

Les sables titanifères du littoral d'Azemmour et de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia (côte atlantique marocaine) : sédimentologie et potentiel d'exploitation

Nadia MHAMMDI¹, Mohammed ACHAB², Naïma HAMOUMI³ & Addi AZZA⁴

1. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Physique du Globe, Av. Ibn Batouta, B.P. 703, Agdal, Rabat. e-mail : mhammdi@israbat.ac.ma

2. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Géomorphologie et de Cartographie, Av. Ibn Batouta, B.P. 703, Agdal, Rabat. e-mail : achab@israbat.ac.ma

3. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Av. Ibn Batouta, B.P. 1014 R.P., Rabat, Agdal. e-mail : naima.h@iam.net.ma

4. Ministère de l'Energie et des Mines, Direction des Mines, B.P. 6208 Instituts, Rabat. e-mail : azza@mem.gov.ma

Résumé. L'étude granulométrique des sables titanifères de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia et du littoral d'Azemmour a permis de caractériser la dynamique sédimentaire de cette zone. La morphoscopie des quartz a révélé la prédominance des émoussés luisants, traduisant l'importance du remaniement marin. L'analyse minéralogique de la fraction lourde montre l'abondance de l'ilménite et de la magnétite sur le reste des minéraux. Ils se concentrent sur les plages au voisinage de l'embouchure de l'Oued l'Oum Er-Rbia. La répartition de l'ilménite montre une évolution croissante du rivage vers la plage aérienne. Les marées, les courants, les vagues et le vent sont les agents responsables de la concentration de ces minéraux.

Mots clés : Maroc, côte atlantique, sédimentologie, minéraux lourds, sables titanifères.

Titaniferous sands of the Azemmour coast and the oued Oum Er-Rbia estuary (Moroccan Atlantic coast) : sedimentology, and exploitation potential.

Abstract. The granulometric study of the titaniferous sands of the Oum Er-Rbia estuary and Azemmour littoral has allowed us to characterize the sedimentary dynamics of this area. Morphoscopy of quartz grains revealed the prevalence of the EL type, indicating an important marine reworking. Mineralogical analysis of the heavy fraction shows the abundance of ilmenite and magnetite with respect to the other minerals. They concentrate on beaches beside the Oum Er-Rbia mouth. Distribution of ilmenite shows an increasing evolution from the coastline to the aerial beach. Tides, currents, waves and wind are the main factors of mineral concentration.

Key words : Morocco, Atlantic coast, sedimentology, heavy minerals, titaniferous sands.

INTRODUCTION

Certains minéraux comme le titane sont utilisés actuellement dans beaucoup d'industries clefs, comme l'industrie aéronautique, sous forme d'alliages très élaborés, l'armement, l'industrie automobile, l'énergie atomique, la pharmacologie et d'autres industries de pointe.

Au Maroc, les recherches sur les sables titanifères des plages ont débuté en 1926 (Berger 1956, Loup 1960), notamment dans les régions voisines de l'embouchure de l'Oum Er-Rbia (Fig. 1). Des concentrations parfois titanifères, ont été signalées dans plusieurs plages situées à proximité des estuaires sur l'Atlantique : Oum Er-Rbia, Tensift, Massa, Souss (Berger 1956, Bouhaouli & Hilali 1976, Mhammdi 1990). Ces sables renferment une fraction lourde constituée d'ilménite, oligiste, rutile, magnétite titanifère, zircon, grenat et pyroxène, en proportions relatives variables. Ces minéraux proviendraient de la décomposition mécanique de roches éruptives hercyniennes et des basaltes du Trias, situées en amont (Berger 1956). Ils peuvent se concentrer sur les plages, au voisinage de l'embouchure des fleuves sous l'effet des courants des marées, des vagues, des courants *long-shore* et du vent.

Bouhaouli & Hilali (1976) ont estimé que les sables titanifères des côtes marocaines n'étaient pas exploitables puisqu'ils ne présentaient que 9,8% de dioxyde de titane (TiO₂), alors que la valeur minimale d'exploitation est de 10% de TiO₂ dans le tout-venant. Le faible tonnage et les

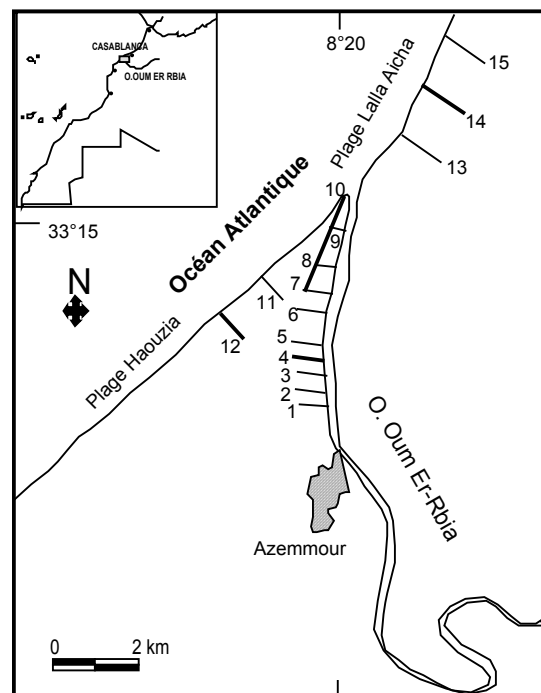


Figure 1. Carte de la région côtière d'Azemmour et localisation des profils ayant fait l'objet de prélèvements de sable.

difficultés de concentration sont les principaux obstacles à l'exploitation de ces sables.

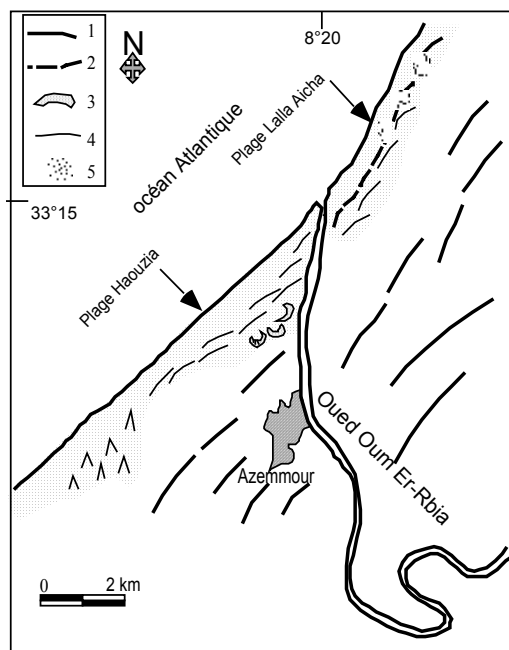


Figure 2. Caractéristiques morphologiques de la côte d'Azemmour. 1, dunes anciennes ; 2, limite des dunes actuelles ; 3, barkhanes ; 4, dunes en traînées ; 5, dunes confuses.

Le présent article expose les résultats actualisés d'une étude menée en 1990 sur les sables titanifères de l'embouchure de l'Oum Er-Rbia et des plages voisines du littoral d'Azemmour (Mhammdi 1990). L'objectif était de caractériser ces sables du point de vue granulométrique et minéralogique, par la détermination de la nature des minéraux lourds, leur concentration et leur répartition spatiale, ainsi que l'estimation du potentiel en minéraux lourds utiles.

CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE REGIONAL

Le site étudié se trouve à moins de 20 km au NE d'El Jadida, près de la ville d'Azemmour. Dans cette région, la côte est très sablonneuse avec pénétration des dunes vers l'arrière-pays sur une distance de 800 à 1000 m (Boulanouar 1999). Trois domaines physiographiques sont distingués : l'estuaire de l'Oum Er-Rbia, de part et d'autre duquel se trouvent les plages Lalla Aïcha Bahria au nord et Haouzia au sud (Fig. 1).

La morphologie et la sédimentation dans ce secteur sont influencées par la dynamique marine et estuarienne. Avec un bassin versant de 30 000 km², l'Oum Er-Rbia, représente la rivière la plus permanente et régulière du Maroc (Loup 1960). Le débit moyen annuel est de 117 m³/an (Akil 1990).

Le bassin versant de ce fleuve est caractérisé par l'affleurement de formations d'âge et de nature variables, appartenant à trois unités géomorphologiques principales : (i) les massifs montagneux plissés du Moyen Atlas et du Haut Atlas calcaire ; (ii) les plateaux et les plaines intérieurs, principalement la plaine de Tadla et le plateau des phosphates ; et (iii) la plaine littorale, qui comporte une

partie de la Meseta côtière et sa couverture crétacée (Saaidi 1979, El Gharbaoui 1987).

La zone d'étude se trouve sous l'influence d'un climat méditerranéen de type semi-aride, avec cependant des microclimats locaux très spécifiques (El Gharbaoui 1987).

Les caractéristiques morpho-sédimentaires actuelles de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia sont le résultat de son histoire quaternaire récente depuis le Calabrien (Saaidi 1979), et d'une importante influence anthropique au cours du siècle dernier. Les travaux d'aménagement, en particulier la multiplication des barrages édifiés sur le cours d'eau, ont provoqué la modification des caractéristiques hydro-sédimentaires de l'estuaire ainsi que de celles de la morphologie du lit de l'embouchure (Abkhar 1995, Boulanouar 1999, Zourarah 2002, Chaibi 2003). Le piégeage des sédiments en amont s'est traduit par une diminution des apports solides fluviaux à l'embouchure, contribuant à l'érosion des plages situées au nord et au sud de celle-ci (Chaibi 2003) et à l'édification d'une flèche sableuse qui tend à barrer l'embouchure sur l'autre rive (Abkhar 1995).

Les travaux précédents ont traité les problèmes environnementaux mentionnés ci-dessus sur la partie interne de l'estuaire à terre et le long de la bande littorale bordant l'embouchure (Mhammdi 1990, Boulanouar 1999, Mzari & Labraimi 2002, Zourarah 2002).

GÉOMORPHOLOGIE ET DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE

Dans la zone d'étude, plusieurs travaux ont traité la dynamique sédimentaire littorale et les facteurs de contrôle de son fonctionnement et évolution (Jaaidi 1993, Abkhar 1995, Boulanouar 1999, Mzari & Labraimi 2002, Chaibi 2003). Le littoral d'Azemmour est représenté par des plages de sables et de galets. Les plages minéralisées s'étendent sur plus de 8 km entre deux épis gréseux situés au nord et au sud de l'embouchure de l'Oum Er-Rbia ; la pente de la plage est faible et la largeur de l'estran varie entre 250 à 300 m. La ligne de rivage est soulignée par un liseré de minéraux lourds mis en place par la combinaison de l'énergie de déferlement des vagues et le mouvement de reflux sélectif entraînant les particules légères vers le large.

L'aspect morpho-sédimentaire actuel de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia résulte, d'une part, de son évolution durant le Quaternaire terminal et, d'autre part, de l'impact de l'activité humaine des derniers siècles (Boulanouar 1999, Zourarah 2002). Les études géomorphologiques de la région (Saaidi 1988), montrent que le système estuarien actuel de l'Oum Er-Rbia a migré vers le NW sur plus de 60 km pour atteindre sa configuration actuelle, en liaison avec les variations du niveau de la mer et le déplacement des lignes de rivage durant l'Holocène.

Au niveau de la plage (estran, plage aérienne), les rides de courant sont décimétriques, de direction NE-SW à NW-SE. La haute plage montre des galets dispersés non jointifs dans du sable, puis des galets sans matrice sableuse, jointifs, formant de véritables barres. Ces éléments proviennent des roches sédimentaires et éruptives de l'arrière-pays traversé par l'Oum Er-Rbia (Gigout 1951, Akil 1990).

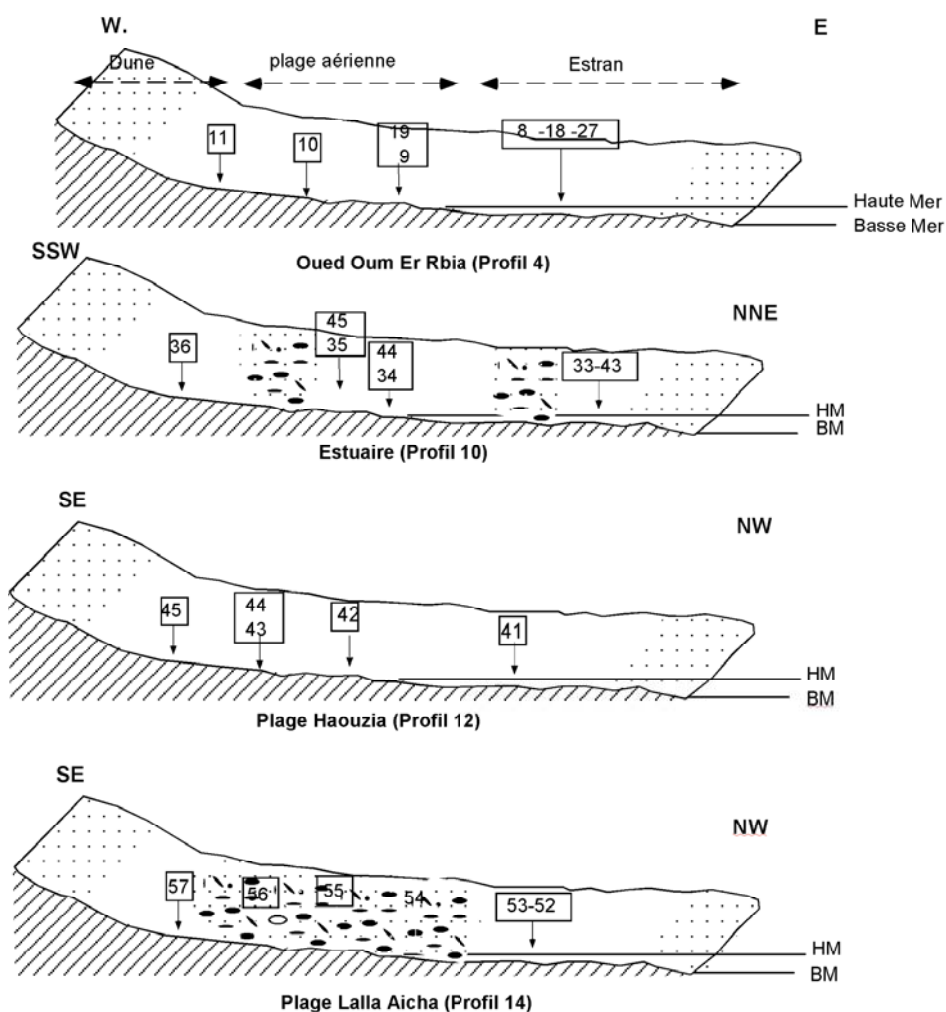


Figure 3. Localisation des échantillons étudiés le long des profils 4, 10, 12 et 14 (localisation à la figure 1).

Ces plages se trouvent limitées vers le continent par les accumulations dunaires actuelles (Fig. 2), principalement des dunes en traînées, en vagues et barkhanes engendrées par les alizés de direction NE à NW (Akil 1990). Ces dunes forment une succession de cordons parallèles entre eux, à la côte et aux anciens cordons dunaires visibles vers l'intérieur du continent (Guilcher & Joly 1954, Gigout & Raynal 1957). L'Oum Er-Rbia vient entailler ce système au niveau de l'embouchure. Le cordon dunaire de Haouzia est plus développé que celui de Lalla Aïcha en raison de l'existence d'une végétation qui permet de fixer le sable et de concentrer les minéraux lourds, jouant ainsi le rôle de paravent.

En raison de l'ensablement de l'estuaire, de vastes barres sableuses pointent hors de l'eau à marée basse. Ces barres migrent selon les saisons en fonction de l'intensité des facteurs hydrodynamiques, et forment de véritables obstacles aux apports sédimentaires fluviaux qui se concentrent à leur front.

Sur les bordures de l'estuaire, les barres sableuses alternent avec les barres caillouteuses, dont le grand axe est parallèle ou oblique au littoral. Ces dernières comportent d'importantes accumulations de galets de différente taille et nature pétrographique accusant un important émoussé. Leur mise en place est en relation avec les apports provenant des

terrasses d'une part, et avec des périodes de crue d'autre part, puisque la dynamique actuelle n'est pas en mesure de transporter ce genre de galets sauf en période de tempêtes. Les barres sableuses abritent plusieurs types de figures sédimentaires, en particulier des rides de courant qui montrent une évolution du rivage (rides lingoïdes et en croissants) jusqu'à la haute plage (rides symétriques et asymétriques).

ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES

Faciès granulométriques

Le travail de terrain, réalisé en 1990, a consisté en un prélèvement superficiel de 57 échantillons de sables, effectué dans différentes parties de la plage le long de 15 profils perpendiculaires ou obliques au rivage. Ces radiales sont espacées de 50 m au niveau de la rive gauche de l'estuaire et de 200 m le long des plages de Haouzia et de Lalla Aïcha (Fig. 1). Chaque station a fait l'objet de deux prélèvements, l'un de sables bruts pour la granulométrie et l'autre pour la séparation des minéraux lourds.

Un total de 20 échantillons (Fig. 3) ont fait l'objet d'une étude sédimentologique. L'analyse granulométrique du sable a été effectuée après tamisage à sec pendant 20 min à travers une colonne de tamis de type AFNOR, allant

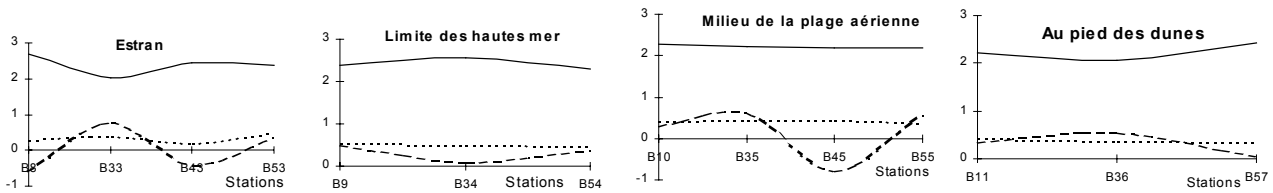
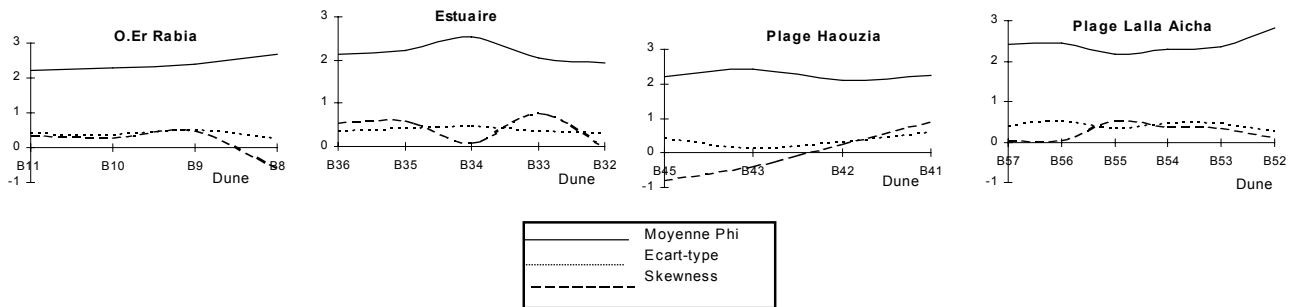
A**B**

Figure 4. Répartition des indices granulométrique des sables titanifères du littoral d’Azemmour. A, Répartition longitudinale ; B, répartition transversale. Localisation à la figure 1.

de 1 à 0,05 mm. Les résultats ont été interprétés selon les démarches sédimentologiques classiques (Folk 1966, Friedman & Sanders 1978).

L’analyse granulométrique des échantillons de sable prélevés le long du littoral et de l’estuaire de l’Oum Er-Rbia montre des faciès à granulométrie variable en allant de l’estran jusqu’à la haute plage.

La distribution granulométrique des échantillons le long des profils (Fig. 4) montre qu’au niveau de l’estran, les sables sont en général bien à très bien classés, avec abondance de sables fins au niveau de l’Oum Er-Rabia et des plages de Haouzia et de Lalla Aïcha, et des sables moyens au niveau de l’estuaire. Cette variation dans la granulométrie traduit un changement dans la dynamique du milieu et la prédominance de la dynamique marine sur la dynamique fluviale.

Le *skewness* indique des sables très asymétriques vers les grossiers pour l’oued Oum Er-Rbia, alors que ceux de l’estuaire et de la plage de Haouzia sont très asymétriques vers les fins (Fig. 4). Au niveau de la limite des hautes marées, la moyenne indique des sables fins, bien classés et très asymétriques (Oum Er-Rbia, Haouzia et Lalla Aïcha) à asymétriques (estuaire) vers les fins. Au milieu de la haute plage, les sables sont tous moyens, sauf pour la plage de Haouzia où la moyenne correspond à des sables fins, généralement bien classés, avec un meilleur classement du côté des fins. L’évolution nord-sud de la haute plage (Fig. 4A) montre une diminution des éléments terrigènes, représentés surtout au niveau de la rive gauche de Oum Er-Rbia, alors que les sables bioclastiques sont plus abondants au niveau des plages de Haouzia et de Lalla Aïcha.

Sur les coupes transversales (Fig. 4B, stations 12 et 14), la distribution granulométrique des sables de plage de la rive gauche de l’Oum Er Rbia montre des sables fins à moyens

généralement bien classés, et très asymétriques vers les fins, sauf pour l’échantillon du rivage qui est très asymétrique vers les grossiers. Au niveau de l’estuaire (P. 10), les sables de plage sont moyens à fins, bien classés et généralement très asymétriques vers les fins. Pour la plage de Haouzia, les sables montrent une répartition granulométrique semblable à celle de l’estuaire, avec une légère différence au niveau de la dune, où les sables sont très asymétriques vers les grossiers. Sur la plage de Lalla Aïcha, près du trait de côte, les sables sont fins, bien classés, asymétriques à très asymétriques vers les fins. Sur la haute plage, en plus de la présence de galets dispersés, les sables sont moyens, bien classés et très asymétriques vers les fins. Au pied des dunes, les sables sont fins, bien classés et presque dissymétriques. Cette diminution de la taille moyenne des sables de la haute plage vers les dunes serait due au transport par le vent.

Teneur en carbonates

Le dosage calcimétrique (CaCO_3) a été effectué en utilisant le calcimètre de Bernard.

La répartition spatiale des taux de carbonates des sables des plages étudiées montre des teneurs variables entre un maximum de 27% à l’estuaire et moins de 5% au niveau de l’Oum Er Rbia. Les diagrammes de variation du pourcentage de CaCO_3 en fonction des stations analysées montrent généralement une évolution décroissante de l’estran vers les dunes, sauf pour l’oued l’Oum Er-Rbia qui présente une légère augmentation en allant vers la dune (Fig. 5). Ceci s’explique par le fait que l’estran est riche en débris de coquilles et en fragments calcaires qui déferlent avec les vagues sur la haute plage. La diminution de la teneur en carbonates au niveau des dunes serait probablement liée soit à la taille des particules et des

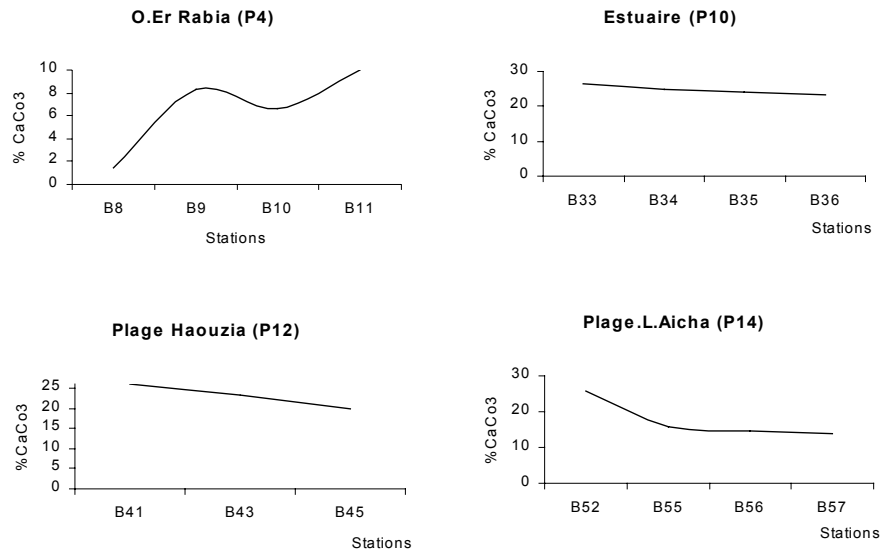


Figure 5. Diagrammes de variation de CaCO₃ (en %) le long des profils 4, 10, 12 et 14 (localisation aux figures 1 et 3).

fragments de coquilles entraînés par le vent et qui sont généralement très fins et vite dissous, soit à la dissolution qui est intimement liée aux facteurs climatiques et à la pluviosité. Les résultats de la calcimétrie montrent aussi une augmentation de la teneur en carbonates en allant de l'oued vers les plages de Haouzia et Lalla Aïcha riches en sables bioclastiques.

Morphoscopie des quartz

L'analyse morphoscopique des quartz a été réalisée à la loupe binoculaire (x40). Le comptage des grains a été effectué sur 500 grains environ. Les pourcentages relatifs des non-usés (NU), des ronds mats (RM) et des émoussés luisants (EL) ont été calculés d'après l'échelle de Powers (1953).

L'examen morphoscopique montre l'omniprésence des grains émoussés luisants, notamment au niveau de l'estran de Haouzia (80%) et Lalla Aïcha (85%) (Fig. 6), ce qui met en évidence l'influence du transport par l'eau et de la dynamique fluviomarine. Les RM sont présents au niveau des dunes conjointement avec les EL ; leur pourcentage est de 35% à l'Oum Er Rabia, 22% à l'estuaire et 19% sur les dunes de Haouzia et Lalla Aïcha. Ces grains de quartz montrent des traces de choc visibles à la loupe sous forme de petites cupules, témoignant d'une reprise éolienne. La présence d'un enduit ferrugineux sur quelques grains indique le début d'une pédogenèse. Les NU se présentent en faible pourcentage (< 5%) pouvant atteindre 20% sur la rive gauche de l'Oum Er-Rabia. La présence de ces grains refléterait une source d'apport proche, avec des sédiments peu remaniés.

Minéraux lourds, distribution et provenance

La séparation densimétrique des fractions lourde et légère ($d < 2,9$) a été effectuée en utilisant le Bromoforme CHBr₃ de densité 2,9 (Parfenoff *et al.* 1970). La séparation magnétique a été utilisée pour différencier certains

minéraux possédant une susceptibilité magnétique comme la magnétite, l'ilménite et l'hématite.

La détermination des minéraux de la fraction lourde a été réalisée par diffractométrie aux rayons X à l'aide d'un générateur de type Reigaku, avec une cathode de cobalt CoK α et une tension et une consommation de 40 kV-20 mA.

L'étude densimétrique et magnétique de la fraction lourde des sables des plages montre que les teneurs en minéraux lourds sont variables (5% à 35%) en fonction des secteurs du littoral (Fig. 7). A l'embouchure de l'Oum Er Rbia, les sables sont noirs et brillants et plus de 70% sont attirables à l'aimant. Ces sables sont riches en magnétite, ilménite, pyroxène et épidote, qui représentent environ 90 à 95% en poids de minéraux lourds. Du point de vue qualitatif, l'ilménite et la magnétite sont les plus prépondérants, alors que les autres minéraux tels que le rutile, l'anatase, le grenat, sont présents en pourcentages peu significatifs.

L'*ilménite* ($d = 4,4$ à $4,8$) est de couleur noire à brun noir, la nuance noire augmentant avec la teneur en Mg. Les grains sont tabulaires, anguleux ou en lamelles avec des crêtes plus ou moins émoussées. L'ilménite s'use difficilement même après un long transport (Parfenoff *et al.* 1970). Dans les sables noirs des plages d'Azemmour, elle est très altérée et forme des leucoxènes.

Le *rutile* et l'*anatase* lui sont associés en faible quantité. Le rutile se présente généralement sous l'aspect de grains arrondis brun rouge qui se forment à partir de l'ilménite par un processus hydrothermal (Wilhelm 1988).

L'*anatase* est très peu représenté (2%). Les quelques grains observés sont tabulaires en fragments ou en grains irréguliers de couleur bleue.

La *magnétite* ($d = 4,9$ à $5,2$) se présente dans les sables d'Azemmour sous forme de masses granulaires opaques de couleur noire. Son magnétisme fort lui permet de s'organiser en chapelets de grains cimentés entre eux. En

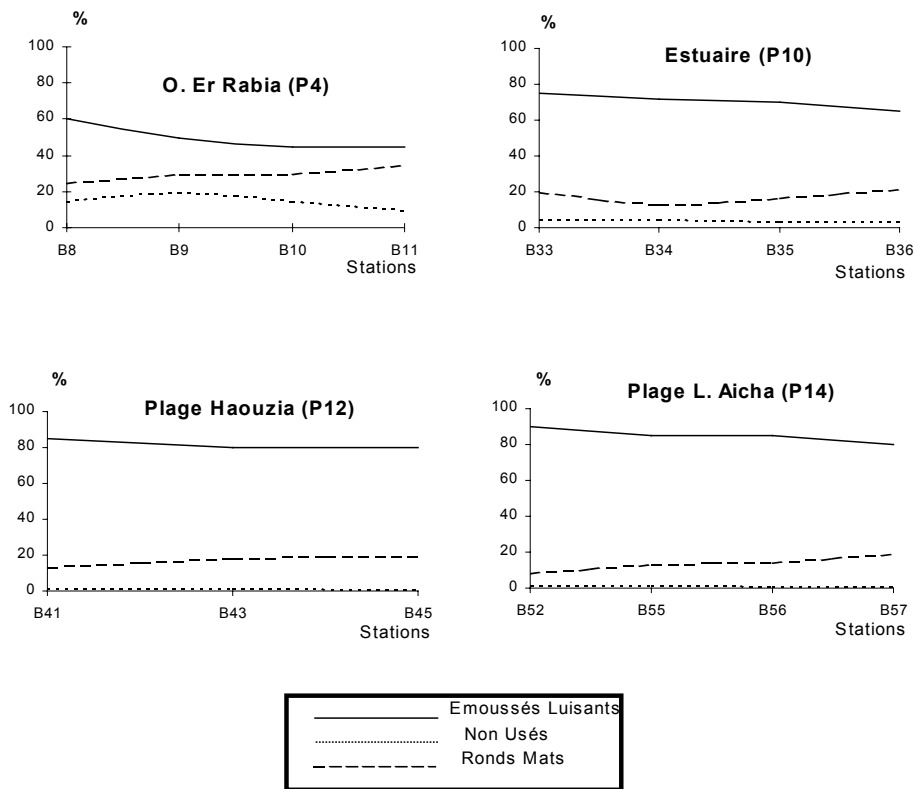


Figure 6. Morphoscopie de quartz des sables titanifères du littoral d'Azemmour

section polie, elle présente de nombreuses ex-solutions d'ilménite donnant la titanomagnétite.

Le pyroxène ($d=3,2$ à $3,5$) se présente sous forme de grains prismatiques, souvent allongés, verts, brillants, avec un éclat vitreux.

L'épidote ($d=3,35$ à $3,5$) est en quantité notable (23%) dans les sables d'Azemmour, et se présente en grains irréguliers allongés, de couleur vert pistache à vert brun, souvent très altérés.

Notre intérêt a porté particulièrement sur l'ilménite, minéral pouvant être valorisé, et qui prédomine dans les échantillons analysés. Il a donc été jugé utile de déterminer sa répartition spatiale et l'évolution de ses teneurs le long des sables des plages du littoral d'Azemmour en vue d'une évaluation des réserves des sables en ce minéral. Le long de la plage de Haouzia, s'observe une évolution croissante du

rivage (5%) vers la haute plage (30%). La même évolution se rencontre au niveau de la plage de Lalla Aïcha (5% à 27%). Au niveau de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia, les sables de plage montrent une augmentation du pourcentage en ilménite du rivage (60%) vers la partie médiane de la haute plage (90%) qui décroît par la suite au pied des dunes (30%). Cette variation des concentrations de l'ilménite s'expliquerait par la sélection et le tri des minéraux par les courants *cross-shore* et *long-shore* et par la dynamique éolienne. Lorsque la mer se retire, elle ramène les grains les plus légers vers la mer, alors que les plus lourds se concentrent au niveau de la ligne de haute mer, puis sont repris par le vent au niveau de la plage aérienne. Le long de l'estuaire, zone d'interaction des courants fluviaux et marins, le pourcentage de l'ilménite entre le bas estran et la haute plage est sensiblement identique, en relation avec la grande étendue de l'estran à marée basse et la

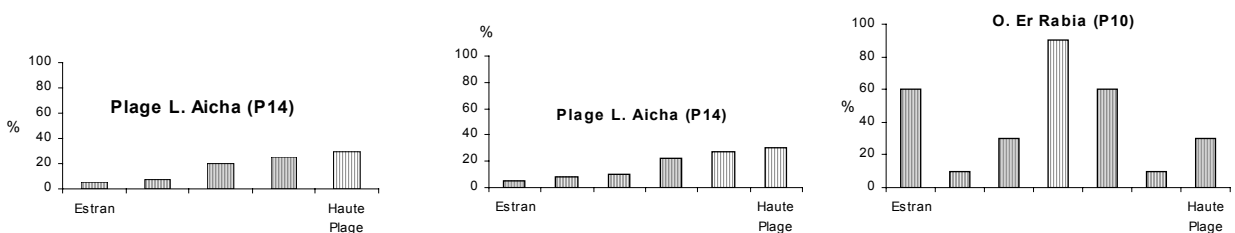
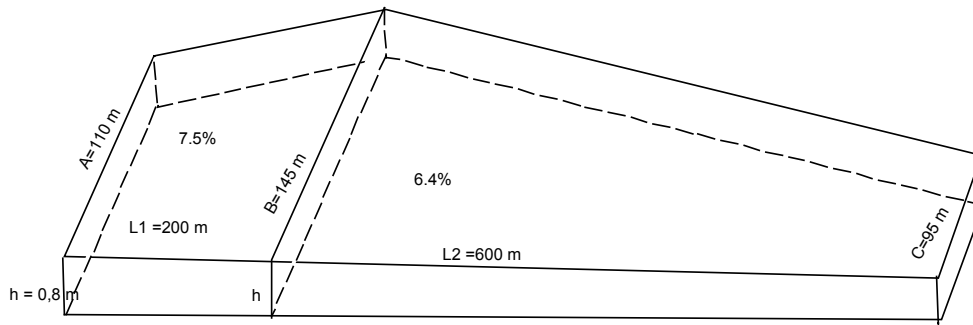


Figure 7. Variation de l'ilménite dans les sables titanifères (en %) dans le littoral d'Azemmour.



$$S_1 = \frac{(A+B)}{2} \times L_1 \quad ; \quad S_2 = \frac{(A+C)}{2} \times L_2 \quad \text{Avec } A = 110 \text{ m} \quad L_1 = 200 \text{ m}$$

$$B = 145 \text{ m} \quad L_2 = 600 \text{ m}$$

$$C = 95 \text{ m}$$

$$V_1 = S_1 \times h \quad V_2 = S_2 \times h$$

$$V_1 = 20\,400 \text{ m}^3 \quad V_2 = 57\,600 \text{ m}^3 \quad h = 0.8 \text{ m}$$

Poids Total du sable : $V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 = 109\,200 \text{ t}$; avec ρ = densité du sable

Poids des minéraux lourds : $V_1 \rho_1 t_1 + V_2 \rho_2 t_2 = 7302,96 \text{ t}$; avec t_1 = Teneur moy. = 7,5 %
 t_2 = Teneur moy. = 6,4%

Figure 8. Méthode des trapèzes (voir texte) utilisée pour le calcul du poids des minéraux lourds dans le littoral d’Azemmour.

présence de grève au niveau de la haute plage. En outre, la plage de Haouzia, située au sud, est plus minéralisée que la plage de Lalla Aicha. Cette dissymétrie traduirait probablement l’action de la dérive littorale dirigée vers le nord (Jaaidi 1993, Mzari & Labraimi 2002).

L’ilménite et le reste des minéraux lourds déposés à l’embouchure de l’oued, proviennent essentiellement des roches plutoniques hercyniennes du massif des Rehamna et des basaltes du Trias traversés par l’Oum Er Rbia (Berger 1956). Il est cependant certain qu’après l’implantation des barrages le long de l’Oum Er-Rabia, l’alimentation par le continent a diminué, sauf lors des rares crues qui dépassent la côte normale de la retenue ou lors de la restitution de la vidange de fond, ce qui fait que seuls les minéraux déjà déposés au niveau des berges et du littoral sont remaniés et reconcentrés répétitivement par l’océan. Cependant, le tonnage actuel estimé pour les minéraux lourds n’augmentera pas et peut être même diminuera-t-il en raison des altérations, des remaniements et de l’érosion.

CONCENTRATION ET EVALUATION DES RESERVES

La concentration de minéraux lourds sur les plages du littoral d’Azemmour et la mise en place de placers de sables noirs dépendent de plusieurs conditions en relation avec l’existence d’une source d’alimentation topographiquement élevée, de l’intensité de l’altération et de la résistance des minéraux à l’usure, ainsi que de l’existence d’un régime hydrodynamique (houle, courants littoraux, vent, etc.) responsable de la dynamique sédimentaire dans la zone et de la répartition et la concentration des minéraux lourds sur le littoral (Akil & Gayet 1988).

Les principes mécaniques de la formation des placers sont empruntés aux lois physiques qui régissent les processus sédimentaires. En effet, la cause de la concentration des minéraux lourds des placers étant la gravité, les deux seuls moteurs de la concentration sont le mouvement de l’air et celui de l’eau. Selon Raguin (1963), l’action d’un courant sur des grains de même forme est fonction de leur densité (trriage) et de leur diamètre (calibrage). Ces deux tendances, qui jouent simultanément, permettent d’expliquer les caractères essentiels de la sédimentation détritique.

Le calcul du tonnage relatif en minéraux lourds dans l’ensemble des plages du littoral d’Azemmour a été réalisé à l’aide la méthode des trapèzes (Fig. 8). Les calculs réalisés ont permis de déduire que le tonnage pour cette zone est de l’ordre de 10 000 t, dont 3000 à 4500 t d’ilménite et 2000 à 3000 t de Zircon, à raison de 30 à 45% d’ilménite et 20 à 30% de zircon dans le total des minéraux lourds. Le faible tonnage en minéraux lourds obtenus, le cours du titane, la difficulté du procédé d’enrichissement et la pollution que causerait cet enrichissement au site touristique de la région d’Azemmour sont des obstacles sérieux à l’exploitation du titane. Cependant, les recherches pourraient être orientées vers la prospection d’anciennes plages minéralisées datant de la dernière glaciation, et qui logiquement seraient plus minéralisées que la plage actuelle, les nombreux barrages ayant considérablement réduit les apports fluviaux vers cette dernière.

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

1) L’étude de la dynamique sédimentaire du littoral d’Azemmour permet de caractériser trois domaines :

– les plages de sables et de galets plus ou moins étendues (plages de Haouzia et Lalla Aïcha), situées au nord et au sud de l’embouchure de l’Oum Er Rbia ;

– l’estuaire, dont les bordures montrent une alternance de barres sableuses et de barres caillouteuses parallèles au trait de côte ; les accumulations de galets sont de différentes tailles et de nature pétrographique accusant un important émoussé ; les barres sableuses comportent plusieurs types de figures sédimentaires, en particulier des rides de courants ;

– le cordon littoral qui, limite vers le continent ces deux domaines, et qui montre des dunes en traînées, en vagues et des barkhanes engendrées par les vents alizés de direction NE à NW.

2) L’analyse granulométrique des sédiments des plages étudiées, montre des sables fins à moyens et un bon classement des grains fins, avec cependant quelques variations dues en majeure partie à une alimentation grossière par les niveaux de prolifération d’organismes marins ou terrestres. La répartition transversale des sédiments présente une évolution granodécroissante du rivage vers les dunes, sauf au niveau de la rive gauche de l’oued Oum Er-Rbia. Ceci est dû à l’action sélective des vents qui ne transportent que les particules légères, alors que les particules grossières sont soumises aux actions des vagues, de la houle, et de la dérive littorale. Le taux en carbonates montre une légère diminution de l’estrans vers les dunes, et une augmentation au niveau de la rive gauche de l’Oum Er-Rbia. Ce résultat a été confirmé plus de dix ans après par Mzari & Labraïmi (2002), lors de leur étude de la même zone puisque qu’ils ont trouvé, que la plage se caractérise dans l’ensemble par un sable fin, bien à très bien classé avec un mode principal de 125 µm. A proximité de l’embouchure, une accumulation sableuse présente un sable moyen avec un mode principal de 200 µm, et les variations spatiales des paramètres granulométriques permettent de conclure que la plage est caractérisée par des accumulations sableuses distribuées de façon homogène.

3) La morphoscopie des quartz montre une prédominance des émoussés luisants traduisant l’importance du remaniement marin ou estuarien. L’analyse minéralogique de la fraction lourde montre l’abondance de l’ilménite et de la magnétite sur le reste des minéraux. Le sable de la plage de Haouzia est plus minéralisé que celui de la plage Lalla Aïcha, ce qui traduirait probablement l’action sud-nord de la dérive littorale. La répartition de l’ilménite le long des sables des plages du littoral d’Azemmour montre une évolution croissante du bas estrans vers la plage aérienne. Cette augmentation s’expliquerait par la sélection et le tri des minéraux par le mouvement des vagues. L’origine continentale de l’ilménite est incontestable ; cependant, une partie de celle-ci pourrait provenir du remaniement par les courants côtiers marins d’anciens massifs, ou d’anciennes plages minéralisées, surtout après l’installation de barrages sur l’Oum Er Rbia.

4) La séparation industrielle du titane est un procédé polluant et coûteux. En plus, il doit tenir compte de la présence simultanée de l’ilménite, de la magnétite et de l’hématite qui présentent des propriétés physiques voisines. Le prélèvement de sable sur la plage pourrait être à

l’origine d’une érosion du littoral qui aboutirait à une salification des aquifères. Les recherches devraient être orientées vers la prospection d’anciennes plages minéralisées datant de la dernière glaciation.

Remerciements

Nous remercions MM. Bendahou ZOURARAH (Faculté des Sciences, El Jadida) et un lecteur anonyme pour leurs remarques et suggestions qui ont permis d’améliorer la première version du manuscrit.

Références

- Akhar F. 1995. *Etude géomorphologique de la basse vallée de l’Oum Er-Rabia (Meseta côtière marocaine, de Sidi Said Maa Chou à Azemmour)*. Thèse de Doctorat, Université Val de Marne, Paris, 226 p.
- Akil M. & Gayet J. 1988. Evolution de minéraux lourds dans les formations actuelles et plioquaternaires de plateforme atlantique marocaine. *Bull. Inst. Géol. Bassin d’Aquitaine*, Bordeaux, 43, 153-161.
- Akil M. 1990. *Les dépôts quaternaires littoraux entre Casablanca et Cap Beddouza*. Thèse d’Etat, Université Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 417 p.
- Berger W. 1956. Etude des sables noirs des plages atlantiques du Maroc. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 133, t. 14, 55-66.
- Bouhaouli A. & Hilali E.A. 1976. Note sur les sables noirs de l’embouchure de l’Oum Er Rbia, Notes techniques n° 106. 11 p.
- Boulanouar Z. 1999. *L’arc sableux d’El Jadida-Azemmour (Maroc) ; étude morphosédimentaire et approche dynamique pour une gestion environnementale*. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 255 p.
- Chaïbi M. 2003. *Dynamique sédimentaire et morphogénèse actuelle du littoral d’El Jadida (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université de Provence, Marseille III, 236 p.
- El Gharbaoui A. 1987. Climat marocain. In : El Gharbaoui A. (direct.) – *La Grande Encyclopédie du Maroc*, volume Géographie physique, pp. 8-31.
- Folk R.L. 1966. A review of grain size parameters. *Sedimentology*, 6, 73-93.
- Friedman G.M. & Sanders J.F. 1978. *Principes of sedimentology*. John Wiley & Sons, New York. 792 p.
- Gigout M. 1951. Etudes géologiques sur la Meseta marocaine occidentale (arrière-pays de Casablanca, Mazagan et Safi). *Trav. Inst. Sci. Chérifien*, 3, t. 1, 507 p.
- Gigout M. & Raynal R. 1957. Corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le Quaternaire marocain. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 244, 2519-2521.
- Guilcher A. & Joly F. 1954. Recherches sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc. *Trav. Inst. Sci. Chérifien*, Rabat, 2, 104 p.
- Loup J. 1960. L’Oum Er Rbia : contribution à l’étude hydrologique d’un fleuve marocain. *Trav. Inst. Sci. Chérifien*, sér. Géol & Géogr. phys., 9, 252 p.
- Loup J. 1962. L’Oum Er Rbia : étude sur une grande rivière des montagnes marocaines. *Rev. Géogr. alp.*, 50, 4, 519-555.
- Jaaidi E.B. 1993. *La couverture sédimentaire post-glaciaire de la plate-forme continentale atlantique ouest-rifaine : exemple d’une séquence transgressive*. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 304 p.
- Mhammedi N. 1990. *Etude sédimentologique et minéralogique des sables titanifères du littoral d’Azemmour à l’embouchure de l’Oum-Er-Rbia*. Mém. C.E.A, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 58 p.
- Mzari A. & Labraïmi M. 2002 : Transit sédimentaire et évolution morphologique de la côte Atlantique marocaine entre la

- pointe d'Azemmour et le port d'El Jadida. *Madageo*, 9 (article en ligne).
- Parfenoff A., Pomerol C. & Tourenq J. 1970. *Les minéraux en grains. Méthodes d'études et détermination*. Masson Ed., Paris, 575 p.
- Powers M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *J. Sedim. Petrol.*, 23, 117-119.
- Saaidi E.K. 1979. *Etude géologique du Quaternaire de la Meseta côtière marocaine : terrasses fluviales et autres épandages*. Thèse d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat.
- Saaidi E.K. 1988. *Géologie du Quaternaire marocain*. SMER ed., Rabat, 440 p.
- Raguin E., 1963. *Géologie des gîtes minéraux*, Masson Ed., Paris.
- Wilhelm E. 1988. L'analyse des minéraux lourds en exploration minière. *Chron. Rech. Min.*, 490,
- Zourarah B. 2002. *Les processus côtiers actuels et leur impact sur l'environnement côtier des Doukkala*. Thèse d'Etat, Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. El Jadida, 376 p.

Manuscrit soumis le 21 mai 2004
Version modifiée acceptée le 17 mars 2005