne annuelle des précipitations est de 140 mm. La température moyenne est de 20 °C. L'île de Lanzarote comme celle de Fuerteventura se caractérisent par l'importance des formations sédimentaires quaternaires: dunes, encroûtements calcaires, cônes de déjection, paléosols et des terrasses marines. Elles se prêtent donc parfaitement à l'étude des variations climatiques quaternaires (Petit-Maire *et al.*, 1987; Meco *et al.*, 1992 ; Damnati *et al.*, 1996). Au Nord de Lanzarote, la séquence «Mala» a été échantillonnée. Plusieurs paramètres sédimentologiques et minéralogiques (granulométrie, carbonates, minéralogie des argiles et MEB) ont été étudiés. Cette séquence «Mala» a été subdivisée en trois unités lithologiques. Ces trois unités lithostratigraphiques sont corrélées avec trois grandes périodes paléoclimatiques. L'étude à haute résolution de l'unité supérieure en se basant sur la minéralogie des argiles a permis de mettre en évidence une alternance de trois courtes phases humides et de deux courtes phases arides. Des ages préliminaires ont été obtenus et d'autres sont en cours pour mieux caler dans le temps ces périodes et phases paléoclimatiques.

**Mots clés:** Séquence sédimentaire «Mala», Sédimentologie, Minéralogie des argiles, reconstitutions paléoclimatiques, Lanzarote, Îles Canarias.

Damnati, B., Maatouk, M., Meco, J. et Petit-Maire, N. (2005): Sédimentologie et minéralogie de la séquence sédimentaire «Mala» située a Lanzarote (îles Canarias, Espagne): les significations paléoclimatologies. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (3-4): 179-185

Lanzarote fait partie des îles Canarias situées par 28°N et 16° W, à environ 125 km de la côte marocaine, face au Cap de Tarfaya (Fig. 1). Elle est éloignée du domaine méditerranéen et exposée de plein fouet au courant froid des Canaries. Elle constitue la région la plus occidentale du domaine climatique saharien. L'île de Lanzarote est une île volcanique avec six épisodes éruptifs depuis le Miocène jusqu'à un épisode sub-actuel (Meco *et al.*, 1992; Coello *et al.*, 1992). Le volcanisme actif permet souvent de corréliser des dépôts continentaux

aux nombreuses coulées datables par K/Ar (Coello *et al.*, 1992). Les dépôts sédimentaires récents à Lanzarote consiste en des sables éoliens compactés par un ciment calcaire, de vastes cônes alluviaux et des dépôts de fonds de vallées «caliches» atteignant parfois plusieurs mètres d'épaisseur (Fuster *et al.*, 1968). Plusieurs coupes ont révélé l'existence de dépôts éoliens de forte puissance alternant avec des paléosols très fossilifères contenant des coquilles de mollusques et des colonies de nids d'Hyménoptères (Meco et Stearns, 198; Meco et Pomel, 1985; Pomel

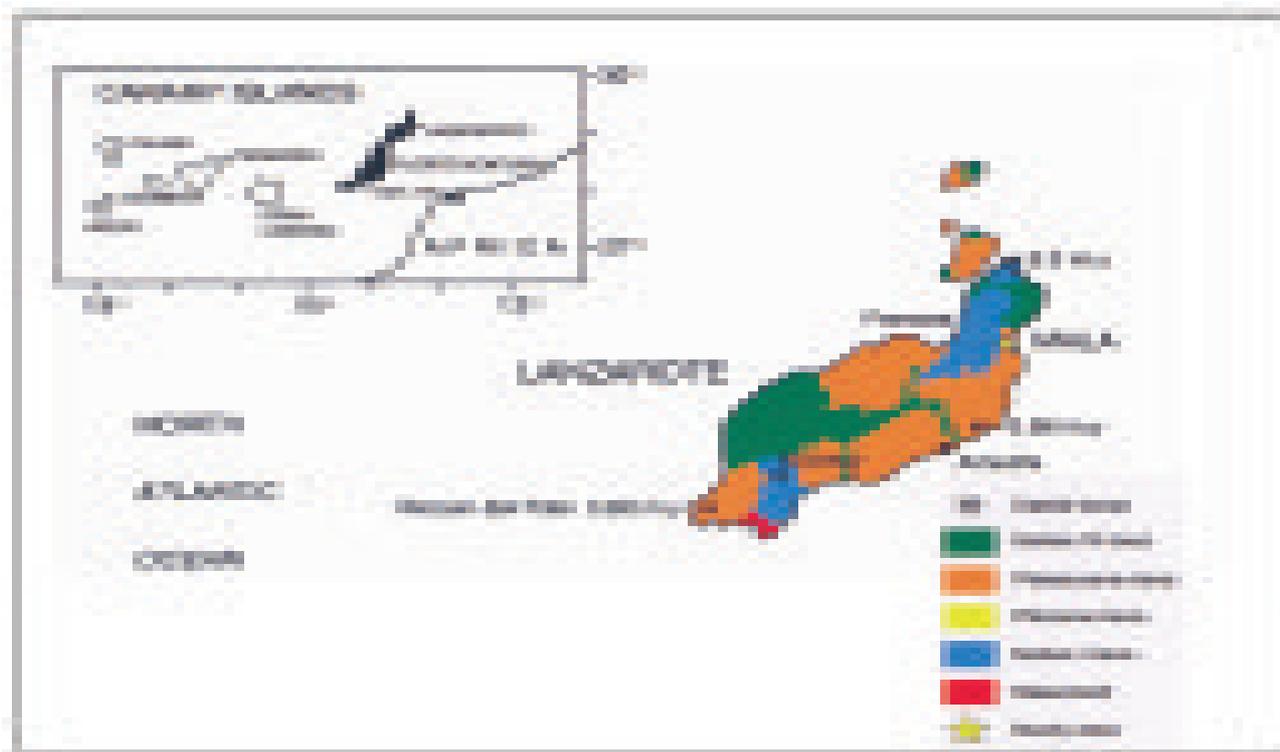


Figure 1.- Géologie et localisation géographique de site d'étude dans l'île Lanzarote (Iles Canaries, Espagne) (Coello *et al.*, 1992 simplifié).

*et al.*, 1985; Pomel, 1986; Petit-Maire *et al.*, 1986; Meco et Petit-Maire, 1986; Petit-Maire *et al.*, 1987; Magaritz et Jahn, 1992; Damnati *et al.*, 1996; Damnati, 1997).

Le climat des îles Canaries est complexe. Il est conditionné par le courant froid des Canaries qui réduit les précipitations et règle la température, situation comparable à celle du Sahara occidental, du Namib et de l'Atacama, induisant une aridité importante.

A Lanzarote, la température moyenne annuelle est de 20 °C. La précipitation moyenne annuelle est d'environ 140 mm. Tout au long de l'année, mais surtout durant l'été et l'automne, des invasions d'air saharien touchent l'île. Les températures peuvent alors atteindre plus de 40 °C. Les masses d'air très sèches sont chargées de poussières en suspension, véritables «vents de sable» sahariens (Marzol, 1984). Ces conditions climatiques sont proches de celles du Sud marocain: à Tiznit (29°42'N), la température annuelle moyenne est de 19,3 °C et à Goulmine (29°59'N), les précipitations atteignent 119,5 mm (Dubief, 1968).

Ainsi une mission de terrain a été organisée à Lanzarote. Une coupe (la séquence «Mala») située dans une carrière au nord de l'île (Fig. 1) a été échantillonnée. L'objectif du présent travail est l'utilisation des paramètres sédimentologiques et particulièrement la minéralogie des argiles comme indicateur des variations paléoclimatiques et paléoenvironnementales à haute résolution dans cette région sous double influence climatique (atlantique et saharienne). Elle se prête donc parfaitement à l'étude des variations climatiques récentes et

constitue une région clef pour l'étude des changements globaux.

## Méthodes

L'étude granulométrique a été faite par tamisage. La calcimétrie a été faite par le calcimètre Bernard. L'analyse des minéraux argileux, par diffractométrie des rayons X, a été faite à l'aide d'un diffractomètre équipé d'un tube anticathode de Cobalt (800-900W) et d'une constante de temps de 4 secondes. La vitesse de rotation du goniomètre est de 1° par minute ; la zone angulaire explorée de manière constante est comprise entre 3° et 32°. L'étude quantitative des minéraux argileux est basée sur la hauteur des pics mesurée après lissage du bruit du fond (Chamely, 1971, 1979, Holtzapffel, 1985). Certains échantillons choisis ont été lavé à l'eau distillée et séparée en deux fractions (inférieure et supérieure à 63 µm) ont été observé au microscope électronique à balayage couplé à la microsonde.

## Les principaux résultats

### Description lithologique de la séquence «Mala»

L'épaisseur de la coupe «Mala» est d'environ 22 m (Fig. 2). Trois zones lithologiques sont mises en évidence :

- Une zone inférieure (2 m d'épaisseur) grise silto-sableuse riche en coquilles d'Helicidae;
- Une zone médiane (14 m d'épaisseur) sableuse parfois stratifiée;

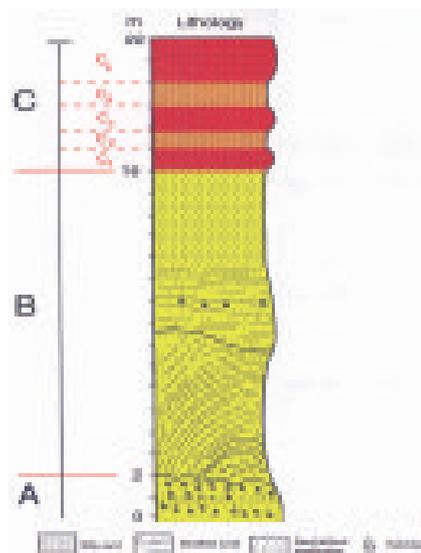


Figure 2.- Log lithostratigraphique de la séquence «Mala».

- Une zone supérieure (6 m d'épaisseur) composée de trois horizons de sols rouges alternant avec deux horizons de sols bruns.

#### Les carbonates

Les teneurs en carbonates de calcium des sédiments de cette coupe suivent la même distribution des fractions granulométriques. La fraction grossière est la plus riche en carbonate (90 à 100 %). Suivi de la fraction silteuse avec 60 à 90 %. Les teneurs restent constantes au niveau de l'unité médiane (Fig. 3). Elles sont très variables au niveau de l'unité A et particulièrement au niveau de l'unité supérieur B.

#### La granulométrie

La fraction grossière ( $> 125 \mu\text{m}$ ) est la plus importante (Fig. 3). Elle constitue 70 à 100 % de la fraction totale particulièrement dans l'unité lithologique B. La fraction silteuse ( $< 63 \mu\text{m}$ ) augmente dans l'unité inférieure et supérieure (A et C). Dans l'unité médiane (B) la fraction grossière reste constante et constitue presque 100% de la fraction totale. Dans l'unité supérieure (C), une augmentation de la fraction silto-argileuse est observée du bas vers le haut des sols (C1-C2 et C3-C4).

#### Les argiles

La smectite, l'illite et la kaolinite sont les argiles présentes dans les sédiments de la séquence «Mala» (Fig. 4). La smectite est la plus abondante (50-90 %), suivi par l'illite (20-80 %) et la kaolinite (0-40 %). Les unités A et C montrent une forte variation du pourcentage des argiles, alors que l'unité médiane (B) est riche particulièrement en illite. La smectite et la kaolinite sont absentes dans cette dernière unité.

L'étude détaillée de l'unité supérieure (C) montre l'existence de cinq sous unités lithologiques (Fig. 5) :

- La sous unité c1: avec beaucoup de smectite (environ 80%) sauf au niveau 16,5 m où c'est l'illite et la kaolinite qui dominent. Le rapport illite+kaolinite/smectite est très variable.
- La sous unité c2 : avec plus d'illite et de kaolinite par rapport à la smectite. Le rapport illite+kaolinite/smectite est toujours supérieur à 1.
- La sous unité c3 : avec beaucoup de smectite (entre 65 et 95%) et presque sans illite et kaolinite. Le rapport illite+kaolinite/smectite est inférieur à 1.

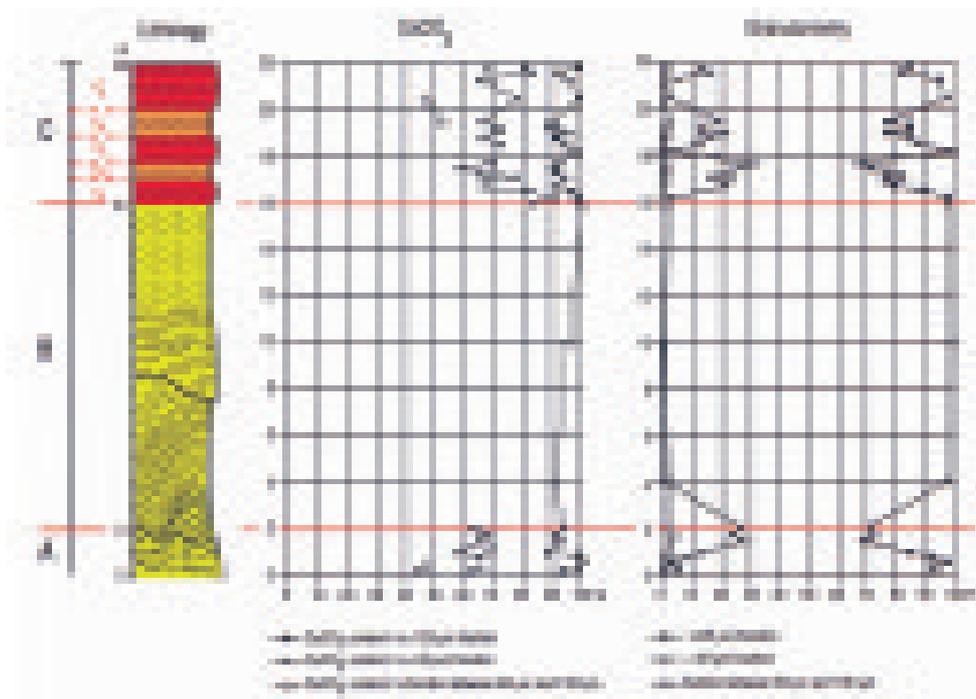


Figure 3.- Distribution de  $\text{CaCO}_3$  et de la granulométrie des sédiments de la coupe «Mala».

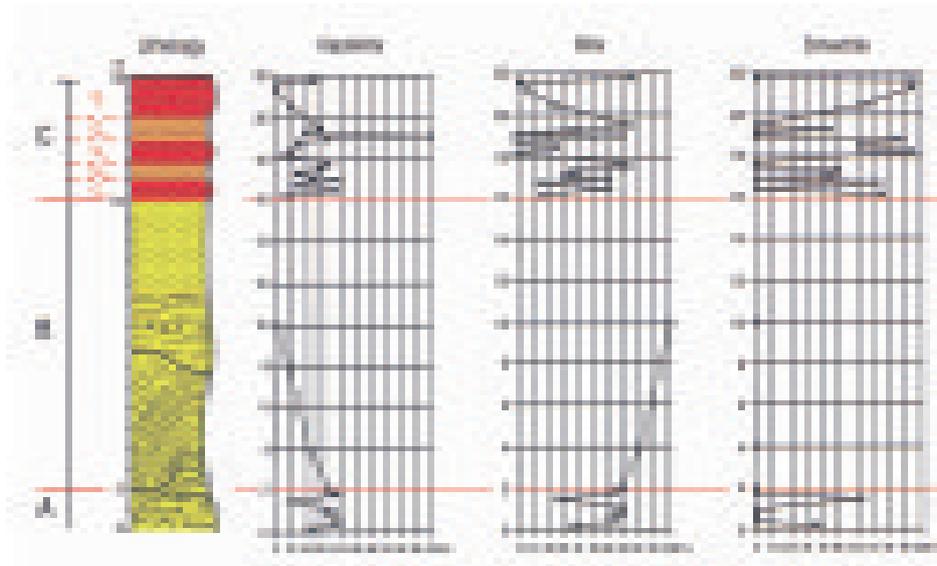


Figure 4.- Distribution des argiles des sédiments de la séquence «Mala» en fonction de la profondeur.

- La sous unité c4 : retour à des pourcentages élevés en illite et kaolinite par rapport à la smectite. Le rapport illite+kaolinite/smectite est toujours supérieur à 1.

- La sous unité c5 : la diminution progressive de l'illite et de la kaolinite est accompagnée d'une augmentation de la smectite. Le rapport illite+kaolinite/smectite est inférieure à 1 sauf au sommet.

En plus des analyses granulométriques, minéralogiques et l'étude des carbonates; plusieurs échantillons des sédiments de la séquence «Mala» ont été observés au microscope électronique à balayage. Parfois, des analyses chimiques par microsonde ont été faites. En plus des limons calcifiés et les sables biogéniques, certains

échantillons renferment quelques grains de quartz dont les tailles varient entre 20 et 300 µm. Leur forme peut être soit allongée soit arrondie dont certains translucides et opaques. La surface du quartz montre des traces de corrosion éolienne (Fig. 6A). Parfois les grains de quartz sont entourés d'une fine pellicule de minéraux allongés pouvant correspondre à des fibres de palygorskite. Les carbonates sont surtout polycristallins et riches en calcium. Ils se présentent sous forme automorphe ou xénomorphes de petite taille (60 µm) ou de grande taille (300 à 400 µm). La fraction la plus grossière est composée de fragments de coquilles carbonatés (Fig. 6B). Certains carbonates présentent des formes géométriques à leur surface et aussi des pores. Ces derniers résultent de l'action éolienne post-dépôt.

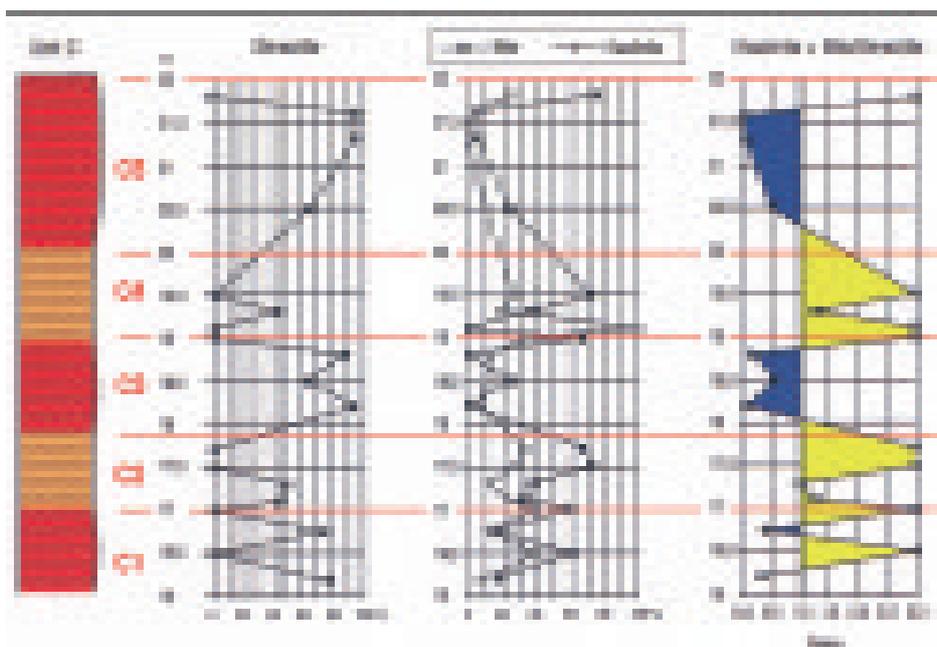
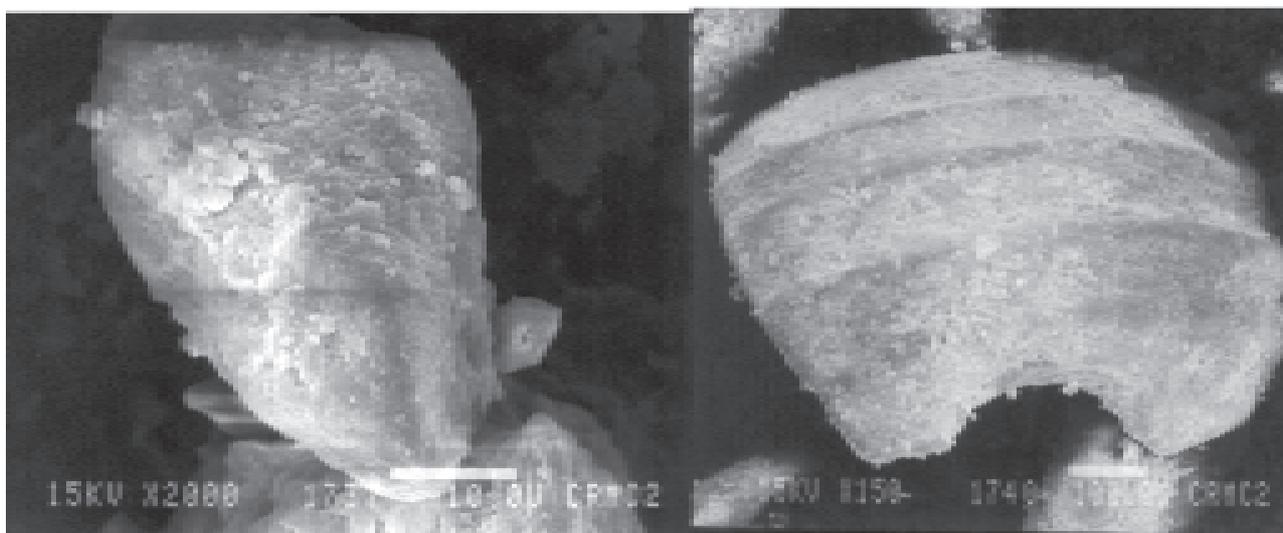


Figure 5.- Etude à haute résolution des minéraux argileux des sédiments de l'unité supérieure (C) de la séquence «Mala» (la lithologie représente une alternance entre paleosol rouge et brun).



**Figure 6.-** A) Grain de quartz avec des traces d'éolisation. Quartz with aeolian choc marks (SEM), B) Un type de carbonate de la fraction grossière (SEM).

Les grains de quartz et les carbonates sont souvent recouverts d'une fine pellicule superficiels (Fig. 6a et b) correspondant soit à des particules argileuses soit à de fibres de palygorskite ou de la silice amorphes ce qui représente de bons indicateurs d'éolisation.

### Discussions

La granulométrie est parfaitement corrélable à la lithologie. Dans les niveaux de sols la fraction fine est la plus importante. Dans les autres niveaux lithostratigraphiques, c'est la fraction grossière qui domine.

Les sédiments de la section «Mala» sont riches en carbonates de calcium (calcite). Les niveaux argileux sont pauvres en carbonates alors que les niveaux sableux en sont très riches (encroûtement calcaire). Dans les paléosols les teneurs en carbonates diminuent par rapport aux niveaux sableux.

L'origine et les conditions de formation des argiles sont diverses. Ainsi, l'illite se forme sous des climats froids et /ou secs (Millot, 1964; Paquet, 1969; Chameley, 1971). Elle provient de l'altération des roches silicatées. La kaolinite est la plus abondante sous un climat chaud et humide, le ruissellement ou le drainage assure ainsi l'évacuation des ions. Ce type d'argile provient dans une large mesure des sols quaternaires développés sous le climat africain. La smectite se forme en grande quantité sous l'action d'un climat chaud caractérisé par une alternance de phases humides et sèches (Chameley, 1971).

Les sables des dunes anciennes dont l'encroûtement de la calcite s'est développé (fort pourcentage de  $\text{CaCO}_3$ ), présentent généralement des proportions élevées en smectite. Ces faits, joints au caractère typiquement détritique des illites et aux variations parallèles des illites et kaolinites, et suggèrent qu'une part importante de la smectite est d'origine locale, et liée notamment à la pédogenèse. Une partie du

magnésium de la smectite des encroûtements pourrait provenir de l'évolution des calcites magnésiennes en calcites. Quoi qu'il en soit, le rapport smectite/illite + kaolinite apparaît en gros proportionnel à l'importance des genèses argileuses in situ. Cette hypothèse implique une constance minéralogique dans les apports argileux in situ et implique aussi une constance minéralogique dans les apports argileux par voie éolienne. Ceci a été suggéré pour les épaisses séries loessique des Matmata, dans le Sud Tunisien (Coudé-Gaussen *et al.*, 1982).

L'ensemble illite+kaolinite est un bon marqueur des apports éoliens, alors que l'augmentation de la smectite montre l'action de l'altération locale (Fig. 4).

Ainsi, les trois unités lithostratigraphiques de la séquence «Mala» sont corrélées avec trois périodes climatiques. L'unité inférieure avec un mélange de dépôts éoliens et des argiles (grande variation des teneurs en illite et kaolinite des sédiments). Cette unité correspond à une période climatique très instable. L'unité intermédiaire représente une dune fossile typique avec essentiellement de l'illite. Cet intervalle correspond probablement à une période climatique aride. L'unité supérieure est représentée par une alternance de paléosols matures et de paléosols immatures riches en sédiments éoliens. Cette période est globalement humide. L'étude à haute résolution de la dernière unité a révélé la présence de cinq courtes phases climatiques (Fig.5):

- Une courte phase relativement humide (c1) avec une forte variation des teneurs en argiles.
- Une courte phase aride (c2) avec une forte teneur en kaolinite et illite par rapport à la smectite.
- Une nouvelle courte phase humide (c3).
- A nouveau une phase aride (C4) relativement plus longue que la précédente.
- En fin une phase humide (C5) avec retour à des conditions de plus en plus arides au sommet de la séquence.

La datation de ce type de dépôt sédimentaire est très difficile. Cependant une tentative a été faite par la méthode U/Th. Deux âges préliminaires ont été obtenus entre 15 et 17 m de profondeur (base de l'unité C soit c1):  $94980 \pm 3960$  ans B.P et  $138300 \pm 5020$  ans B.P. Ces âges seraient du Pléistocène supérieur et correspondraient à des périodes interglaciaires (Barnola *et al.*, 1987; Jouzel *et al.*, 1987) favorables à la formation des paléosols. Mais il faut rester prudent en attendant de nouvelles datations.

Les nombreuses observations micromorphologiques et au microscope électronique à balayage indiquent une origine éolienne et par conséquent l'allochtonie d'une partie des sédiments de la section «Mala». Cette influence éolienne est d'origine saharienne (Coudé-Gaussen, 1981; Whalley et Smith, 1981; Mc Tainsh et Walker, 1982; Chameley *et al.*, 1987; Rognon *et al.*, 1989). Cette hypothèse est confirmée par l'étude des poussières actuelles d'origine africaine (Coudé-Gaussen et Rognon, 1988) et qui présentent les mêmes façonnements et les mêmes traces de chocs que certains quartz. Ainsi que les mêmes traceurs d'une contribution africaine à la sédimentation quaternaire aux îles Canaries telles que les fibres de palygorskite sur les quartzs et la présence de certaines argiles telles que l'illite et la kaolinite (Lange, 1982).

## Conclusions

L'étude minéralogique, sédimentologique et microscopique nous a permis de mettre en évidence deux origines sédimentaires des dépôts de la séquence «Mala». Ces origines sont en liaison directe avec le climat. Ainsi, lorsque les conditions climatiques sont humides, l'altération importante des basaltes et la pédogenèse sont à l'origine d'une importante concentration des sédiments en smectite (unité A et c3). Cette altération s'accompagne souvent du développement de croûtes calcaires (le calcium provient essentiellement de l'hydrolyse des roches basaltiques).

Lorsque les conditions climatiques sont particulièrement influencées par les vents sahariens, les apports allochtones éoliens sont importants, l'altération est moins importante par conséquent la concentration des sédiments en smectite est faible. Le rapport illite+kaolinite/smectite ainsi que la présence remarquable du quartz rond avec des traces de chocs constituent de bons marqueurs minéralogiques de l'influence éolienne africaine (Unité B, c2 et C4). Les âges U/Th préliminaires sont à préciser en attendant de nouvelles datations.

## Remerciements

Nous tenons à remercier vivement Dr. Graham Shimmield (Department of Geology and Geophysics, Univ. Edinburgh) pour les âges U/Th.

## References

- Branola, J.M., Raynaud, D., Korotkevich, Y.S. and Lorius, C. (1987): Vostok ice core provides a 160,000 year record of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 329, 408-414.
- Chameley, H. (1971): Recherche sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. *Science Géologique*, Strasbourg, Mémoire 35.
- Chameley, H. (1979): North Atlantic clay sedimentation and paleoenvironment since the late Jurassic. En: *Deep Drilling Research Atlantic Ocean: Continental Margins and paleoenvironment* (Talwani, M., Hay, W. and Ryan, W.B.F (Eds.). American Geophysical Union. Maurice Ewing Ser, 3, 342-361.
- Chameley, H., Coudé-Gaussen, G., Debrabant, P., et Rognon, P. (1987): Contribution autochtone et allochtone à la sédimentation Quaternaire de l'île de Fuerteventure (Canaries): altération ou apports éoliens?. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8, III, 5: 939-952.
- Coello, J., Cantagrel, J.M., Hernan, F., Fuster, J.M., Ibarrola, E., Ancochea, E., Casquet, C., Jamond, C., Díaz de Terán, J.R., and Cendrero, A. (1992): Evolution of the Eastern volcanic ridge of Canary Islands based on new K-Ar data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 53, 251-274.
- Coudé-Gaussen, G. (1981): Etude détaillée d'un échantillon de poussières éoliennes prélevé au Tanzezrouft le 19/12/1980. *Recherches Géographiques*, 16-17: 121-130.
- Coudé-Gaussen, G., Mosser, C., Rognon, P. et Tourenq, J. (1982): Une accumulation de loess du Pléistocène Supérieur dans le Sud tunisien: la coupe de Téchine. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7, XXIV, 2: 283-292.
- Coudé-Gaussen, G. et Rognon, P. (1988): Caractérisation sédimentologique et conditions paléoclimatiques de la mise en place de loess au Nord du Sahara à partir de l'exemple de Sud Tunisien. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8, IV, 6: 1081-1090.
- Damnati, B., Petit-Maire, N., Fontugne, M., Meco, J. and Williamson, D. (1996): Quaternary palaeoclimates in the eastern Canary Islands. *Quaternary International*, 31: 37-46.
- Damnati, B. (1997): Mineralogical and sedimentological characterization of quaternary eolian formations and paleosols in Fuerteventura and Lanzarote (Canary Islands, Spain). En: *Earth processes in global change: climates of the past* (Meco, J. and Petit-Maire, N., Eds.). IUGS, 71-77.
- Dubief, J. (1968): *Le climat du Sahara* (2 tomes). Institut Recherche Sahara, Alger (Mem hs).
- Fuster, J.M., Cendrero, A., Gastesi, P., Ibarrola, E. y López Ruiz, J. (1968). Geología y volcanología de las Islas Canarias-Fuerteventura. Instituto «Lucas Mallada». Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 239 p.
- Holtzapffel, T. (1985): *Les minéraux argileux. Préparation. Analyses diffractométrique et détermination*. Villeneuve d'Ascq: Société géologique du Nord, Publication 12, 136 p.
- Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Genthon, C., Bargov, N.I., Kotlyakov, V.M and Petrov, V.M. (1987): Vostok ice core: A continuous isotope temperature over the last climatic cycle (160 000 years). *Nature*, 329: 403-408.
- Lange, H. (1982). Distribution of chlorite and kaolinite in eastern Atlantic sediments of North Africa. *Sedimentology*, 29: 427-431.
- Magaritz, M. and Jahn, R. (1992): Pleistocene and Holocene soil carbonates from Lanzarote, Canary islands, Spain:

- Paleoclimatic implications. *Catena*, 19: 511-519.
- Marzol, M.V. (1984): El clima. *Geografía de Canarias*, 1: 158-202.
- Mc Tainsh, G.H. and Walker, P.H. (1982): Nature and distribution of Harmattan dust. *Zeitschrift Für Geomorphology NF.*, 26 (4): 417-435.
- Meco, J. et Pomel, R.S. (1985): Les formations marines et continentales des îles Canaries orientales (Grande Canarie, Fuerteventura et Lanzarote): stratigraphie et signification paléoclimatique. *Estudios Geológicos*, 41: 223-227.
- Meco, J. et Petit-Maire, N. (Eds.) (1986): *Le Quaternaire récent des îles Canaries. Paléoclimatologie-Niveaux marins*. Laboratoire Géologie Quaternaire CNRS/Museo Canario, 1 vol., 98 p.
- Meco, J. and Stearns, C.E. (1981): Emergent littoral deposits in the eastern Canary islands. *Quaternary Research*, 15: 199-208.
- Meco, J., Petit-Maire, N. et Reyss, J.L. (1992): Le courant des Canaries pendant le stade isotopique 5, d'après la composition faunistique d'un haut niveau marin à Fuerteventura (28°N). *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences Paris*, 314 (Série II): 203-308.
- Millot, G. (1964): Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.
- Paquet, H. (1969): Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. *Mémoires Service Carte géologique Alsace-Lorraine*, 30.
- Petit-Maire, N., Delibrias, G., Meco, J., Pomel, S. et Rosso, J.C. (1986): Paléoclimatologie des Canaries orientales (Fuerteventura). *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences Paris* 303 (Série II): 1241-1246.
- Petit-Maire, N., Rosso, J.C., Delibrias, G., Meco, J. et Pomel, S. (1987): Paléoclimats de l'île de Fuerteventura (Archipel Canarien). *Palaeoecology of Africa and the surrounding Islands*, 18: 351-356.
- Pomel, R.S., Miallier, D., Fain, J. et Sanzelle, S. (1985): Datation d'un sol brun rouge calcifère par une coulée d'âge Würm ancien (51 000 ans) à Fuerteventura (île Canaries). *Méditerranée*, 4: 59-68.
- Pomel, R.S. (1986): *Morphologie volcanique et paléoclimatologie des îles Canaries orientales : comparaison avec d'autres milieux volcaniques insulaires (îles de la Mer Tyrrhénienne et de la Mer Egée, île de la Réunion)*. Thèse Doctorat Etat, Univ. Aix-Marseille, 1083 p.
- Rognon, P., Coudé-Gaussen, G., Le Coustumer, M.N., Balouet, C. et Occhietti, S. (1989): Le massif dunaire de Jandia (Fuerteventura, Canaries): Evolution des paléoenvironnements de 20000 BP à l'actuel. *Bulletin de l'Association Française Etude Quaternaire*, 1989 (1): 31-37.
- Whalley, W.B. and Smith, B.J. (1981): Mineral content of Harmattan dust from northern Nigeria examined by scanning electron microscopy. *Journal of Arid Environments*, 4, 21-29.

Manuscrito recibido el xx de xxxxxxx de 2005

Aceptado el manuscrito revisado el xx de xxxxxxx de 2005