

# Mise en évidence d'un corps volcanique par l'aéromagnétisme en offshore au sud de Kenitra ; relation avec les augites des formations quaternaires littorales entre Rabat et El Jadida (Meseta côtière septentrionale, Maroc)

Mostapha AKIL<sup>1</sup>, Jesús GALINDO-ZALDÍVAR<sup>2</sup>, Ahmed CHALOUAN<sup>1</sup>  
Patricia RUANO<sup>3</sup> & Farida ANAHNAH<sup>2</sup>

1. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Av. Ibn Batouta, B.P. 1014 R.P., Rabat (Maroc). e-mail : mo\_akil2@yahoo.fr ; chalouan@fsr.ac.ma

2. Universidad de Granada, Departamento de Geodinámica, 18071 Granada (Espagne). e-mail: jgalindo@ugr.es ; fanahnah@ugr.es

3. Universidad de Barcelona, Departament de Geologia Dinàmica i Geofísica, 08071 Barcelona (Espagne). e-mail: pruno@ub.edu

**Résumé.** Les dépôts quaternaires de la bande littorale atlantique de la Meseta côtière marocaine entre Rabat et El Jadida montrent des augites fraîches dans les sédiments d'âge maârifien à actuel. Leur origine avait été attribuée aux basaltes quaternaires du Moyen Atlas. Ces augites sont différentes de celles rencontrées dans les dépôts pliocènes et messaoudiens (Quaternaire le plus ancien), de petite taille et de forme très usée, qui sont issues probablement des dolérites triasiques. L'étude des anomalies magnétiques près du rivage actuel nous a permis de localiser en mer un corps immergé et allongé, probablement de nature volcanique, n'affleurant pas à terre et qui serait à l'origine de ces augites fraîches. En tenant compte des arguments géologiques et géophysiques, cette étude révèle pour la première fois l'extension probable des basaltes quaternaires jusqu'au plateau continental, près de la région de Rabat.

**Mots clés :** Meseta côtière marocaine, dépôts marins quaternaires, augites, anomalies magnétiques, basaltes.

**Evidence of a volcanic body revealed by aeromagnetic survey along the southern offshore of Kenitra; relationship with the augites of the Quaternary coastal formations between Rabat and El Jadida (northern coastal Meseta, Morocco)**

**Abstract.** The onshore Quaternary sediments of the Moroccan Meseta along the Atlantic coast between Rabat and El Jadida show fresh augites in the strata of Maârifian to Present age. Up to date, their origin was assigned to the Quaternary basalts of the Middle Atlas. However, these augites have different features than those of the Pliocene and Messaoudian (earliest Quaternary) deposits, which are of small size and very rounded shapes, and probably derive from Triassic dolerites. Analysis of the aeromagnetic anomalies close to the coastline allowed us to localize an anomalous shallow body in the sea, probably not outcropping and of a volcanic nature, which may be the source of the fresh augites. Taking into account the geological and geophysical data, this survey enlarges the extension of the Quaternary basalts up to the continental shelf, close to the Rabat area.

**Key words:** Coastal Moroccan Meseta, Quaternary marine deposits, augites, magnetic anomalies, basalts.

## INTRODUCTION

La bordure atlantique de la Meseta côtière marocaine est formée par des roches paléozoïques peu ou pas métamorphiques, principalement des schistes, des grès et des pélites du Cambrien et de l'Ordovicien, avec quelques intercalations de roches basiques près de Rabat. Les dépôts paléozoïques sont surmontés par une formation triasique, constituée d'argiles avec des intercalations de coulées de basaltes, et de dolérites. Dans l'arrière-pays du littoral, à 200 km de la côte actuelle, affleurent des basaltes quaternaires dans la partie orientale de la Meseta occidentale, dans le Moyen Atlas et dans le bassin du Saïss.

L'étude des minéraux lourds dans les dépôts actuels du plateau continental (Cirac *et al.* 1979, Jaaidi 1981, Duplantier & Lesueur 1983) et dans les formations quaternaires littorales (Akil 1980) (Fig. 1) montre un cortège minéralogique caractérisé par l'abondance des pyroxènes, notamment des augites. Des travaux plus récents effectués dans ces deux domaines confirment les premiers résultats et révèlent des variations du contenu en minéraux lourds dans plusieurs coupes, dont les dépôts sont d'âge pliocène à actuel (Akil 1987, 1990, Cirac 1987, Jaaidi 1993, El Graoui 1994, Sitel & Akil 1998). Ces coupes, perpendiculaires à la côte actuelle, se répartissent entre El

Jadida et Rabat, de part et d'autre de la coupe des stratotypes du Quaternaire marin de Casablanca (Biberson 1961).

Dans la partie occidentale du bassin du Gharb, Cirac (1987) décrit l'apparition des augites dans le Messaoudien ; leur origine est attribuée aux basaltes quaternaires du Moyen Atlas, datés de 1,8 à 0,5 Ma (Harmand & Cantagrel 1984). Ces minéraux auraient été acheminés par l'oued Sebou jusqu'à la mer. L'observation microscopique des augites nous a permis de distinguer, d'une part, des cristaux de petite taille, très usés dans les dépôts du Messaoudien, et d'autre part, des augites fraîches de grande taille, dépourvues de traces d'altération, et qui deviennent plus abondantes dans les dépôts plus récents.

Les données géophysiques permettent de caractériser la partie haute de la région du littoral submergé qui n'est pas accessible aux observations directes de terrain. Dans la région située entre Rabat et Kenitra existent des relevés aéromagnétiques qui suggèrent la présence de roches basiques. Les profils de sismique-réflexion et les données gravimétriques détaillées dans les zones à grande profondeur n'atteignent pas la côte (Jaaidi 1993) car leurs moyens d'acquisition nécessitent l'utilisation de bateaux de grande envergure avec des équipements scientifiques

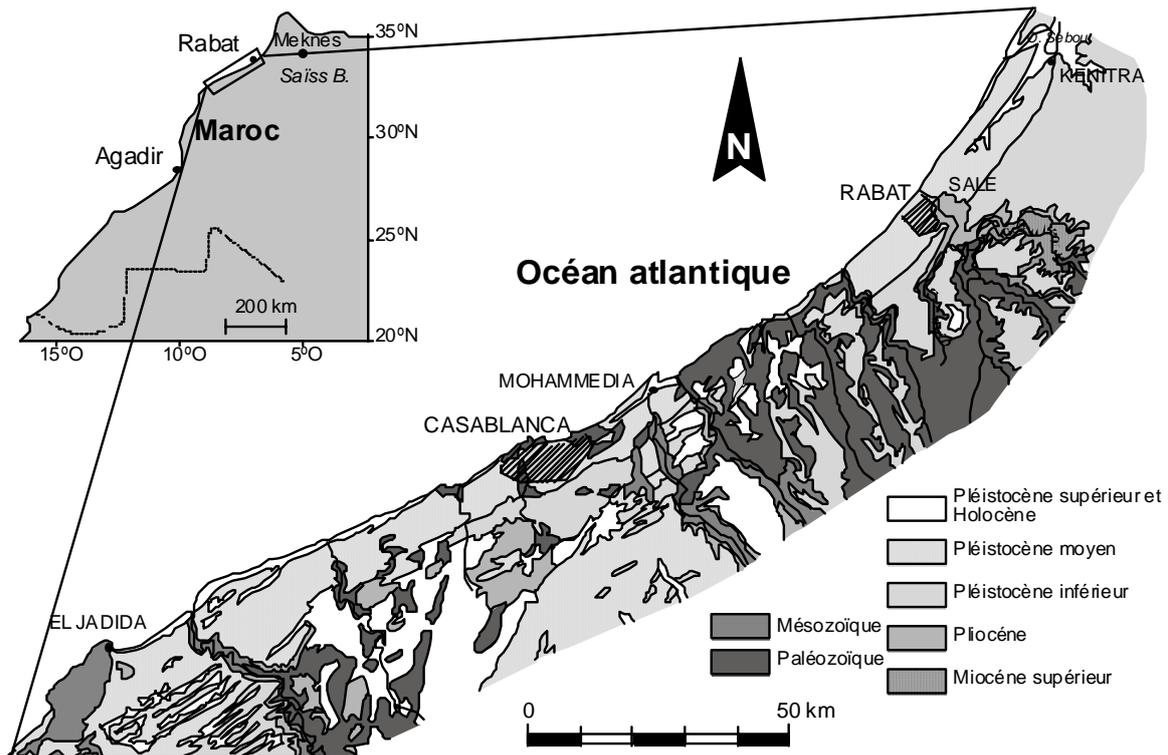


Figure 1. Localisation et carte géologique de la région côtière entre Kénitra et El Jadida. Lithologie : Miocène supérieur = marne ; Pliocène et Quaternaire = conglomérat lumachellicque et calcarénites marine et dunaire.

qui ne peuvent pas étudier les zones à faible profondeur. Les données gravimétriques satellitaires sont disponibles dans la partie marine du littoral (Sandwell & Smith 1997), mais leur faible résolution ne permet pas d'effectuer des études de détail.

L'objectif de cette note est de discuter l'origine des grains frais d'augite en tenant compte, d'une part, de l'abondance des augites dans les dépôts quaternaires littoraux de la Meseta côtière marocaine, et d'autre part, de l'analyse et l'interprétation des données magnétiques. L'examen des données aéromagnétiques montre l'existence d'un dipôle très marqué au niveau du plateau continental, près de la côte de Rabat. Or, les dépôts quaternaires qui recouvrent cette région ne peuvent pas rendre compte à eux seuls de l'anomalie observée, qui peut être liée à un corps basique ou métallique. Si on attribue les augites fraîches aux basaltes quaternaires du Moyen Atlas, il paraît difficile d'expliquer la fraîcheur et la teneur élevée de ces minéraux dans les dépôts quaternaires et actuels après avoir parcouru une grande distance de transport jusqu'à la côte atlantique. Cette étude a également des implications sur l'extension du volcanisme basaltique quaternaire dans cette région.

#### DISTRIBUTION DES CRISTAUX D'AUGITE DANS LES DEPOTS QUATERNAIRES

La bande littorale entre Rabat et El Jadida est longée par un système de cordons dunaires consolidés d'âge pliocène et quaternaire, plus ou moins parallèles entre eux et au rivage, séparés par des couloirs interdunaires. L'importance de ces édifices éoliens, qui surmontent des niveaux marins du Pliocène et du Quaternaire ancien (Messauoudien) (Fig. 2), varie selon les régions du littoral.

Dans ce segment du littoral atlantique (région de Casablanca), les terrasses marines quaternaires montrent un étagement de la plus ancienne vers la plus récente, en allant de l'intérieur du continent vers la mer (Biberson 1961). L'analyse séquentielle (Akil 1990) révèle que les dépôts de chaque étage quaternaire constituent une séquence régressive de progradation, mise en place lors d'un haut niveau marin.

Nous avons déterminé la distribution des grains d'augite dans les sédiments quaternaires de cette bande littorale longue de 200 km et large d'une dizaine de kilomètres, dans laquelle la répartition des minéraux est homogène dans les dépôts de chaque étage (Fig. 2). L'étude a été effectuée sur la fraction granulométrique  $0,050 \text{ mm} < C < 0,200 \text{ mm}$ , correspondant au résidu de décarbonatation des calcarénites quaternaires.

Dans la coupe des stratotypes quaternaires de Casablanca, les minéraux lourds dans le Pliocène sous-jacent représentent moins de 5% de la fraction détritique non carbonatée: le cortège minéralogique se compose de zircon (33%), d'épidote (25%), de grenat (13%), d'augite (12%), de tourmaline (11%), d'andalousite (3%) et de rutile (3%). Les augites sont de petite taille, de l'ordre de 0,1 mm, et ont une forme très usée. Dans les dépôts messauoudiens (Quaternaire le plus ancien), les minéraux lourds constituent moins de 10 % de la fraction détritique non carbonatée, avec un pourcentage d'augites de 36% ; ces dernières sont de petite taille et de forme très usée, comme celles du Pliocène, mais deviennent relativement plus abondantes. Les dépôts du Maârifien à l'Actuel s'enrichissent en minéraux lourds transparents qui peuvent atteindre 50 à 60% de l'assemblage, et les augites en constituent 60%. A partir du Maârifien, un

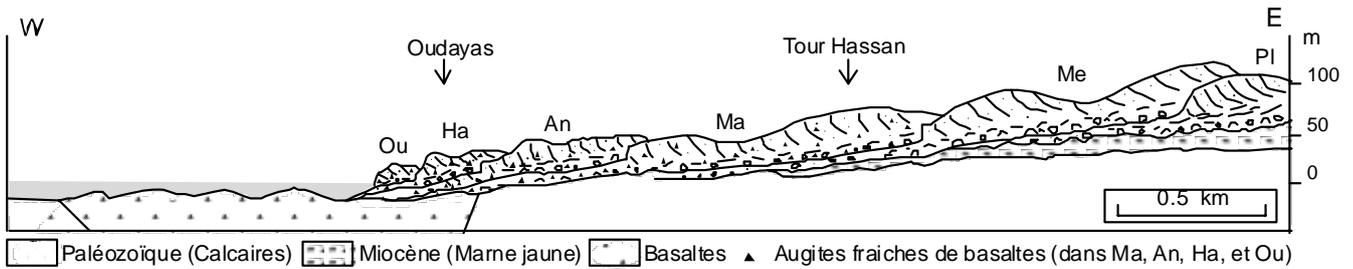


Figure 2. Coupe géologique synthétique perpendiculaire à la ligne de côte, montrant les niveaux de plage dans la région de Rabat. On a indiqué la position possible du corps basique responsable de l'apparition des cristaux frais d'augite dans les formations après la limite du Messaoudien-Maârifien. Pl: Pliocène (conglomérat lumachellique et calcarénites marine et dunaire), Me: Messaoudien (*idem*), Ma: Maârifien (*idem*), An: Anfatién (*idem*), Ha: Harounien (*idem*), Ou: Ouljien (*idem*).

événement important se traduit par l'apparition des augites fraîches et de grande taille (de l'ordre de 0,16 mm). Les augites très usées et de petite taille persistent mais leur pourcentage est relativement très faible. L'analyse des calcarénites de l'Anfatién, de l'Harounien, de l'Ouljien et des sables des plages actuelles de la région de Casablanca montre que le pourcentage des grains transparents augmente progressivement à mesure que l'âge est plus récent, pour atteindre 80% des minéraux lourds. Le cortège minéralogique est surtout dominé par les augites fraîches dont le pourcentage augmente progressivement en allant vers l'Actuel (Anfatién 75%, Harounien 85%, Ouljien 90 %, Actuel 95%). Les autres minéraux lourds deviennent relativement rares. Les observations effectuées ailleurs dans la bande littorale entre Rabat et El Jadida sont similaires à celles des stratotypes quaternaires de la région de Casablanca.

### ANOMALIES MAGNETIQUES

La partie septentrionale du Maroc a été couverte par une mission aéromagnétique réalisée en 1969-1970 par la Compagnie Générale de Géophysique pour le compte de la Direction de la Géologie, dans le but de définir les principales anomalies de l'intensité du champ magnétique total. Les mesures ont été effectuées avec un magnétomètre C.S.F. à vapeur de césium tracté à 100 m derrière un avion

Boeing B 17-F. La localisation des mesures a été effectuée à l'aide d'un système doppler et à travers l'étude de photographies aériennes verticales à terre, en tenant compte des cartes topographiques. La carte a été levée au 1/100 000 avec une équidistance des lignes de vol de direction N16°E variant de 3 km dans la zone terrestre à 6 km dans la zone marine et d'une hauteur barométrique de 2600 m. Les lignes de contrôle étaient de direction orthogonale (N106°E) avec un espacement de 5 km.

La carte de l'anomalie magnétique montre entre Rabat et Kenitra, près du rivage actuel, un maximum positif de plus de 50 nT, allongé NNW-SSE et un minimum localisé vers le NE, montrant des valeurs proches de -20 nT (Fig. 4). D'autres valeurs négatives à faible intensité apparaissent aussi dans les parties septentrionale et méridionale de la carte. Le caractère très intense de ce maximum en un tel endroit indique qu'il est lié à un corps d'aimantation élevée. Le minimum secondaire localisé au NE du maximum principal, peut être associé au dipôle engendré par le corps principal NNW-SSE.

En tenant compte du fait que le corps aimanté n'affleure pas et afin de déterminer la source de l'anomalie principale observée, nous avons développé des modèles très simples en 2 dimensions avec une extension latérale limitée. Nous avons considéré un profil N50°E sur le dipôle principal, un corps aimanté de 5 km d'extension latérale et

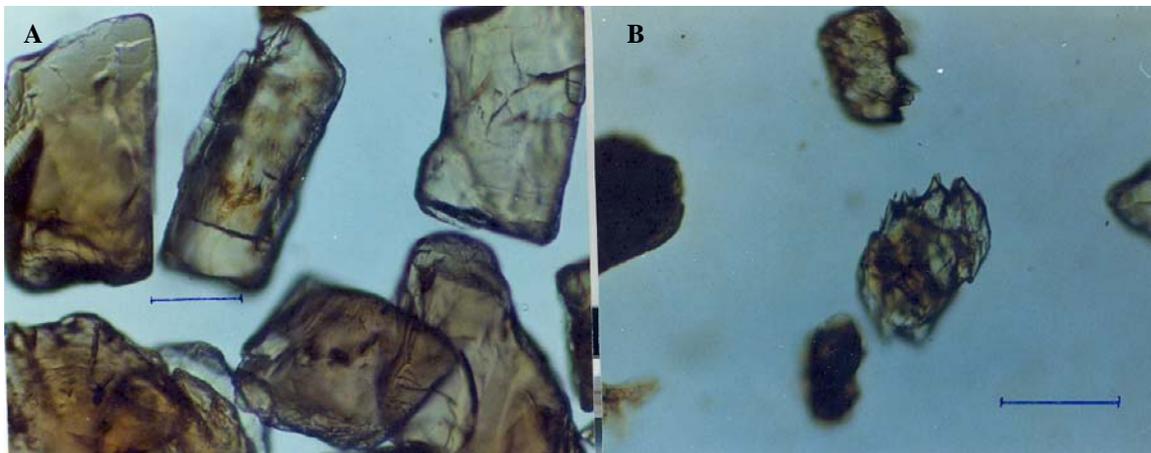


Figure 3. Augites fraîches (A) et augites altérées (B). Longueur de la barre A : 0,16 mm ; B : 0,10 mm.

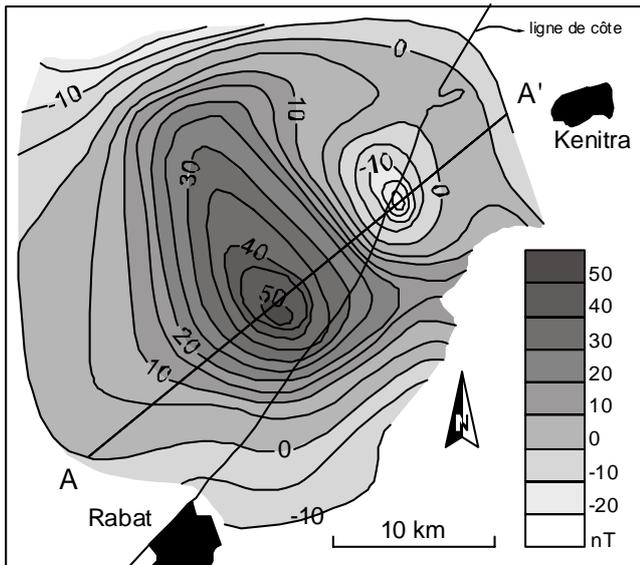


Figure 4. Carte des anomalies de l'intensité du champ magnétique total du littoral de la région de Rabat, d'après la mission aéromagnétique réalisée en 1969-1970 par la Compagnie Générale de Géophysique pour le compte de la Direction de la Géologie du Maroc. A-A', position du profil modélisé sur la figure 4.

une direction d'aimantation parallèle au champ magnétique actuel (déclinaison  $-7^\circ$ ; inclinaison  $48^\circ$ ) (Fig. 5). L'anomalie magnétique peut être produite par le

magnétisme induit ou par la combinaison avec un magnétisme rémanent parallèle. Nous obtenons un meilleur ajustement entre les anomalies théoriques et observées si l'on considère un corps près de la surface d'une longueur de plus de 20 km, en tenant compte du magnétisme induit avec une susceptibilité magnétique de 0,02 (SI). Avec cette aimantation, le corps a une épaisseur maximale d'environ 1000 m dans la partie centrale et s'élargit progressivement pour atteindre son maximum près de la surface. La susceptibilité magnétique est en relation avec l'épaisseur du corps. Si l'on considère une susceptibilité plus élevée, la forme reste identique mais le corps sera plus mince. Dans le cas d'une susceptibilité magnétique plus basse, le corps sera plus épais.

Dans des petits corps de roches ignées basiques ordoviciennes affleurant immédiatement au SE de Rabat, dans la région de l'oued Akrech (Garcia 1961, El Hassani 1995), nous avons mesuré, d'une part, la susceptibilité magnétique qui montre une valeur moyenne presque constante de  $0.14 \times 10^{-3}$  SI pour tous les échantillons. D'autre part, nous avons déterminé la valeur moyenne de la susceptibilité magnétique des basaltes quaternaires situés dans le bassin du Saïss, à une vingtaine de km à l'Est de Meknès. Les valeurs obtenues sont très variables, allant de 0,008 à 0,03 SI, mais toujours plus élevées que celles des roches ignées paléozoïques précédentes. Par conséquent, la valeur de susceptibilité adoptée dans le modèle magnétique (0,02 SI) est la moyenne des valeurs des basaltes quaternaires.

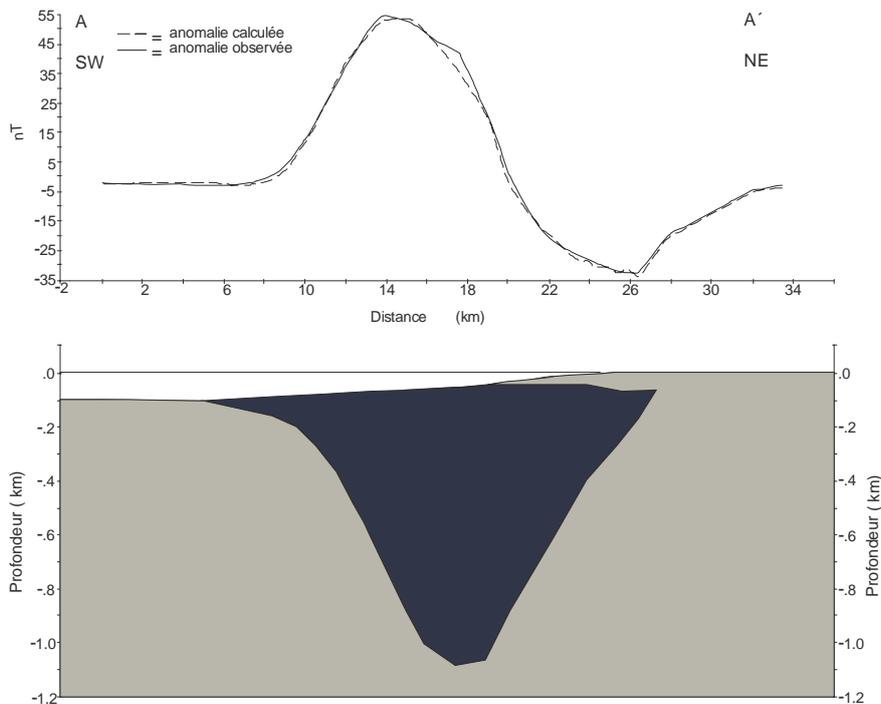


Figure 5. Modèle de l'anomalie magnétique d'intensité du champ total. Corps d'extension latérale de 5 km. On a considéré un magnétisme induit avec une susceptibilité de 0.02 SI. Champ magnétique actuel à déclinaison  $-7^\circ$  et inclinaison  $48^\circ$ .

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Du point de vue stratigraphique, l'étude des minéraux lourds permet d'affiner la stratigraphie du Quaternaire marocain, car l'étude de la faune n'a pas permis de déceler une évolution perceptible durant cette courte période, et les dépôts sont dominés par des calcarénites. Les augites constituent un marqueur révélant des variations en allant du Pliocène à l'Actuel. Cela permet de préciser la limite plio-quaternaire, le passage entre le Messaoudien et le Maârifien et de caractériser les dépôts du Quaternaire récent.

L'interprétation géologique du corps responsable des anomalies magnétiques près de la côte de Rabat suggère qu'il correspond à des roches basiques, caractérisées par une forte aimantation. La forme plate et allongée sur plus de 20 km, l'épaisseur modérée, la position superficielle et la forte aimantation suggèrent que ce corps pourrait correspondre à une coulée basaltique quaternaire, semblable à celles de mêmes dimensions, caractéristiques de la région plutôt qu'à un affleurement récent d'un corps volcanique paléozoïque. Ce type de roches n'était connu que dans l'Est de la Meseta marocaine occidentale et dans le Moyen Atlas, loin du rivage actuel, ce qui remet en question l'extension vers l'ouest du magmatisme quaternaire. La région où l'anomalie magnétique a été enregistrée est recouverte par des dépôts marins et dunaires d'âge quaternaire, qui masquent le soubassement, probablement formé, en partie, par ce corps non affleurant de roches basiques.

Malgré qu'il s'agit de la meilleure interprétation des données de la magnétométrie, d'autres données géophysiques sont nécessaires pour étayer cette hypothèse. Cependant, il n'existe pas de profils sismiques passant par ce corps, et les données gravimétriques disponibles obtenues par satellite (Sandwell & Smith 1997) ne fournissent pas une résolution suffisante. En principe, une anomalie de Bouguer positive devrait être liée au corps de roches basiques, mais si ce dernier est très mince et aplati, le contraste latéral des densités lié aux bordures du corps est tellement faible qu'il sera difficile de la déterminer, même avec des données gravimétriques précises. De plus, dans la zone centrale, il serait probablement impossible d'isoler l'anomalie gravimétrique résiduelle des roches basiques car il y a une superposition aux anomalies produites par d'autres corps crustaux (sédiments à faible densité et socle métamorphique à haute densité).

L'existence d'un tel corps est également argumentée par l'étude des minéraux lourds dans les dépôts calcarénitiques quaternaires entre Rabat et El Jadida. L'abondance des augites du Maârifien à l'Actuel et la

fraîcheur de ces cristaux indiquent que le transport a probablement été court et que la roche mère est proche du littoral. Si l'on attribue l'origine de ces augites fraîches et abondantes aux basaltes quaternaires de l'Est de la Meseta et du Moyen Atlas, les minéraux devraient être très usés et rares à l'issue de ce long transport fluvial. Nous tenons à souligner l'homogénéité de la teneur des augites dans l'espace de toute la bande littorale entre Rabat et El Jadida et dans les environs de l'oued Oum er Rbia où les apports détritiques sont riches en oxyde de fer et de titane (Mhammdi *et al.* 2005). Ces pyroxènes sont des minéraux labiles, une fois détachés de leur roche mère, ils se sont déposés immédiatement dans le milieu marin, sans subir l'action agressive des agents de l'altération (comme ceux du milieu continental) d'où leur bonne conservation, malgré le trajet parcouru jusqu'à El Jadida. Par ailleurs, les données géophysiques montrent que le corps possède une forte susceptibilité magnétique et dans ce cas, son origine correspond probablement à l'érosion d'un corps de basaltes quaternaires situé près du rivage actuel. Il aurait commencé à être érodé pour la première fois au cours de la régression messaoudienne et a fourni les premières augites fraîches lors du Maârifien. Ensuite, l'érosion aurait continué à démanteler ces roches basiques, actuellement submergées, durant les différentes régressions postérieures du Quaternaire.

En conclusion, nous pensons que la distribution des augites entre Rabat et El Jadida est liée à la morphologie du littoral, de la dynamique côtière et de l'effet des pulsations des mers quaternaires créant des bandes découvertes sableuses du plateau continental. L'absence de ces minéraux plus au sud pourrait être expliquée par l'existence de reliefs anté-quaternaires au sud d'El Jadida qui auraient freiné le cheminement des augites libérées par les roches basiques près de Rabat. Concernant la roche mère source des augites, l'interprétation proposée s'appuie sur les données géophysiques qui restent, certes, indirectes et discutables. Toutefois, elles mettent en évidence dans le littoral entre Rabat et Kenitra, la présence d'un corps responsable d'anomalies magnétiques importantes. Ce corps pourrait correspondre au socle paléozoïque, comme il pourrait être un épanchement volcanique quaternaire. Cette seconde alternative reste à notre avis la thèse la plus plausible.

## Remerciements

Ce travail a été développé dans le cadre des projets AECI, CSD2006-00041, CGL 2006-06001 (MEC) et RNM148 Junta de Andalucía.

## Références

- Akil M. 1980. Contribution à l'étude sédimentologique des formations littorales quaternaires de la région de Rabat (Maroc). DES 3<sup>e</sup> cycle de Géol., Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 137 p.
- Akil M. 1987. Minéraux lourds et stratigraphie des dépôts quaternaires atlantiques entre El Jadida et Casablanca. V<sup>e</sup>. *Conf. Sc. Intern., P.I.C.G. 183*, UNESCO, Rabat.
- Akil M. 1990. Les dépôts quaternaires littoraux entre Casablanca et Cap Beddouza (Meseta côtière marocaine): études géomorphologiques et sédimentologiques. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 417 p.
- Biberson P. 1961. Le cadre paléogéographique de la préhistoire du Maroc atlantique. *Bull. Serv. Antiquités*, Maroc, 16, 235.
- Cirac P., Faugères J.C. & Gayet J. 1979. Résultats préliminaires d'une reconnaissance sédimentaire du plateau atlantique marocain. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, 25, 69-81.
- Cirac P. 1987. Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la

- paléogéographie au cours d'une phase de comblement. *Mém. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, 21, 287 p.
- Duplantier F. & Lesueur P. 1983. Les sables du littoral atlantique nord-marocain: origines et mode de mise en place. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, 33, 5-24.
- El Graoui M. (1994). Contribution à l'étude des formations littorales quaternaires de la région de Casablanca (Maroc) : sédimentologie, microfaciès et minéraux lourds. Thèse Doc. Es-Sc. Univ. Bordeaux I, N° 1100, 293 p.
- El Hassani A. 1995. La Zone de Rabat-Tiflet : Bordure nord de la chaîne calédonno-hercynienne du Maroc, *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 15, 136 p
- Garcia C. 1961. Roches éruptives et métamorphiques de la région de Rabat. *Trav. Inst. Scient. Chérifien*, Rabat, 12, 39 p.
- Harmand Ch. & Cantagrel J.M. 1984. Le volcanisme alcalin tertiaire et quaternaire du Moyen Atlas (Maroc) : chronologie K/Ar et cadre géodynamique. *J. Afr. Earth. Sci.*, 2, 1, 21-55.
- Jaaidi E.B. 1981. Les environnements sédimentaires actuels et pléistocènes du plateau continental atlantique marocain entre Larache et Agadir. Thèse Doct. 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Bordeaux-I, 189 p.
- Jaaidi E.B. 1993. La couverture sédimentaire post-glaciaire de la plate-forme continentale atlantique ouest-rifaine (Maroc nord occidental): exemple d'une séquence transgressive. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 304 p.
- Mhammdi N., Achab M., Hamoumi N. & Azza A. 2005. Les sables titanifères du littoral d'Azemmour et de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia (côte atlantique marocaine) : sédimentologie et potentiel d'exploitation. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, sect. Sci. Terre, 27, 83-91.
- Sandwell D.T. & Smith W.H.F. 1997. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry, *J. Geophys. Res.*, 102, 10039-10054.
- Sitel A. & Akil M. 1998. Les marqueurs lithostratigraphiques des dépôts quaternaires littoraux de la région de Mohammedia. *Afr. Geosci. Rev.*, 5, 183-190.

*Manuscrit reçu le 11 mai 2007*

*Version modifiée acceptée le 5 juin 2008*