

# GRANULOMÉTRIE ET CONCENTRATIONS EN MINÉRAUX LOURDS DES SABLES DUNAIRES ET DE PLAGE DE LA RÉGION DE OUED ZHOUR (JIJEL, ALGÉRIE NORD ORIENTALE).

Azzedine BOUZENOUNE\* et Karim REMOUM\*

## RÉSUMÉ

Les sables dunaires et de plage de la région de Oued Zhou (Jijel), actuellement exploités comme matériaux de construction, ont été étudiés dans l'objectif de déterminer leurs propriétés granulométriques et minéralogiques et de vérifier leur contenu en minéraux lourds industriels (ilménite, rutil, zircon...). Ces minéraux pourraient constituer des concentrations parfois économiquement exploitables sous forme de gisement détritique de type « placer ».

Les paramètres utilisés pour décrire la distribution granulométrique des sables de Oued Zhou sont la moyenne graphique ( $Mz$ ), la déviation standard ( $\sigma_1$ ), le skewness ( $Ski$ ) et le Kurtosis ( $K_G$ ). Ils ont été déterminés graphiquement, à partir des courbes cumulatives, selon Folk and Ward (1957). Les valeurs moyennes de ces différents paramètres granulométriques montrent que les sables de Oued Zhou sont caractérisés par un grain moyen avec  $Mz$  compris entre 1,41  $\phi$  et 2,98  $\phi$ . Ils sont très bien à bien classés ( $\sigma_1$  inférieur à 0,35  $\phi$  pour les sables dunaires et compris entre 0,35  $\phi$  et 0,50  $\phi$  pour les sables de plage), présentant une distribution symétrique ( $Ski$  compris entre -0,10 et +0,10) et une distribution mésokurtique ( $K_G$  compris entre 0,90 et 1,11).

Les compositions minéralogiques des fractions légères et lourdes, obtenues par séparation densimétrique avec une liqueur de densité 2,88 (bromoforme), ont été déterminées systématiquement sous loupe binoculaire, microscope optique, diffractométrie RX et microscope électronique (MEB-EDX).

L'examen sous binoculaire et au microscope optique des échantillons a montré que la fraction légère des sables de Oued Zhou, aussi bien dunaires que de plage, est principalement constituée par du quartz et accessoirement par des micas, feldspath et fragments de roches. La fraction lourde est essentiellement constituée de tourmaline, zircon, rutil, ilménite, pyroxène, amphibole, grenat et oxydes de fer et d'étain. Le comptage des grains de minéraux lourds (Belmedrek, 2006) montre que la tourmaline est le minéral le plus répandu dans le résidu lourd de ces sables. L'ilménite et les grenats existent avec des quantités notables, le rutil et le zircon sont présents avec des quantités non négligeables, les pyroxènes et les amphiboles présentent le pourcentage le plus faible. Le pourcentage le plus élevé se localise dans la fraction fine, il est moins important dans la fraction moyenne et moyen dans la fraction grossière.

Les sables dunaires et de plage de la région de Oued Zhou montrent des teneurs en THM (Total Heavy Minerals) comprises entre 2,51 % et 4,70 %. Ces sables ne présentent donc pas des concentrations en minéraux industriels conséquentes caractéristiques des gisements de type placer.

**Mots clés** - Sables - Minéraux lourds - Granulométrie - Oued Zhou - Algérie.

\*Laboratoire de Génie géologique, Université de Jijel, Algérie

- Manuscrit déposé le 26 Mars 2007, accepté après révision le 19 Février 2008.

## GRANULOMETRY AND HEAVY MINERALS CONCENTRATIONS IN OUED ZHOUR BEACH AND DUNE SAND (JIJEL, NORTHEASTERN ALGERIA).

### ABSTRACT

Dune and beach sands of the Oued Zhour area (Algeria), currently exploited like building materials, were studied in order to check their granulometric and mineralogical properties.

Grain size distribution and heavy mineral content of beach and dune sands from the Oued Zhour coast were determined. Grain sizes were determined by dry sieving. Graphic measures derived from the cumulative frequency curve are the graphic mean ( $Mz$ ), standard deviation ( $si$ ), skewness ( $Ski$ ) and kurtosis ( $K_G$ ), which provide the descriptive statistics of the particle size distribution. The heavy mineral content of several samples collected from the beach and dunes sands was obtained by using the usual methods of heavy-mineral separation by heavy liquids (bromoform). Identification of both translucent and opaque was done with a binocular, petrographic microscope, X-ray diffraction and by using a scanning electron microscope (SEM) equipped with EDX.

The average values of the various granulometric parameters show that Oued Zhour sands are medium-grained ( $Mz$  ranging between  $1.41 \phi$  and  $2.98 \phi$ ), very well to well sorted ( $\sigma_1$  lower than 0.35 for dune sands and ranging between 0.35 and 0.50 for beach sands), presenting a symmetrical distribution ( $Ski$  ranging between -0.10 and +0.10) and mesokurtic distribution ( $K_G$  ranging between 0.90 and 1.11).

The light fraction of beach and dune sands of Oued Zhour area is mainly made up by quartz and incidentally by micas, feldspar and rocks fragments. The heavy fraction primarily consists of tourmaline, garnet, pyroxene-amphibole, zircon, rutile, ilmenite and tin and iron oxides.

The counting of the heavy mineral grains (Belmedrek, 2006) shows that tourmaline is the mineral more dominant. The ilmenite and garnets exist with notables quantities, the rutile and zircon are moderately presents, pyroxenes and amphiboles have the smallest percentage. However, difference of minerals distribution in the various particle-size ranges were noted, the highest percentage of heavy minerals locates in the fine fraction (63-250  $\mu m$ ), it is less important in the 250-315  $\mu m$  fraction and average in the coarse fraction (315-500  $\mu m$ ).

The identical mineral assemblages which characterizes Oued Zhour beach and dune sands reflect a genetic relationship between the two type of sands. The Oued Zhour beach is characterized by a broad shorezone, deprived of vegetation and generally exposed to the storms of wind. The sand dune is therefore produced by wind action on beach sand along Oued Zhour shore.

The clastic rocks accumulated on the Oued Zhour beach and dunes come from the principal rocks constituting the geological formations of the area. These rocks show a mineral composition extremely similar to that of detrital accumulations. However, minerals coming from the crystalline rocks are dominant probably because of their hardness and their large outcrops in the Oued Zhour area.

Sands of Malindi bay, Kenya (Abuodha, 2003) and of the Bujuru beach, Brazil (Dillenburg and *al.* 2004) show contents of THM (Total Heavy minerals), respectively of 32 % and 30 %, much higher than those of Oued Zhour beach and dune sands witch are raging between 2.51 % and 4.70 %. The latter do not present an economically industrials minerals concentrations. These values suggest that a full-scale mining operations and marketing of the heavy minerals in Oued Zhour area may not be economical.

**Key words** - Sand - Heavy minerals - Granulometry - Oued Zhour - Algeria.

## 1- INTRODUCTION

Dans la partie extrême orientale du littoral de la wilaya de Jijel, à la frontière avec la wilaya de Skikda, affleurent des sables sous forme de dunes couvrant une surface d'environ 600 hectares (fig.1). Pour répondre à la demande du marché local en sables comme matériau de construction et mettre fin au pillage des sables de plage qui affecte les équilibres naturels hydrauliques (nappes aquifères) et des écosystèmes, les pouvoirs publics ont concédé par adjudication à des opérateurs économiques une partie (200 hectares) du site de Oued Zhour pour l'exploitation de ces sables dunaires comme matériaux de construction. Or, les sables littoraux, dunaires et de plage, sont réputés à l'échelle mondiale pour leur faculté à constituer des placers concentrateurs de minéraux industriels. Plus de la moitié de l'or, du titane, des diamants, du zircon et du thorium dans le monde vient des placers (Force, 1991; Towner, 1992). L'ORGM (Office de la Recherche Géologique et Minière) a d'ailleurs lancé récemment une campagne de prospection des minéraux de titane et de zirconium dans les sables du littoral de la wilaya de Jijel.

Afin d'apporter des éléments de réponse à cette dualité entre l'exploitation des sables de Oued Zhour comme matériaux de construction ou comme placer concentrateur de minéraux industriels, nous avons étudié ces sables en déterminant les aspects relatifs à leurs caractéristiques granulométriques et minéralogiques.

## 2- CADRE GÉOLOGIQUE

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes côtières de l'Est algérien (fig.1). Ces chaînes ont été structurées par l'orogénèse alpine. Le massif de la petite Kabylie, s'étend sur 150 km, d'est en ouest et 50 km, du nord au sud, entre la région de Jijel à l'ouest et le massif de Filfila à l'est (Skikda). La petite Kabylie est constituée par un édifice d'unités allochtones appartenant au

domaine interne, aux nappes des flyschs et au domaine externe. Ces différentes unités dont l'organisation est très complexe sont parfois recoupées par des venues de roches magmatiques du Miocène.

Le domaine interne comprend le socle kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire représentée par des termes paléozoïques et par des niveaux surtout carbonatés allant du Trias à l'Eocène de la «Dorsale Kabyle» ou «chaîne calcaire». Cette dernière n'affleure pas dans la région de Jijel. Les formations cristallophylliennes du socle kabyle sont largement représentées en petite Kabylie, elles comportent deux grands ensembles (Durand Delga, 1955; Bouillin, 1977): un ensemble inférieur gneissique constitué de paragneiss et de gneiss granulitiques, cet ensemble admet par endroits de puissantes intercalations de marbres et d'amphibolites; un ensemble supérieur schisteux formé de micaschistes et de phyllades. Le socle kabyle ainsi que sa couverture sédimentaire sont charriés sur 30 km vers le sud (Durand Delga, 1955). Les terrains métamorphiques de la région de Oued Zhour, regroupés au sein de l'unité de Béni Ferguène (Bouillin, 1977; Mahdjoub, 1991; Amri, 1996; Kehal, 1998), sont principalement représentés par trois formations (Amri, 1996). A la base, des métapélites à intercalations de pegmatites orthogneissifiées. Ces métapélites sont constituées de quartz, biotite, muscovite, grenat et tourmaline alors que les pegmatites sont formées de quartz, feldspath, muscovite et tourmaline. La formation médiane est représentée par des paragneiss à quartz, muscovite, plagioclase, grenat, andalousite et staurotide, essentiellement développés au sud des sables étudiés. La partie supérieure de ces paragneiss est caractérisée par une alternance de gneiss et de pegmatites à quartz, muscovite, plagioclase et tourmaline et la partie inférieure renferme des corps granitiques et des sills d'amphibolite essentiellement formées d'hornblende verte associée à de l'actinote, ainsi que du quartz et du plagioclase.

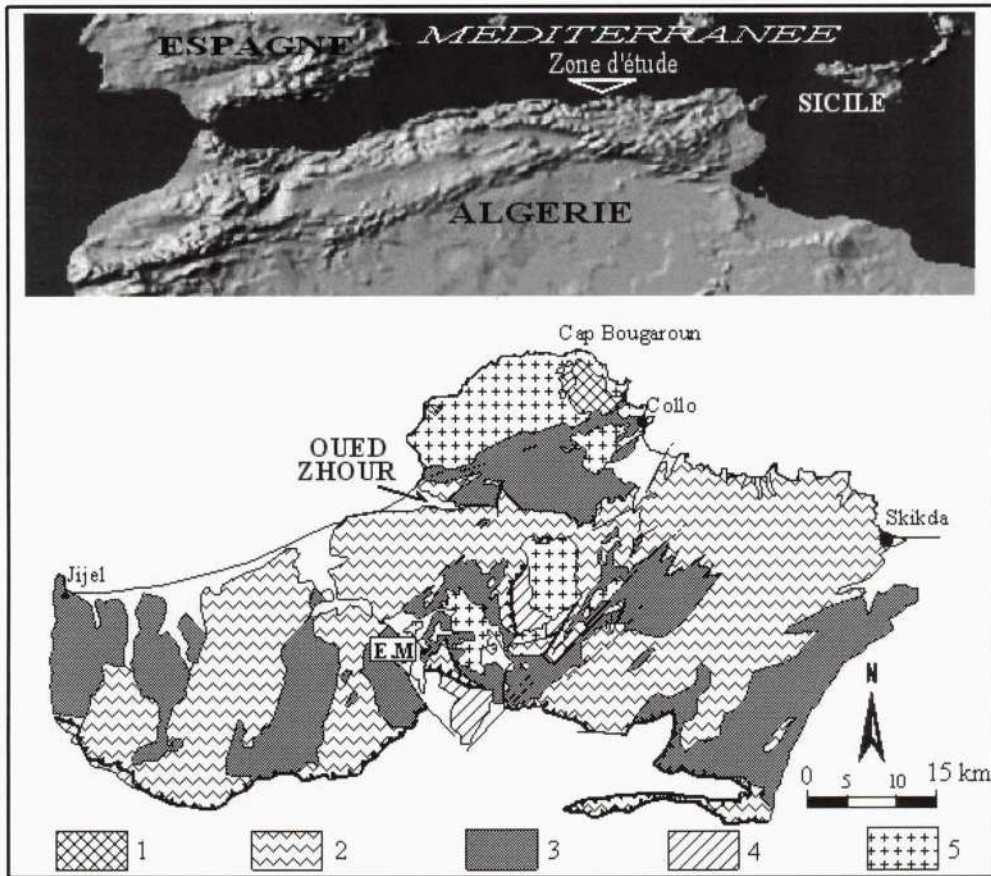


Fig. 1- Cadre géologique de la région de Jijel et localisation des sables de Oued Zhour (d'après Bouillin et Kornprobst, 1974 légèrement modifiée).

**Geological map of the «Petite Kabylie» area and localisation of Oued Zhour sands (From Bouillin and Kornprobst, 1974 modified).**

1 : socle du cap Bougaroun (*Cap Bougaroun basement nappes*); 2 : socle de petite Kabylie (*Kabyle basement nappe*); 3 : terrains sédimentaires (*sedimentary terranes*); 4 : Mésozoïque épimétamorphique (*Mesozoic epimetamorphic terranes*); 5 : granites et micogranites miocènes (*Miocene granitic rocks*); EM : El Milia (*El Milia*).

Enfin, la formation la plus haute de l'édifice de Béni Ferguène est constituée par des micaschistes essentiellement caractérisés par du quartz, muscovite, biotite, plagioclase et grenat et des orthogneiss fortement kaolinisés et présentant l'association minéralogique formée de quartz, muscovite, feldspath potassique et plagioclases (Amri, 1996).

Au nord de Oued Zhour, l'unité de Bougaroun, représentée par le massif du cap Bougaroun, est

constituée principalement par des gneiss et des lherzolites serpentinisées et traversées par des granites et des micogranites miocènes (Roubault, 1934; Bouillin, 1977, Ouabadi, 1994)

Le domaine des flyschs est situé entre les zones internes (socle et dorsale) et les zones externes (paléomarge africaine). Ce domaine a reçu des sédiments flyschoïdes au Crétacé inférieur et à l'Oligo-Miocène. Il comporte les flyschs maurétaniens et massyliens, qui sont

constitués par des formations typiques représentées par des flyschs gréso-pélitiques du Barrémien à l'Albien. Au nord, le flysch de type maurétanien et au sud le flysch de type massyllien (Bouillin, 1977). L'Oligo-Miocène kabyle désigne la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle kabyle (Raoult, 1974). Les formations du flysch numidien reposent en contact anormal sur toutes les formations précédentes et constituent structurellement la nappe la plus haute de l'édifice alpin.

Le domaine externe caractérise les zones des nappes telliennes. Les formations post-nappes consistent principalement en des roches magmatiques de type granitoïdes (Ouabadi, 1994) et formations sédimentaires du Burdigalien-Langhien qui remplissent les petits bassins miocènes et qui jalonnent les reliefs côtiers de la petite Kabylie : sahel de Jijel à Collo (fig. 1). Les sables de la région de Oued Zhour font partie de ces formations récentes remplissant les petites dépressions qui longent ce tronçon de la côte orientale de l'Algérie.

### 3- MÉTHODES : ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSES

#### 3.1- Echantillonnage

Les échantillons ont été prélevés selon cinq profils. La maille d'échantillonnage a été choisie selon des dimensions permettant de mettre en évidence d'éventuels variations dans les paramètres granulométriques et dans les compositions minéralogiques qualitatives et quantitatives.

- Trois profils transversaux orientés NW-SE, l'espacement entre les profils est de 500 m. L'intervalle entre les différents échantillons est de 50 m. Ces profils expriment la transition entre les sables de plage et les sables dunaires;

- Deux profils verticaux, l'un dans les sables de plage et l'autre dans les sables dunaires.

#### 3.2- Analyse granulométrique

Afin d'éliminer d'éventuels cristaux de sel susceptibles d'engendrer une cimentation des grains de sable, les échantillons de 200 gr. chacun, ont d'abord été lavés puis séchés à l'étuve à 80°C pendant 30 minutes. Le tamisage a été effectué pendant 15 minutes avec une tamiseuse électrique à vibrations horizontales et verticales, sur une colonne de 17 tamis de la série A.F.N.O.R dont les mailles vont de 63 à 2000  $\mu\text{m}$ . Les refus récoltés sur chaque tamis ont été pesés sur une balance dont la précision est de 0,01 gr.

Les paramètres utilisés pour décrire la distribution granulométrique des sables de Oued Zhour sont la moyenne graphique (ou graphic mean,  $M_z$ ), la déviation standard (Inclusive Graphic Standard Deviation,  $\sigma_i$ ), le skewness (ou Inclusive Graphic Skewness,  $S_{ki}$ ) et le Kurtosis graphique ( $K_G$ ). Ils ont été déterminés graphiquement, à partir des courbes cumulatives, selon la méthode de Folk and Ward (1957).

#### 3.3- Analyse minéralogique

Les échantillons de sable destinés pour l'analyse minéralogique, de 50 gr. chacun, ont d'abord été lavés à l'eau oxygénée pour éliminer les débris organiques et à l'acide chlorhydrique pour enlever d'éventuels enduits calcitiques. Ils ont par la suite été lavés à l'eau distillée. Après séchage, les échantillons de 10 gr. chacun, ont été séparés par tamisage en trois fractions : une fraction fine (63-250  $\mu\text{m}$ ), une fraction moyenne (250-315  $\mu\text{m}$ ) et une fraction grossière (315-500  $\mu\text{m}$ ). Chaque fraction a ensuite subi une séparation densimétrique avec une liqueur de densité 2,88 (bromoforme) pour obtenir une fraction légère constituée de minéraux de densité inférieure à 2,88 et une fraction lourde constituée de minéraux de densité supérieure à 2,88. Chaque fraction légère et fraction lourde a fait l'objet d'une étude systématique sous

loupe binoculaire, microscope optique, diffractométrie RX et microscope électronique (MEB).

Le comptage des grains minéraux a été effectué sous loupe binoculaire à grossissement allant jusqu'à 80 fois et munie d'un dispositif d'éclairage en lumière transmise et incidente. Les grains ont été disposés par ligne de telle sorte que tous les minéraux examinés soient placés au centre du champ d'éclairage (Parfenoff et *al.*, 1970).

#### 4- RÉSULTATS

##### 4.1- Les aspects liés à la granulométrie des sables

Les résultats obtenus à partir des différents paramètres granulométriques montrent que les sables dunaires et de plage de Oued Zhour sont caractérisés par un grain moyen ( $M_z$ ) compris entre  $1,41 \phi$  et  $1,98 \phi$  ( $377,18$  et  $254,08 \mu m$ ) pour les sables dunaires et  $1,27 \phi$  et  $1,86 \phi$  ( $431,27$  et  $275,48 \mu m$ ) pour les sables de plage (fig. 2).

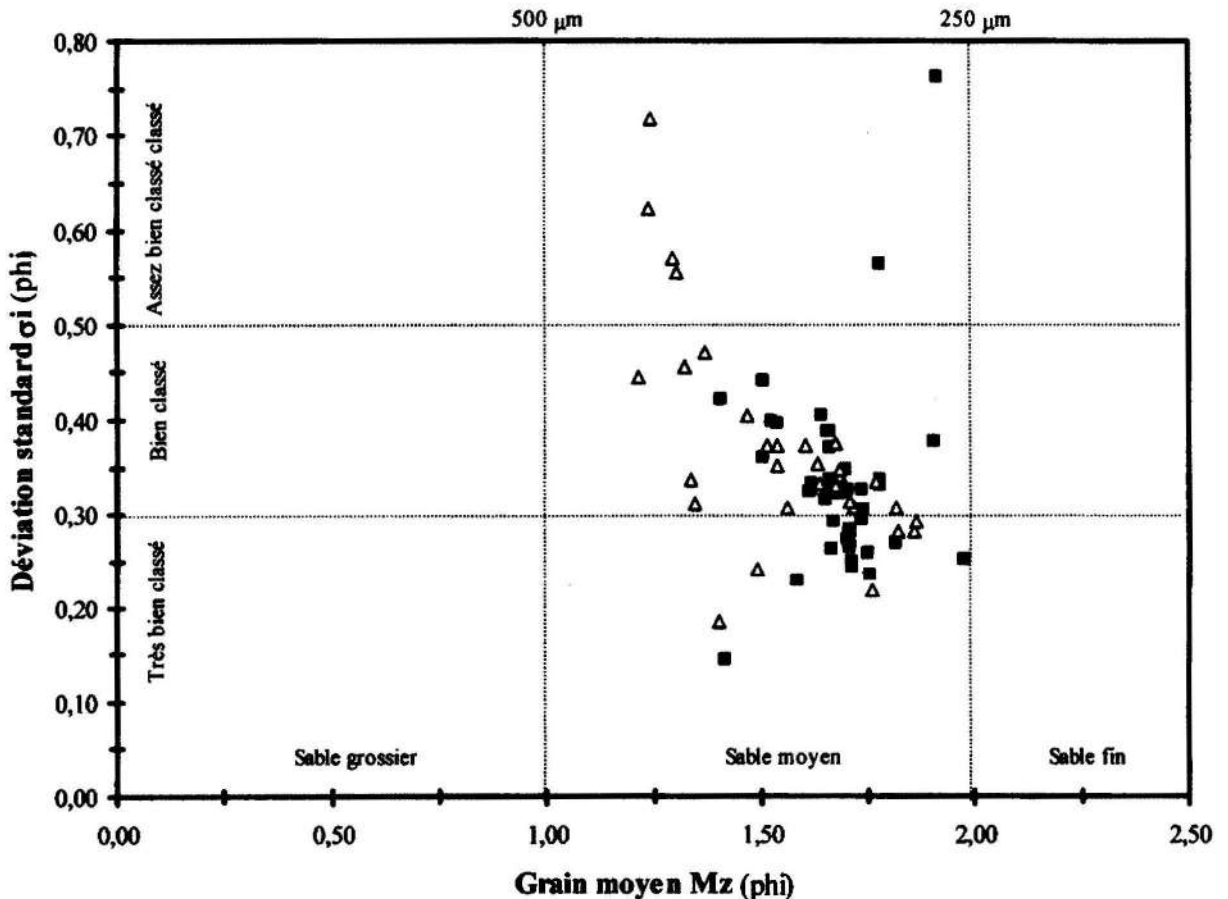


Fig. 2- Variation du grain moyen en fonction de l'indice de classement (déviatoin standard,  $\sigma$ ) des sables dunaires (carré plein) et des sables de plage (triangle vide) de la région de Oued Zhour.

Graphic mean grain size versus inclusive graphic standard deviation ( $\sigma$ ) of dune (full square) and beach (empty triangle) sand samples from Oued Zhour area.

Ces deux types de sable sont très bien à bien classés, caractérisés par une symétrie granulométrique et présentent une distribution mésocurtique à leptocurtique (fig. 2 et 3).

Dans l'objectif de caractériser les sables de Oued Zhour vis-à-vis de leur homogénéité ou hétérogénéité granulométrique, les évolutions verticale (avec la profondeur) et transversale (NW-SE) des paramètres granulométriques ont été systématiquement analysées.

L'évolution verticale aussi bien dans les sables de plage que dans les sables dunaires a été suivie à travers des échantillons prélevés au niveau des fronts de taille dégagés par des exploitations de ces sables comme matériaux de construction. Les résultats obtenus sur les deux types de sables ne montrent pas de grandes variations, ils traduisent l'homogénéité granulométrique de ces sables selon les profils verticaux. Le grain moyen ( $Mz$ ) des sables dunaires présente des valeurs comprises entre  $1,75 \phi$  et  $1,41 \phi$  ( $297,30$  et  $377,18 \mu m$ ), des valeurs qui indiquent une dominance des sables moyens (fig. 3a).

La déviation standard ( $\sigma_i$ ) varie entre  $0,145\phi$  et  $0,421 \phi$ , ce sont donc des sables bien à très bien classés (fig. 3b). Les valeurs du skewness ( $Sk_i$ ) comprises entre  $-0,361$  et  $+0,044$ , montrent qu'il s'agit de sables caractérisés par une tendance à une asymétrie vers les grandes tailles (fig. 3c). Le kurtosis ( $Kg$ ) varie entre  $0,902$  et  $1,334$ , il indique que ces sables présentent une distribution mésocurtique à leptocurtique (fig. 3d).

L'évolution transversale exprime la transition, du SE vers le NW des sables dunaires aux sables de plage. Les deux types de sables présentent un grain moyen ( $Mz$ ) compris entre  $1,21 \phi$  et  $1,98 \phi$  ( $431,28$  et  $254,08 \mu m$ ) traduisant une granulométrie moyenne (fig. 4a). Les sables de plage sont cependant, relativement plus grossiers

que les sables dunaires. Les deux types de sables présentent un bon classement (fig. 4b). Ces deux particularités se traduisent également dans le skewness qui indique une symétrie granulométrique avec une très légère asymétrie vers les grandes tailles (fig. 4c) et qu'ils montrent une distribution leptocurtique à mésocurtique (fig. 4d).

Les sables dunaires et les sables de plage de la région de Oued Zhour présentent des caractéristiques granulométriques très similaires. Quelque soit la position de la transversale considérée, le passage entre les deux types de sables s'effectue sans grandes modifications des indices granulométriques étudiés. Cette ressemblance dans les particularités granulométriques permet d'envisager une filiation génétique entre les deux types de sables.

## 4.2- Les aspects liés à la minéralogie des sables

### 4.2.1- Aspects qualitatifs

Les sables dunaires se distinguent des sables de plage par leur couleur. Les sables dunaires présentent une couleur brunâtre à rougeâtre due à la présence d'oxydes de fer soit en grains minéraux libres soit sous forme d'inclusions ou d'encroûtement au sein des grains de quartz. Les sables de plage sont gris à gris sombre présentant un aspect « poivre de sel » du au mélange à dominance de grains de quartz translucide, de grains minéraux noirâtres et de fragments de roches gris sombre.

L'examen sous binoculaire et au microscope optique des échantillons a montré que la fraction légère des sables de Oued Zhour, aussi bien dunaires que de plage, est principalement constituée par du quartz et accessoirement par des micas, des feldspaths et des fragments de roches (schistes grisâtres, fragments de

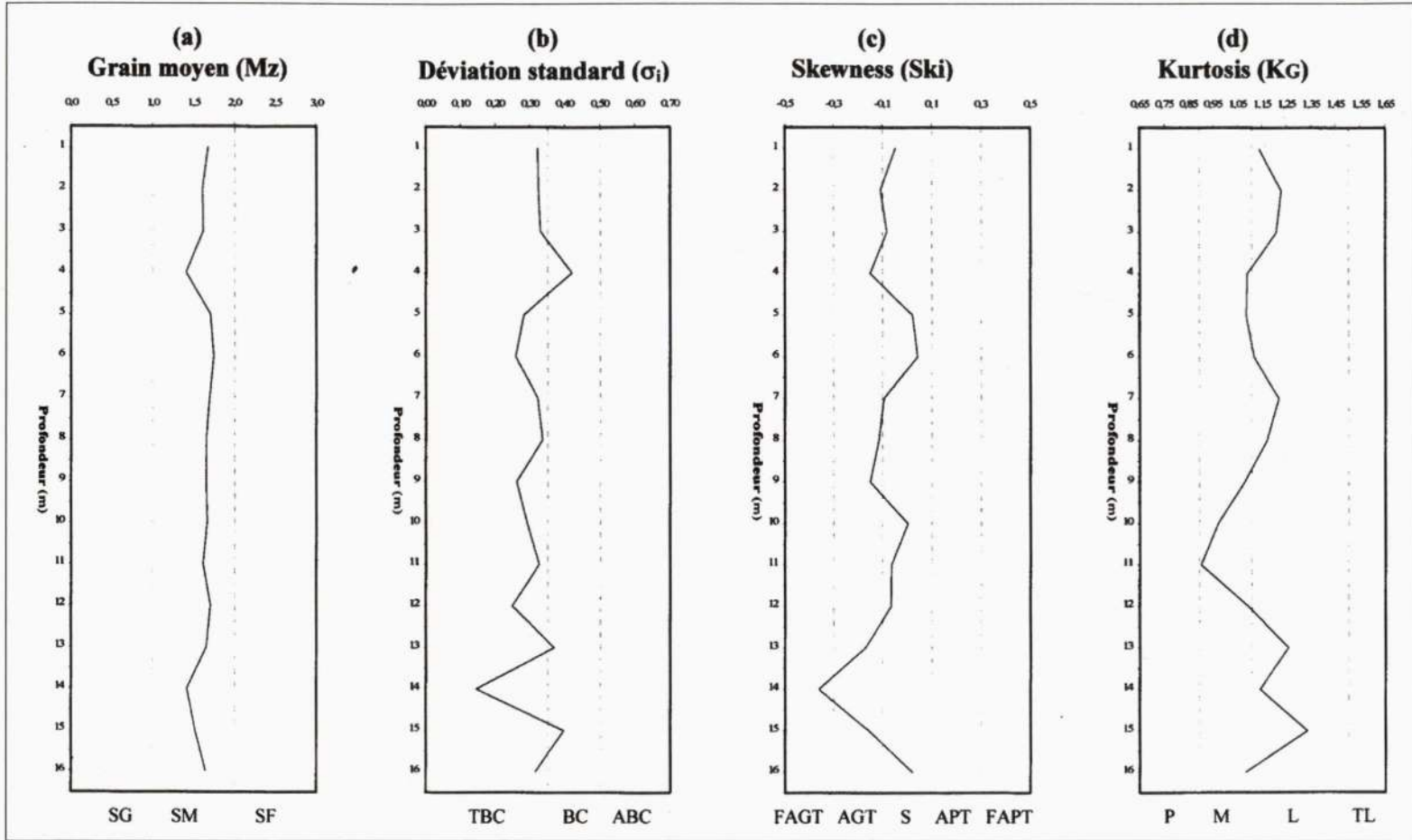


Fig. 3- Variation des indices granulométriques en fonction de la profondeur dans les sables dunaires de la région de Oued Zhouir.

Variation of the granulometric parameters with depth in dune sand of Oued Zhouir area.

**SG:** sable grossier (*coarse-grained sand*); **SM:** sable moyen (*medium-grained sand*); **SF:** sable fin (*fine-grained sand*); **TBC:** très bien classé (*very well sorted*); **BC:** bien classé (*well sorted*); **ABC:** assez bien classé (*moderately well sorted*); **FAGT:** forte asymétrie vers les grandes tailles (*strongly coarse skewed*); **AGT:** asymétrie vers les grandes tailles (*coarse skewed*); **S:** symétrie (*nearly symmetrical*); **APT:** asymétrie vers les petites tailles (*fine skewed*); **FAPT:** forte asymétrie vers les petites tailles (*strongly fine skewed*); **P:** platycurtique (*platycurtic*); **M:** mésocurtique (*mesocurtic*); **L:** leptocurtique (*leptokurtic*); **TL:** très leptocurtique (*very leptokurtic*); Le grain moyen  $M_z$  et la déviation standard  $\sigma_i$  sont en unité phi (*Graphic mean ( $M_z$ ) and standard deviation  $\sigma_i$  are in phi units*).



GRANULOMÉTRIE ET CONCENTRATIONS EN MINÉRAUX LOURDS DES SABLES DUNAIRE ET DE PLAGE DE LA RÉGION DE OUED ZHOUR (JIJEL, ALGÉRIE NORD ORIENTALE)

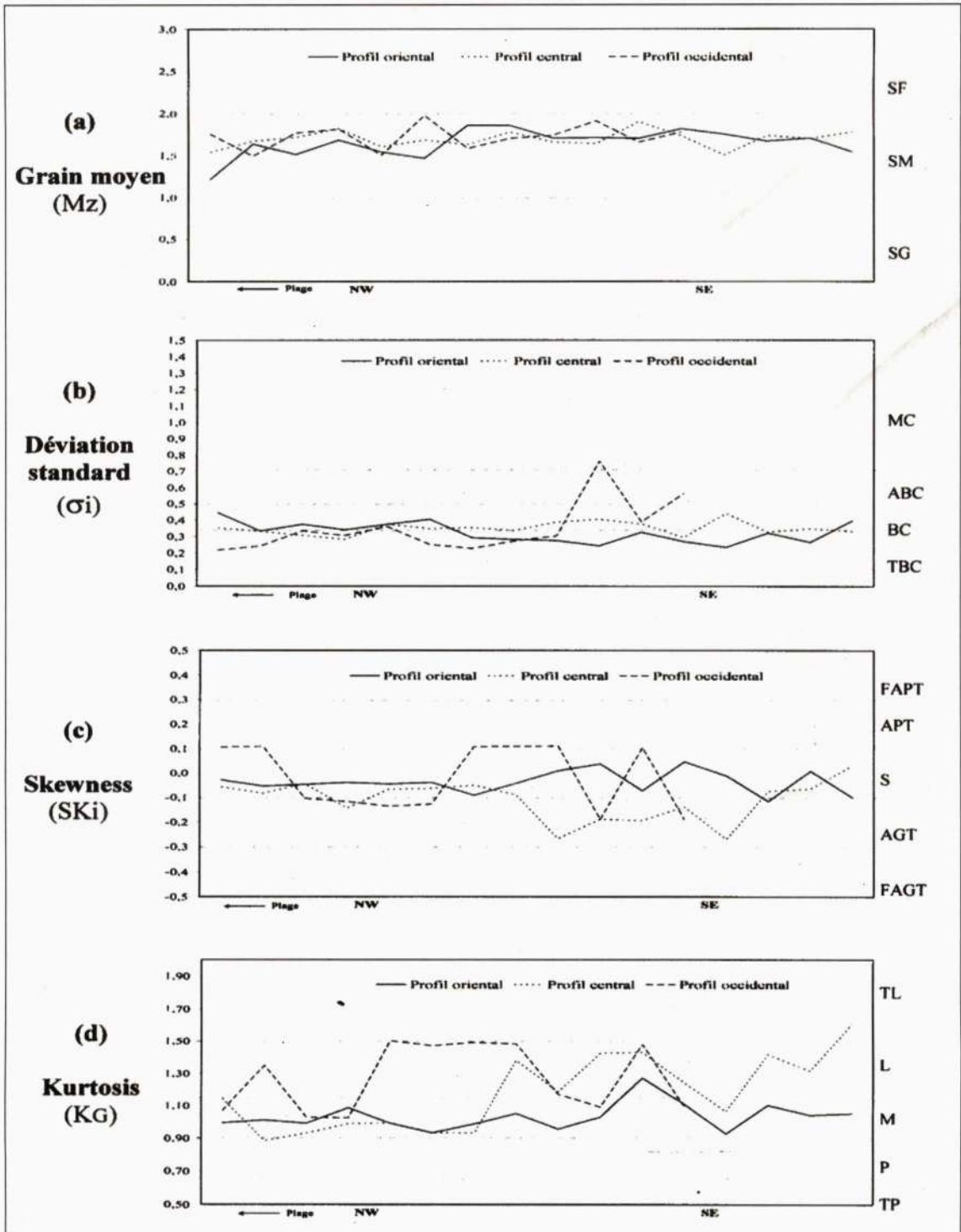


Fig. 4- Variation des indices granulométriques le long des profils transversaux (NW-SE). (même légende que la figure 3).

*Variation in granulometric parameters across the transversal (NW-SE) transects (same legend than in figure 3).*

grès de couleur rouille ou brunâtre). La fraction lourde ( $d > 2,89$ ) est essentiellement constituée de tourmaline, zircon, rutile, ilménite pyroxène (augite), amphibole (série trémolite-actinote), grenat (almandin) et oxydes de fer et d'étain (fig. 5). Ces observations ont été corroborées par l'analyse des RX et MEB sur les échantillons des deux types de sables.

Les principaux minéraux de Ti sont l'ilménite ( $\text{FeTiO}_3$ ), anatase ( $\text{TiO}_2$ ), rutile ( $\text{TiO}_2$ ), brookite ( $\text{TiO}_2$ ), pérovskite ( $\text{CaTiO}_3$ ), sphène ( $\text{CaTi}[\text{SiO}_4][\text{O},\text{OH},\text{F}]$ ) et leucoxène ( $\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_{3+x}\text{O}_{9+x/2}$  avec  $x \ll 2$ ). L'ilménite ( $\text{FeTi}$ ) $_2\text{O}_3$  est le minéral principal des minerais de titane. Sa structure

est similaire à celle de l'hématite où les deux  $\text{Fe}^{3+}$  de l'hématite sont remplacés par un  $\text{Fe}^{2+}$  et un  $\text{Ti}^{4+}$  dans l'ilménite. Les ilménites peuvent contenir quelques pour cent de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , au-delà de 6 % il s'agit généralement d'exsolutions d'hématite et la solution solide  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{FeTiO}_3$  n'étant complète qu'à haute température.

L'homogénéité de composition des grains d'ilménite est l'un des paramètres qui influent sur les teneurs en  $\text{TiO}_2$  du concentré obtenu par les différents procédés d'extraction. Il a en effet été démontré que certaines ilménites du gisement de Rosetta (Egypte) résistent aux attaques chimiques sulfatées

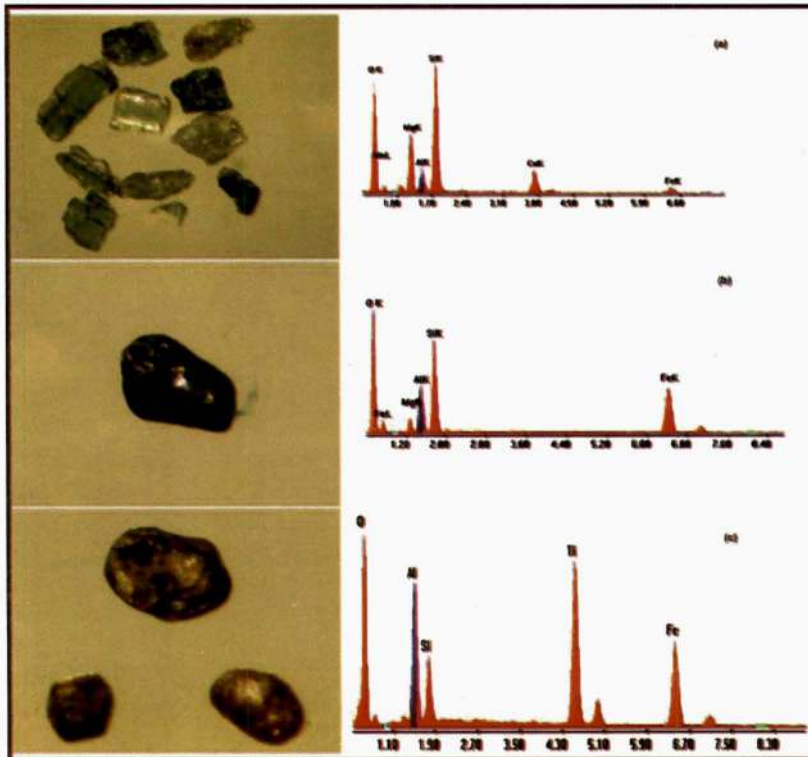


Fig. 5 - Exemples de minéraux lourds identifiés dans la fraction fine (63-250  $\mu\text{m}$ ) des sables de Oued Zhou et spectres MEB-EDX correspondants. Amphiboles de la série trémolite-actinolite (a), grenat almandin (b) et ilménites à composition hétérogène (c).

*Examples of identified heavy minerals in the fine fraction (63-250  $\mu\text{m}$ ) of Oued Zhou sands and MEB-EDX corresponding spectra. Amphiboles of the tremolite-actinolite serie (a), garnet-almandite (b) and ilmenites with heterogeneous composition (c).*

utilisées dans le procédé d'extraction (Bishay et al., 2005). La résistance de ces ilménites a été attribuée à la présence d'exsolution de silice en proportion variables. Les ilménites de Oued Zhour se présentent en grains arrondis indiquant un temps de résidence dans la plage assez important pour émousser les angles des cristaux (fig. 5c). Leur couleur est généralement dans les tons brun à rougeâtre, ces nuances seraient dues à la présence d'exsolutions d'hématite comme l'indiquent les teneurs en fer relativement élevées (fig. 5c). Les ilménites de Oued Zhour montrent également des teneurs en aluminium et silicium relativement élevées qui leur confèrent des compositions très hétérogènes dont il faut tenir compte dans tous procédés d'extraction.

#### 4.2.2- Aspects quantitatifs

##### a- Approche globale

Le comptage des grains de minéraux lourds (Belmedrek, 2006) montre que la tourmaline est

le minéral le plus répandu dans le résidu lourd de ces sables. L'ilménite et les grenats existent avec des quantités notables, le rutile et le zircon sont présents avec des quantités non négligeables, les pyroxènes et les amphiboles présentent le pourcentage le plus faible (tabl. I). Les pourcentages relatifs de la tourmaline, zircon, pyroxène et amphiboles, grenats et fragments de roches dans les sables de plage sont légèrement supérieurs à ceux des sables dunaires. L'inverse est observé pour le rutile et l'ilménite (fig. 6).

Dans l'ensemble, les pourcentages des différents minéraux dans les deux types de sables restent sensiblement identiques. Les pesées effectuées sur le résidu lourd (THM : Total Heavy Minerals) montrent que le pourcentage pondéral du résidu lourd varie entre 2,51 et 4,70 wt % dans les sables dunaires et entre 1,62 et 4,10 wt % dans les sables de plage. Les deux types de sables montrent donc des teneurs en THM similaires et qui restent relativement faibles (fig. 7).

Minéraux lourds	Dans la fraction grossière 500-315 µm	Dans la fraction moyenne 315-250 µm	Dans la fraction fine 250-63 µm	Total	Pourcentage relatif
Tourmaline	52 (82)	66 (150)	172 (280)	290 (512)	37,47 (4,42)
Rutile	2 (3)	4 (4)	28 (4)	34 (11)	4,39 (0,93)
Zircon	- (3)	6 (6)	18 (50)	24 (59)	3,10 (5)
Pyroxènes et amphiboles	- (3)	- (5)	8 (22)	8 (30)	1,03 (2,54)
Ilménite	35 (65)	58 (66)	62 (41)	155 (172)	20,03 (14,58)
Grenats	22 (40)	42 (68)	40 (75)	104 (183)	13,44 (15,52)
Fragments de roches	6 (42)	13 (25)	28 (30)	47 (97)	6,07 (8,22)
Autres	25 (22)	35 (42)	52 (51)	112 (115)	14,47 (9,75)
Somme	142 (260)	224 (366)	408 (553)	774 (1179)	100 (100)
Pourcentage par fraction	18,35 (22,05)	28,94 (31,04)	52,71 (47,06)		

**Tableau I** - Résultats des comptages des minéraux lourds dans les trois fractions des sables dunaires et de plage (entre parenthèses) de la région de Oued Zhour.

**Results of heavy minerals countings in the three fractions of dune and beach (between brackets) sand of Oued Zhour area.**

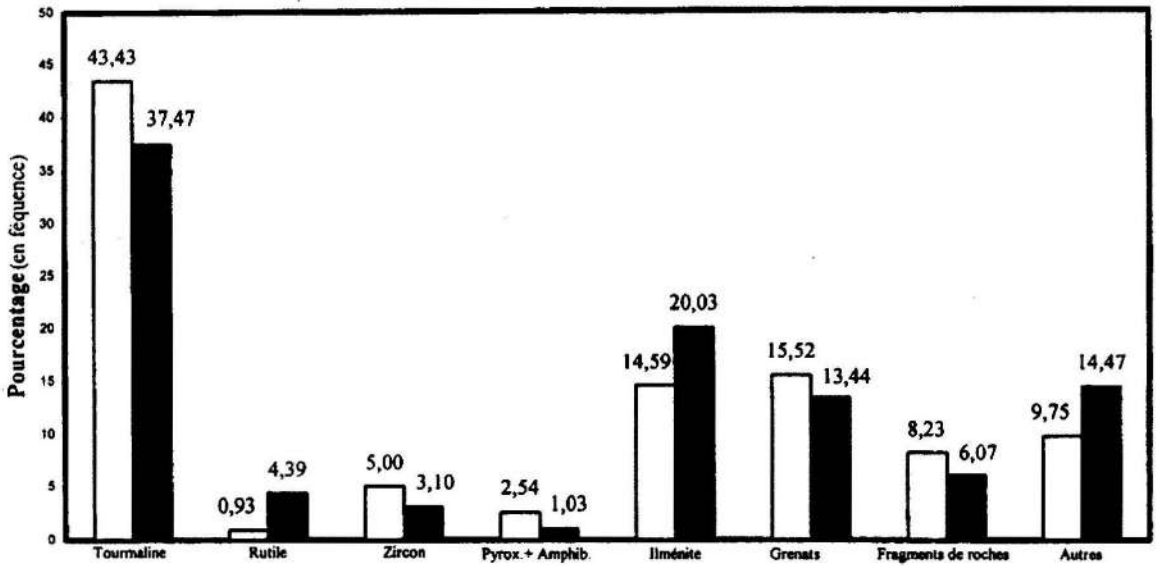


Fig. 6 - Répartition des minéraux lourds dans la fraction lourde des sables dunaires (en noir) et de plage (en blanc) de la région de Oued Zhour

*Relative distribution of heavy mineral in dune (black) and beach (white) sand of Oued Zhour area.*

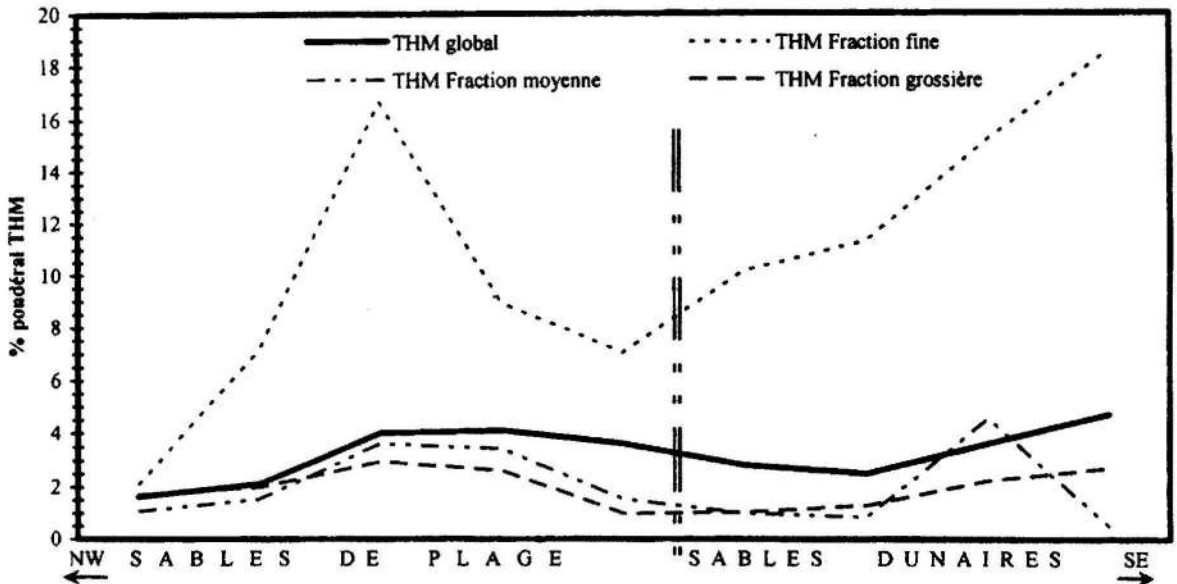


Fig. 7 - Evolution transversale (NW-SE) du pourcentage pondéral du résidu lourd (THM : Total Heavy Mineral) dans les trois fractions (fine 63-250  $\mu\text{m}$ , moyenne 250-315  $\mu\text{m}$  et grossière 315-500  $\mu\text{m}$ ) des sables dunaires et de plage de la région de Oued Zhour.

*Transverse evolution (NW-SE) of the Total Heavy Mineral (wt %) in dune and beach sands of Oued Zhour area.*

## b- Approche sur les fractions

La tendance des minéraux lourds à se concentrer dans les fractions fines a été signalée par de nombreux auteurs (Parfenoff et al., 1970; Da Silva, 1979; Bertoit, 1975; Dillenbourg et al., 2004). Dans le cas des sables de Oued Zhour, on constate que les pourcentages pondéraux en minéraux lourds les plus élevés se trouvent dans les fractions fines aussi bien dans les sables dunaires que dans les sables de plage. La teneur pondérale en THM dans la fraction fine varie entre 10,20 et 18,54 wt % dans les sables dunaires et entre 2,08 et 16,67 wt % dans les sables de plage. Les fractions moyenne et grossière présentent sensiblement les mêmes teneurs en THM (fig. 7).

La répartition des trois fractions dans les sables étudiés montre que la fraction fine

présente les pourcentages pondéraux les plus faibles dans les deux types de sables. Ces derniers sont donc constitués principalement par la fraction grossière et accessoirement par la fraction moyenne (fig. 8).

Le comptage des grains de minéraux lourds montre que la tourmaline est toujours le minéral le plus fréquent dans le résidu lourd des trois fractions dans les sables dunaires et les sables de plage (fig. 9). Dans les deux cas, c'est dans la fraction fine que ce minéral présente les teneurs les plus élevées, 42,16 % du nombre de grains comptés dans la fraction fine des sables dunaires et 50,63 % dans celle des sables de plage. Les pourcentages les plus élevés en rutile se trouvent dans la fraction fine des sables dunaires (6,86 %) et dans celle des sables de plage pour le zircon (9,04 %). L'Ilménite et les grenats ont plutôt tendance à se concentrer

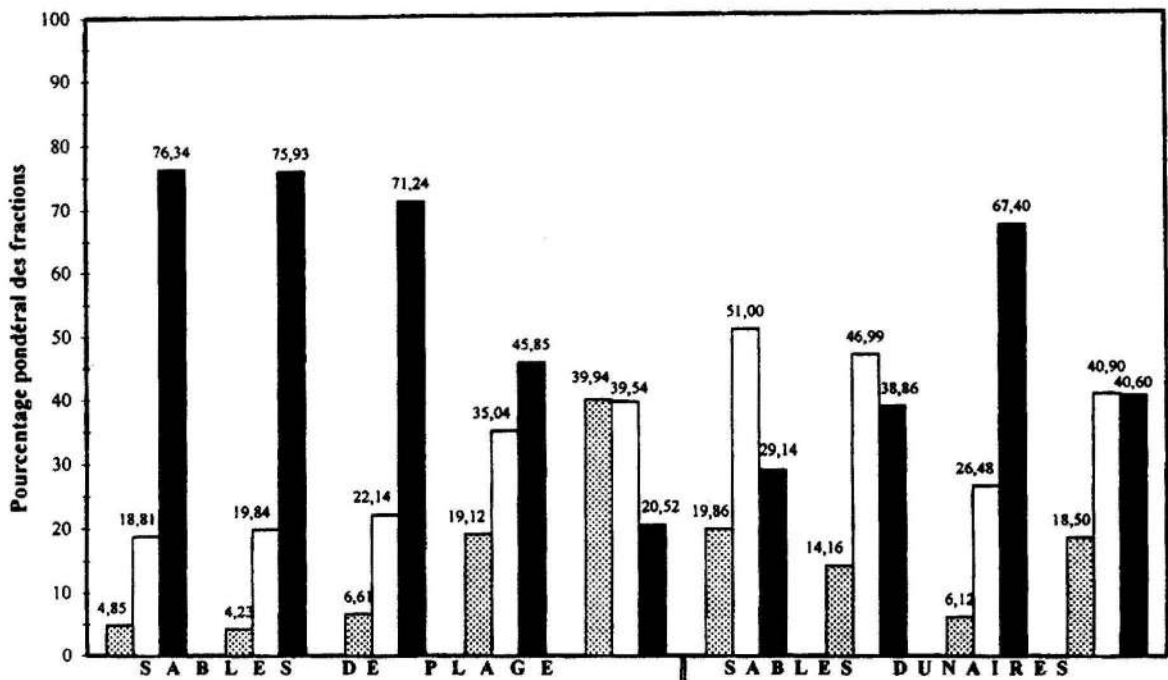


Fig. 8 – Pourcentages pondéraux relatifs des trois fractions (fine 63-250 µm en points, moyenne 250-315 µm en blanc et grossière 315-500 µm en noir) dans quatre échantillons de sables dunaires et cinq échantillons de plage de Oued Zhour.

*Relative weight percentages of the three fractions (fine 63-250 µm in striped points, medium 250-315 µm white and coarse 315-500 µm black) in four samples from dunes sands and five samples from beach sand of Oued Zhour area.*

dans les fractions moyenne et grossière dans les deux types de sables (fig. 9).

Le cortège minéral qui caractérise les sables dunaires de Oued Zhour milite pour une filiation génétique avec celui de plage du même secteur. La plage de Oued Zhour est caractérisée par un estran large, dépourvu de végétation, exposée généralement aux tempêtes de vent qui favorise un transport sélectif basé sur la taille et la densité des grains. Ces caractères font de la plage de Oued Zhour un lieu favorable pour l'accumulation des sédiments sableux et leur déplacement conjoncturel pour constituer les dunes avoisinantes. Les sédiments détritiques accumulés sur les plages ou les dunes de Oued Zhour proviennent des principales roches constituant les formations géologiques de la région. Ces dernières montrent un cortège minéral fort similaire à celui des accumulations

détritiques. On note cependant une prédominance des minéraux provenant des vastes affleurements de roches cristallines (métamorphique et magmatique) probablement à cause de leur dureté et de leur résistance à l'altération lors des processus d'érosion et de transport.

CONCLUSION

Les sables dunaires et les sables de plage de la région de Oued Zhour présentent des propriétés granulométriques et minéralogiques très similaires. Ces propriétés militent pour une filiation génétique entre les deux types de sables. La plage de Oued Zhour est un lieu favorable pour l'accumulation des sédiments sableux et leur déplacement conjoncturel pour constituer les dunes avoisinantes. Ces sédiments détritiques, accumulés sur la plage ou les dunes de

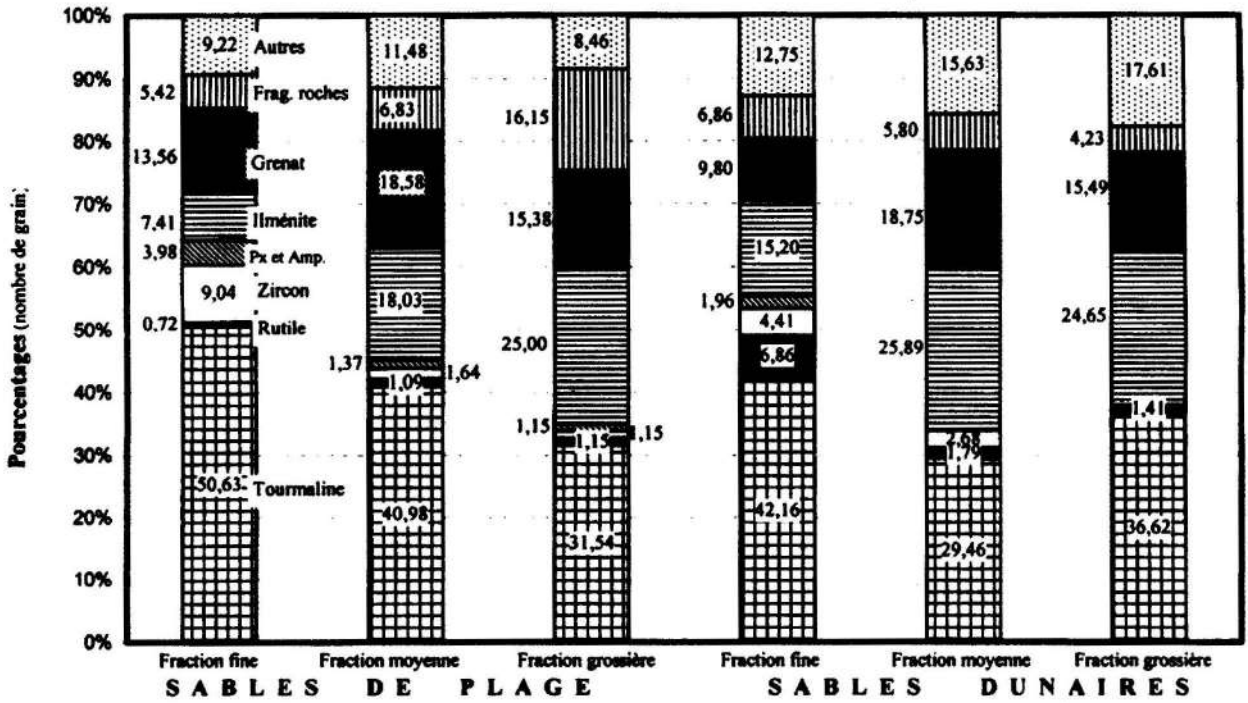


Fig. 9 - Répartition des différents minéraux lourds dans les trois fractions (fine, moyenne et grossière) dans les deux types de sables (dunaire et de plage) de Oued Zhour.

*Distribution of various heavy minerals in the three fractions (fine, medium and coarse) in dunes and beach sands of Oued Zhour area.*

GRANULOMÉTRIE ET CONCENTRATIONS EN MINÉRAUX LOURDS DES SABLES DUNAIRES ET DE PLAGE DE LA RÉGION DE OUED ZHOUR  
(JIJEL, ALGÉRIE NORD ORIENTALE)

Oued Zhour, proviennent des principales roches constituant les formations géologiques de la région. Ces dernières, consistent en des roches essentiellement cristallines (métamorphiques et magmatiques) constituant l'unité de Béni Ferguène : métapellites, pegmatites, paragneiss et orthogneiss, shistes, amphibolites. Les sables de la région de Oued Zhour montrent un cortège minéral fort similaire à celui des formations géologiques. Le quartz chargé d'oxyde de fer, les feldspaths et les micas sont les principaux constituants de la fraction légère. La fraction lourde renferme de la tourmaline comme minéral le plus abondant, des grenats, des pyroxènes et amphiboles, des ilménites à composition hétérogène à cause des teneurs en aluminium et silicium relativement élevées, du rutile, des fragments de roches et d'autres minéraux non identifiés.

Sur le plan économique, les sables de la région de Oued Zhour présentent des teneurs en minéraux lourds relativement faibles comparativement aux teneurs connues dans les gisements de type placer exploités ailleurs dans le monde. Les sables de la baie de Malindi, Kenya (Abuodha, 2003) et de la plage de Bujuru, Brésil (Dillenburg et al., 2004) montrent des teneurs en THM (Total Heavy Minerals), respectivement de 32 % et 30 %, beaucoup plus élevées que celles des sables dunaires et de plage de la région de Oued Zhour. Ces derniers ne présentent donc pas des concentrations en minéraux industriels conséquentes caractéristiques des gisements de type placer.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ABUODHA, J.O.Z. 2003.** Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi Bay coast, Kenya. *Journal of Earth Science*, 36, 41-54.
- AMRI, K. 1996.** Cinématique des déformations ductiles et fragiles de la région de Béni Belaïd – Oued Zhour (petite Kabylie). *Mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB)*, Alger, 144 p.
- BELMEDREK, S. 2006.** Granulométrie et minéraux lourds des sables dunaires et de plage des secteurs de Oued Zhour et de Béni Belaïd (Jijel, Algérie nord orientale). *Mémoire de magister, Université de Constantine*, 102 p.
- BERTOIS, L. 1975.** Les roches sédimentaires. Tome 1 : Etude sédimentologique des roches meubles (techniques et méthodes). *Edition Doin*, 254 p.
- BISHAY, A.F., ALY, S.M. AND ALY, M.M. 2005.** SEM-EDX investigation of the unreacted residual fractions from the sulphate route of ilmenite processing, Rosetta, Egypt. *Second International Conference on Geo-Resources in the Middle East and North Africa (GRMENA II)*, Cairo University, Egypt, pp. 369-385.
- BOUILLIN, J.P. ET KORNPBST, J. 1974.** Associations ultrabasiques de petite Kabylie : péridotites de type alpin et complexe stratifié; comparaison avec les zones internes bético-rifaines. *Bulletin de la Société géologique de France*. (7), XVI, n° 1, pp.183-192.
- BOUILLIN, J.P. 1977.** Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie). *Thèse Doctorat, Université Pierre et Marie Curie*, Paris VI, 509 p.
- DA SILVA, M.A.M. 1979.** Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil: from Rio-Grande to Chui (Rio Grande do Sul State). *Sedimentary Geology*, 24, 133-148.
- DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L. J. AND BARBOZA, E. G. 2004.** Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203, 43-56.
- DURAND DELGA, M. 1955.** Etude géologique de l'ouest de la chaîne numidique. *Thèse Doctorat, In Bulletin Service géologique de l'Algérie, N°24*. Alger, 533 p.
- FOLK, R.L AND WARD, W.C. 1957.** Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.

- FORCE, E.R. 1991.** Placer deposits, in E.R. Force, Eidel, J.J. and Naynard, J.B. (editors). Sedimentary and diagenetic mineral deposits: a basin analysis approach to exploration. *Reviews in Economic Geology*, 5, 131-140.
- KEHAL, A. 1998.** Géologie, pétrographie et géochimie des formations du socle de petite Kabylie dans la région des Béni Bélaid (Algérie nord-orientale). Altérations hydrothermales et minéralisations à Sn, Ta, Nb liées aux pegmatites. *Mém. de magister, Université de Constantine*, 73 p.
- MAHDJOUR, Y. 1991.** Cinématique des déformations et évolution P-T anté-alpines en petite Kabylie (Algérie nord orientale). *Thèse Doctorat d'Etat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB)*, Alger, 190 p.
- OUABADI, A. 1994.** Pétrologie, géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap Bougaroun, Beni Touffout, Filfila), Algérie nord orientale. *Thèse Doctorat d'Etat, Université de Rennes I, France*, 231 p.
- PARFENOFF, A., POMEROL, C. ET TOURENQ, J. 1970.** Les minéraux en grains, méthode d'étude et de détermination. *Edition Masson*, 578 p.
- RAOULT, J. F. 1974.** Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du Constantinois, Algérie). *Mémoire de la Société géologique de France*, N° 121, 163p.
- ROUBAULT, M. 1934.** La Kabylie de Collo: Etude géologique. *Thèse d'Etat, Paris*, 272 p.
- Towner R.R. 1992.** International Strategic Mineral Inventory, Summary report – Zirconium. *U.S. Geological Survey, circular 930-L*, 47 p.