

Mise en évidence d'une tectonique distensive associée à la convergence Eurasie-Afrique dans le Nord de la Meseta occidentale marocaine durant le Plio-Quaternaire

Evidences for a Plio-Quaternary extensional tectonics in the northwestern Moroccan Meseta, induced by the Eurasia-Africa convergence

Ahmed CHABLI^{1,2}, Kaoutar BARGACH³ & Ahmed CHALOUAN⁴

1. Laboratoire Géosciences, Eau et Environnement (L-G2E), Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat, Maroc.

2. Laboratoire Education, Environnement et Santé, Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation (CRMEF) de Rabat, Salé, Kénitra, Rabat 10000, Maroc *(ahmedchabli308@gmail.com).

3. Geo-Biodiversity and Natural Patrimony Laboratory (GEOBIO), "Geophysics, Natural Patrimony and Green Chemistry" Research Center (GEOBIO), Scientific Institute, Mohammed V University in Rabat, Morocco.

4. Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat, Maroc.

Résumé. La Meseta côtière marocaine fait partie de la marge passive du Maroc. La présente étude est menée dans une partie de cette marge passive, entre Rabat et Témara, réputée restée stable depuis la fin de l'orogénèse varisque. L'analyse microtectonique des formations récentes de cette zone a permis de mettre en évidence des déformations tectoniques distensives d'âge plio-quaternaire. En fait, sur la bande littorale atlantique marocaine, entre Rabat et Témara, les transgressions marines quaternaires ont produit des dépôts organisés en terrasses marines correspondant à des séquences régressives de progradation. L'étude néotectonique de ces terrasses marines révèle que la région a enregistré plusieurs types de fractures : des failles striées qui ont affecté exclusivement les formations plio-quaternaires les plus anciennes et des diaclases qui ont affecté toutes les formations plio-quaternaires de la zone d'étude.

1) Dans la zone de Rabat, l'étude de ces fractures a révélé la présence de deux champs de contraintes tectoniques distensives, une distension orientée NNW-SSE et enregistrée uniquement dans la formation pliocène sous forme de failles à jeu normal avec des stries peu visibles et une distension radiale, d'âge relatif mellahien ou post-mellahien. Cette distension radiale, qui a affecté toute les formations plio-quaternaires, est exprimée sous forme de failles normales striées dans la formation pliocène et sous forme de diaclases dans toutes les formations quaternaires analysées. En plus de ces régimes distensifs, nous avons mis en évidence un champ de contraintes compressives, dont la compression principale est orientée NNE-SSW. Mais, c'est la distension qui est prédominante et la plus généralisée dans toutes les formations plio-quaternaires analysées de ce secteur.

2) Dans la zone de Témara, nous avons montré la présence d'un seul champ de contraintes tectoniques distensives dont la distension est orientée NW-SE, rencontré sous forme de failles normales avec des stries peu visibles uniquement dans la formation anfatienne. Les champs de contraintes, mis en évidence, seraient liés principalement à la convergence Afrique-Eurasie orientée NNW-SSE à NW-SE et à l'expulsion du Rif central vers le SW.

Ces résultats témoignent d'une instabilité tectonique d'une partie d'une marge continentale stable durant le Plio-Quaternaire.

Mots clés : Meseta occidentale, Rif Central, Plio-Quaternaire, Néo-Tectonique, Convergence Afrique-Eurasie.

Abstract. the west-Mesetian Coastal Block is a part of the Moroccan Atlantic passive margin. It has long been thought to play the role of a tectonically stable segment resisting the Alpine compressional field. Microtectonic analyses we carried out along the Rabat-Temara coastal transect at the northern end of the Coastal Block, reveal brittle neotectonic deformations fossilized within the Plio-Quaternary regressive marine terraces. The corresponding structures are expressed as: **i**) striated fault planes cross-cutting precisely the oldest Plio-Quaternary terraces, and **ii**) joint systems affecting the whole Quaternary strata.

1) In the Rabat area, the brittle microtectonic measurements indicate two extensional stress fields. The first generated a NNW-SSE extension materialized by normal faults affecting strictly the Pliocene deposits, and sealed by Quaternary ones. They are clearly expressed in the field through their vertical slip, but without showing a pronounced striation. The second resulted in a radial extension during the Mellahian times, which is the youngest Moroccan Quaternary marine stage, materialized both by well-striated fault planes cross-cutting the Pliocene rocks, and by joint systems ubiquitously distributed in the overlying Quaternary strata. Our field analysis reveals that these extensional structures can locally be overprinted by reverse faults generated by a NNE-SSW compressional stress field.

2) In the Temara region, the sole stress-field we evidenced resulted in a NW-SE extension materialized by two structure types affecting the Anfatian deposits (cf. middle Pleistocene Moroccan marine stage): normal faults with very scattered striation surfaces, and NNW-SSE open tension joints.

At the regional scale, the extensional stress fields we evidenced are likely to be induced by the Africa-Eurasia convergence, as they fit well with the SW-expulsion of the Central Rif with respect to the northwestern Meseta. On the whole, they give the first evidence that the Coastal Block-related continental stable margin is experiencing neotectonic instability.

Keywords: Western Meseta, Coastal Block, Central Rif, Plio-Quaternary, Neo-Tectonics, Africa-Eurasia Convergence.

Abridged English version

The west-Mesetian Coastal Block forms the Moroccan Atlantic margin along a 500 km transect between Rabat and Agadir. Except for the Essaouira margin involved in the Atlantic realm, the west-Mesetian Atlantic margin has long been considered as a tectonically stable domain resisting the reverberations of both the Rifian and the neighboring Atlasic Alpine orogenies. Since then, the Coastal Block remained a seismically- and volcanically-quiet domain. This assumption is supported by the fact that authors did not find, within its late Cretaceous to Plio-Quaternary near-tabular marine cover, any extensional or compressional brittle structure of regional significance.

The present study describes for the first time Plio-Quaternary brittle structures of meter- to hectometer-scale, inside the Coastal Block itself. It focuses on its northern end along a 20 km coastal transect between Rabat and Temara cities. There, well stepped Pliocene to Quaternary marine terraces exhibit near-complete marine regressive successions dated, from base to top, as early Pliocene, Messaoudian (early Pleistocene, 2.3–1.9 Ma, BP), Maârifian (860–700 kys BP, Th/U), Anfatian (700–300 kys BP, Th/U), Harounian (300–130 kys BP, Th/U), Ouljian (130 ± 20 kys BP, Th/U), and Mellahian (20 kys BP, 14C; see reviews of the Atlantic Moroccan Plio-Quaternary stages, by Texier *et al.*, 1985 and Chabli *et al.*, 2014).

The neotectonic field-analysis we carried out on these Plio-Quaternary strata, allows us to identify the two following brittle structures: i) striated fault planes affecting exclusively the oldest Plio-Quaternary levels, and ii) tension joints of ubiquitous distribution.

In the Rabat region, the first structures are dominantly expressed as high-angle normal faults (65–87°) of curved to planar surface, directed N25 to N30, and N110 to N170, variously dipping towards the W, the E or the N. Faintly striated mirrors reveal high-angled pitches of up to 70–85° towards the N or the S. The Pliocene deposits are additionally cross-cut by vertical right-lateral strike-slip faults of planar surface. They are directed N20 and N67 (insofar as observed), with pitch angles of 78° to the south, or 5° to the north.

The stereographic plot of these faults using the « Research Network » software by Galindo-Zaldívar & Lodeiro-González (1988), and the Geostatic one by Angelier (version 1991) leads to the following results:

- The Pliocene deposits bear the record of a synsedimentary radial extension of subvertical compressional axis (plunging 89°), with an almost nil axial ratio R (as low as 0.024). The corresponding stress ellipsoid is prolate.
- Their stereographic plot indicates that the Pliocene deposits have experienced a NNW-SSE directed extension of subvertical compressional axis (plunging 82°), with an almost nil axial ratio R (as low as 0.063). The corresponding stress ellipsoid is prolate.
- The Pliocene deposits bear the record of a NNE-SSW directional compression of subhorizontal compressional axis (plunging 2°), with an axial ratio R = 0.217.

The Messaoudian deposits are cross-cut by flat, subvertical and closed joint systems. They embrace a wide range of directions values, which gives evidence of the radial nature of the extension.

The Maârifian and Anfatian deposits are affected by open tension joints of curved to planar surfaces. They commonly

contain a white calcitic infilling or trap a subsequent marine deposit one. These joints are clustered into families variously directed NW-SE, NNW-SSE, N-S to ENE-WSW, which clearly indicate a radial extensional regime.

The Harounian deposits bear planar, high-angle, closed joints (65° to 90°) dominantly dipping to the E, SE, or NE, which also indicate a radial extensional regime (*ibid*).

Both the Ouljian and the overlying Mellahian deposits show subvertical, closed and curved joints. They are clustered into two families directed NNE-SSW and WNW-ESE, respectively, which also indicates a radial extensional regime (*ibid*).

The Mellahian deposits bear closed and dominantly curved joints. They are equally clustered into two families directed NNE-SSW and WNW-ESE (*ibid*).

The described brittle structures reveal two successive stress fields generating: i) a first NNW-SSE directed extension, recorded exclusively in the Pliocene strata. It results in normal faults with poorly or no delineated striated mirrors, ii) a second radial extension of Mellahian age expressed by a) : normal faults confined in the sole Pliocene interval, and bearing clear-cut striated mirrors, and b) closed or open tension joints ubiquitous in near-all levels of the overlying Quaternary deposits.

Additionally, a third stress field has been recognized, as resulting in a NNE-SSW compression. Cross-cutting relationships show that this compression can act either in alternation or coevally with the extension.

In the Temara region, the Anfatian deposits are cross-cut by curved, N20-N40 normal faults dipping 35°–80° to the NW or the SE. Their faintly striated calcite coating indicates south-striking striae with high-angled pitches (42°–90°). Their stereographic plot indicates that the Anfatian deposits have experienced a NW-SE directed extension with an axial ratio of medium value (R = 0.450). This stress field generated concurrently NNW-SSE tension joints, which can subsequently be overprinted by compressional structures.

In the present study, it is shown that the extensional neotectonic structures recorded in the Plio-Quaternary strata, are expressed by: i) normal faults with striated mirrors, affecting precisely the Pliocene and the Anfatian strata (with in between the Messaoudian ones being unscathed), and ii) tension joints of ubiquitous occurrence.

The spatiotemporal distribution of these two kinds of brittle structures is that the Quaternary strata recorded the pure effect of the Quaternary stress field, while the underlying massive Pliocene ones underwent the additional effect of the reactivated basement faults. We estimate through the field analysis, that this reactivation involved ca. 53% of the pre-existing basement faults, which satisfactorily explains the relatively more visible block-kinematics in the Pliocene strata.

On the whole, the tectonic analysis of faults and joints affecting the Plio-Quaternary deposits at the northern end of the Coastal Block, which is presumed as tectonically stable, leads to evidence two extensional stress fields hosted in a regional compressional context. The latter is induced by the persisting NNW-SSE to NW-SE Africa-Eurasia convergence, and the resulting expulsion of the central Rif towards the SW (Chalouan *et al.*, 2006, 2014). In this context, the studied Rabat-Témara extensions can tentatively be assigned to the extensional dynamics of the southern margin of the neighboring Gharb basin, and/or to temporary stress relaxations of the Africa-Eurasia convergence.

INTRODUCTION

La Meseta côtière marocaine fait partie de la marge passive du Maroc. Les marges passives continentales sont généralement des marges stables sans activité tectonique considérable, ni sismicité, ni activité volcanique forte. L'Ouest de la Meseta marocaine appartient à la marge passive de l'Atlantique orientale. Elle est qualifiée de marges maigres, étant donné la faiblesse de la couche sédimentaire y afférente (généralement inférieure à 3 km, Maillard *et al.* 2006).

Depuis l'ouverture de l'Atlantique, la marge stable marocaine est caractérisée par l'accumulation de couches sédimentaires d'âge secondaire et tertiaire, et par sa stabilité et sub-horizontalité. Cette stabilité a été perturbée dans deux zones et durant deux périodes différentes : dans les bassins d'Agadir et d'Essaouira, prolongement occidental du système atlasique et au niveau du bassin du Gharb qui constitue l'avant-fosse de la chaîne rifaine.

La première zone d'Agadir-Essaouira a connu deux périodes d'évolution, une période de rifting qui s'étale du Permo-Trias au Crétacé et une période orogénique, du Crétacé supérieur à l'Actuel, qui est marquée par l'inversion tectonique (Jacobshagen *et al.* 1988, Frizon de Lamotte *et al.* 2000, Teixell *et al.* 2003, Bouatmani, R. *et al.* 2004).

La seconde zone du bassin du Gharb, qui occupe le Nord de la Meseta et le Sud du Rif, est un bassin subsident qui s'est individualisé à partir du Miocène supérieur. Il a joué le rôle du bassin d'avant-fosse de la chaîne alpine rifaine. Les parties orientale et septentrionale du bassin sont dominées par des structures compressives du front du Rif (Flinch 1993, Zizi 1996, Litto *et al.* 2001, Maad *et al.* 2010), tandis que les parties occidentale et méridionale sont dominées par des structures distensives et la subsidence plus ou moins faible de

la marge atlantique à substratum hercynien mesetien (Flinch 1993, Zouhri *et al.* 2003, Sefiani *et al.* 2003).

Entre le Gharb et Agadir-Essaouira, la Meseta est considérée comme étant une zone stable qui s'est comportée en zone relativement haute et très faiblement subsidente. C'est ce qui est qualifié par certains auteurs comme « l'Arc occidental marocain » (« West Moroccan Arch », Saddiqi *et al.* 2008) occupé par les massifs hercyniens marocains de l'Anti-Atlas occidental et de la Meseta occidentale.

Le secteur d'étude est situé sur le littoral atlantique du Maroc entre l'Oued Bou Regreg au nord de Rabat et l'Oued Ykem au sud de Témara (Fig.1). Cette zone forme la partie nord de la Meseta côtière septentrionale, limitée au nord par la bordure méridionale du bassin du Gharb qui constitue l'avant-fosse de la chaîne rifaine.

Le Quaternaire de la côte atlantique de la Meseta côtière a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs dans les différentes disciplines de la géologie du Quaternaire, notamment en stratigraphie et en géomorphologie (Gigout 1951, 1960, Lecointre 1926 1952, Biberson 1961, Beudet 1969) et en sédimentologie (El Graoui 1994, Sitel 1996, Sitel & Akil 1998). Les travaux de Biberson (1961) ont particulièrement montré que les stratotypes quaternaires de Casablanca révèlent un étagement dans l'espace des terrasses marines. La bande littorale atlantique marocaine, large d'une dizaine de km, a été donc le siège de plusieurs transgressions et régressions marines quaternaires. Celles-ci ont engendré des dépôts qui ont pu s'organiser en une séquence régressive de progradation lors de chaque régression (Akil 1990). Le maximum de chaque transgression est marqué par une falaise morte souvent cachée par des accumulations éoliennes.

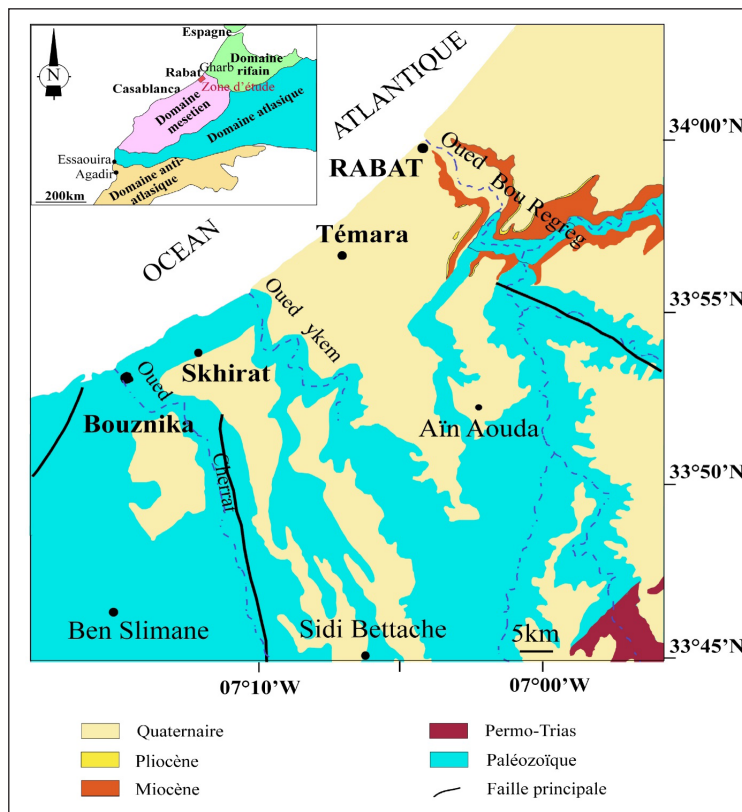


Figure 1. Localisation géographique du secteur d'étude et carte géologique de la région de Rabat-Témara, modifiée d'après Destombes & Jeannette (1966), Millies-Lacroix (1974) et Piqué (1979).
 Figure 1. Location map of the studied area showing its geographical and geological setting in the Rabat-Temara map, modified from Destombes & Jeannette (1966), Millies-Lacroix (1974) and Piqué (1979).

La présente étude est menée dans une partie de la marge passive atlantique, entre Rabat et Témara, réputée restée tectoniquement stable depuis la fin de l'orogénèse varisque (Fig. 1). Le principal objectif de cette contribution est d'analyser en détail les déformations récentes mises en évidence dans la région à partir de l'étude des structures tectoniques des matériaux plio-quadernaires, sus-jacents au socle hercynien, et de discuter l'évolution géodynamique de la région.

CADRE GEOLOGIQUE

La région de Rabat-Témara est caractérisée par un socle primaire (Fig. 1), arasé et surmonté par des formations miocènes, au-dessus desquelles viennent les dépôts plio-quadernaires qui se présentent sous forme de terrasses marines (Biberson 1961), montrant des paléorivages étagés. Les dépôts de chaque terrasse sont composés généralement, de bas en haut, par des conglomérats lumachelliques, surmontés par des calcarénites marines de plage, qui passent progressivement à des calcarénites dunaires intercalées localement par des épandages continentaux rubéfiés et souvent altérés en calcaires pulvérulents couronnés par diverses croûtes calcaires. En allant de la plus ancienne vers la plus récente, on trouve la succession suivante des terrasses du Pliocène, Messaoudien, (Pléistocène inférieur, 2,3–1,9 Ma, BP), Maârifien (860–700 kys BP, Th/ U), Anfatién (700–300 kys BP, Th/U), Harounien (300–130 kys BP, Th/U), Ouljien (130 ± 20 kys BP, Th/U) et Mellahien (20 kys BP, ¹⁴C) (Texier *et al.* 1985, Chabli *et al.* 2014).

La morphologie de la zone d'étude est caractérisée par un système de cordons dunaires et de sillons interdunaires à peu près parallèles à la côte actuelle. Ces dunes, tapissées de sables rouges, sont marquées par la dissymétrie de leurs versants d'origine éolienne. Le long de la côte, le système de cordons dunaires consolidés est séparé du cordon littoral actuel par une dépression longitudinale « oulja » limitée du côté du continent par la falaise morte ouljienne (Chabli *et al.* 2003, Chahid 2016).

L'étude tectonique des formations quadernaires littorales de la Meseta côtière marocaine a été abordée, ainsi, par un ensemble de géologues et géomorphologues, particulièrement, Gigout (1951), Beudet (1971), Morel (1987), Akil *et al.* (1995), Akil *et al.* (2000). Les déformations décrites par ces auteurs restent locales et de très faible ampleur, réduites en général à des mouvements verticaux, qui affectent surtout des secteurs situés dans la partie centrale de la Meseta côtière. Morel (1987) montre dans la région de Rabat une compression de direction NE-SW qui affecte le Pléistocène. Au nord de la région d'étude, El Hammichi *et al.* (2006) montrent qu'au cours du Miocène supérieur au Pliocène existait un champ de contraintes compressif sub-méridien.

METHODOLOGIE

Les dépôts plio-quadernaires de la région étudiée sont constitués par la succession d'étages plio-quadernaires marins et continentaux. Le choix des coupes nécessite une localisation précise des sites qui présentent la superposition du maximum de niveaux d'âges différents ou de plusieurs niveaux de même âge. On doit donc suivre les grands travaux d'urbanisation réalisés dans la région (autoroutes, ponts, cimenteries, etc...), accompagnés de l'ouverture de nombreuses carrières, pour pouvoir décrire la stratigraphie et les déformations néotectoniques dans les dépôts plio-quadernaires de la zone d'étude. La stratigraphie du Quadernaire paraît difficile à suivre dans la région de Rabat, où les étages marins sont

superposés surtout dans la zone littorale. En allant vers le sud, dans la région de Témara, la stratigraphie des dépôts plio-quadernaires paraît plus complète et plus facile à suivre que celle de Rabat. Ainsi, nous avons mis en évidence des paléorivages quadernaires qui présentent un étagement analogue à celui de Casablanca où les stratotypes ont été définis (Fig. 2).

Après avoir déterminé leur position géographique sur des cartes topographiques au 1/50.000, les coupes sélectionnées ont été relevées minutieusement en précisant l'altitude, la direction de chaque coupe et l'épaisseur de chaque couche.

Dans la zone d'étude, nous avons mis en évidence une néotectonique (déformations des dépôts plio-quadernaires et actuels) que nous avons étudiées grâce à la microtectonique qui vise l'étude des microfailles, microstries, diaclases, etc.

Comme la région d'étude n'a connu durant le Plio-Quadernaire que des déformations cassantes, nous avons récolté sur le terrain les mesures relatives aux failles et aux diaclases qui ont affecté les formations plio-quadernaires de la zone d'étude.

Pour la détermination des paléocontraintes à partir des populations de failles, nous avons utilisé le logiciel 'Searchgrid' (Galindo-Zaldívar & González-Lodeiro 1988) et le logiciel géostatistique d'Angelier (1991). Le logiciel 'Searchgrid' permet de regrouper par phases la population de failles. L'analyse de la population des failles fournit des informations sur l'orientation des contraintes principales ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) et le rapport axial de l'ellipsoïde de contrainte ($R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$).

Pour l'analyse des diaclases, nous avons utilisé la méthode de Hancock (1985, 1986) afin de déterminer leur caractère de tension, hybride ou de cisaillement, et les paléocontraintes associées. Cette approche est largement utilisée dans les recherches récentes (Brandes *et al.* 2013, De Guidi *et al.* 2013). L'ensemble des fractures de cisaillement et hybrides ou les joints spectrum (coexistence des diaclases de tension et des diaclases hybrides) ne déterminent que l'orientation des axes principaux de contraintes. En plus, les diaclases, mises en évidence dans la région et qui sont généralement proches de la verticale, permettent de déterminer la contrainte minimale, orthogonale au plan de rupture et la contrainte horizontale maximale parallèle au plan de la fracture.

DEFORMATIONS PLIO-QUADERNAIRES ET PALEOCONTRAINTES

Pour simplifier l'étude néotectonique des formations plio-quadernaires de la région d'étude, cette dernière a été subdivisée en deux grands secteurs : Rabat et Témara.

Secteur de Rabat

Ce secteur est situé dans le littoral de la bordure nord de la Meseta côtière marocaine. Il est constitué par un socle du Paléozoïque supérieur (El Hassani 1994), raviné par des marnes jaunes miocènes sub-horizontales (Feinberg & Lorenz 1970), affleurant le long de la vallée de l'Oued Bou Regreg. Sur ces matériaux, reposent des sédiments fluviaux marins et éoliens du Pliocène et du Quadernaire (Choubert & Ambroggi 1953, Wernli 1978), bien dégagés sur la rive droite de l'Oued Bou Regreg au niveau d'une coupe de tranchée de l'autoroute de Rabat-Meknès. Le Quadernaire est représenté dans cette région par une dalle lumachellique du Messaoudien (Cirac 1987). Sur la rive gauche l'Oued Bou Regreg, les dépôts quadernaires sont cachés par les constructions de la ville de Rabat sauf une seule coupe décrite par Choubert (1947), dite coupe de Marie Feuillet qui est située au bord de

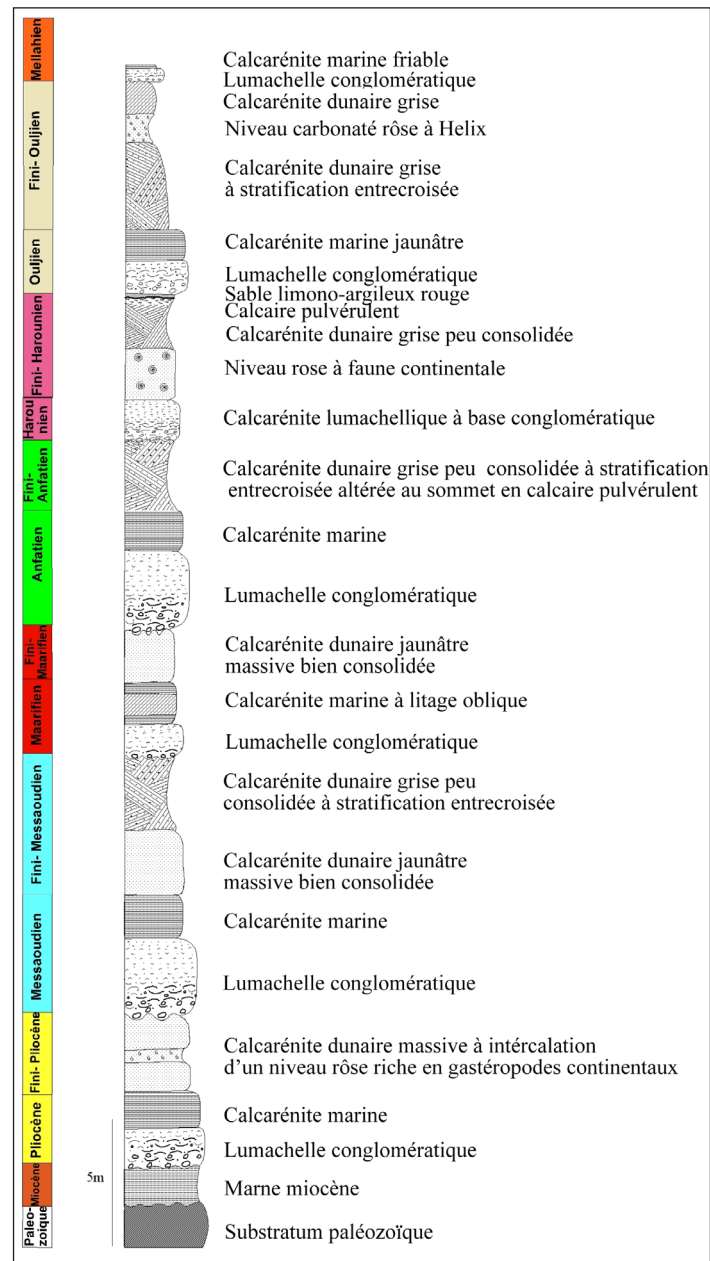


Figure 2. Colonne stratigraphique synthétique des dépôts plio-quaternaires de la région Rabat-Témara (Chabli 2014, modifié).

Figure 2. Synthetic stratigraphic column of the Plio-Quaternary successions outcropping in the Rabat-Témara region (modified from Chabli, 2014).

la mer actuelle (Fig. 3, site 6). Elle montre la superposition des dépôts de trois niveaux quaternaires (Mâarifien, Anfatién et Rabatien (Harounien)). Les sites étudiés sont présentés dans la figure 3.

Formation pliocène

La formation pliocène affleure au niveau de la coupe de Douar Doum et au niveau de la coupe de la rive droite de Bou Regreg dans la tranchée de l'autoroute Rabat-Meknès, située à environ 8 Km au SE de Rabat (Fig. 3, site 2).

Les dépôts pliocènes de la coupe de Douar Doum sont affectés par une dizaine de failles normales (Fig. 4) constituée par deux familles, l'une à surface gauche, parfois plane, de direction variable N25°E à N30°E de fort pendage (70° à 85°) vers l'E et l'W, avec des stries peu visibles de fort pitch (70° à 85°) vers le N et le S. L'autre famille regroupe des failles de direction N110°E à N170°E, de fort pendage (65° à 75°) vers

le S, l'E et l'W, avec des stries peu visibles de pitch à angle fort (72° à 85°) vers le S et l'E.

Le traitement des failles par les deux programmes de Galindo-Zaldívar & González-Lodeiro (1988) et d'Angelier (version 1991) ont donné approximativement les mêmes résultats. Ces deux méthodes montrent que les dépôts pliocènes ont enregistré l'effet d'une distension de type radial (Fig. 5, ellipsoïde A). L'axe de compression est subvertical (plongement de 89°) avec un rapport axial relativement nul, $R = 0.024$, l'ellipsoïde des contraintes est de type prolate. Les caractéristiques de cette distension sont résumées dans le tableau 1 (ellipsoïde A).

Les dépôts pliocènes de la coupe de la rive droite de Bou Regreg (Fig.3, site 2) sont recoupés par une dizaine de failles normales et des failles décrochantes et qui peuvent être divisées en deux familles. La première comporte des failles normales, à surface gauche, de direction N25°E à N75°E, de

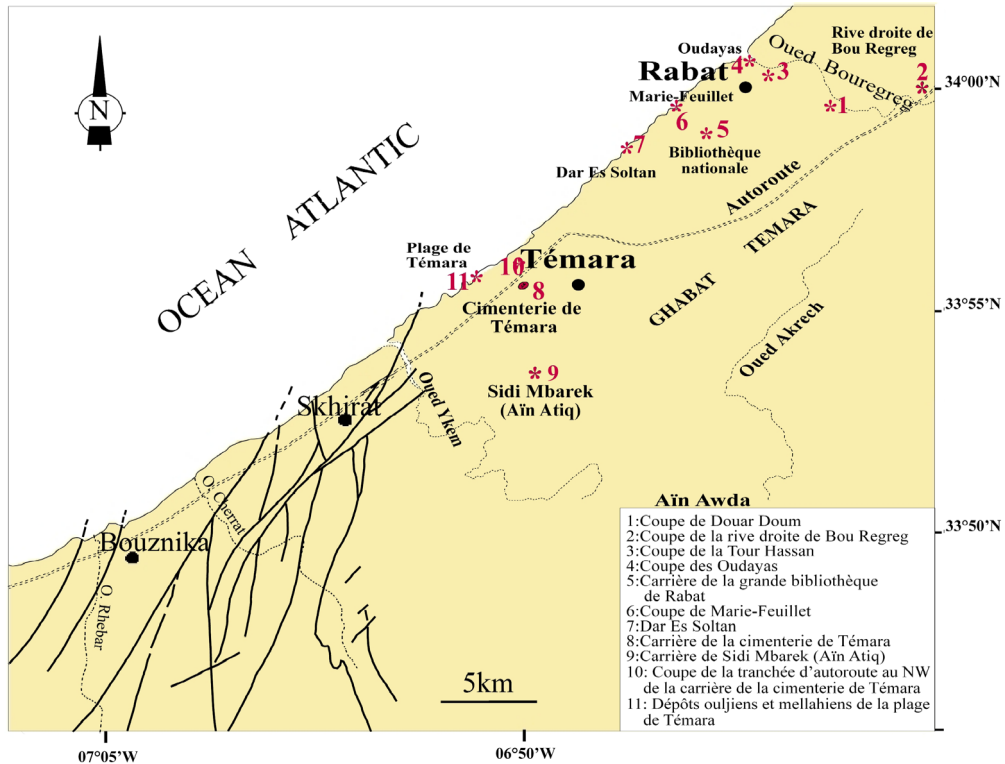


Figure 3. Carte de Rabat-Témara : localisation des sites étudiés.
 Figure 3. Location of the studied sites in the Rabat-Témara map.

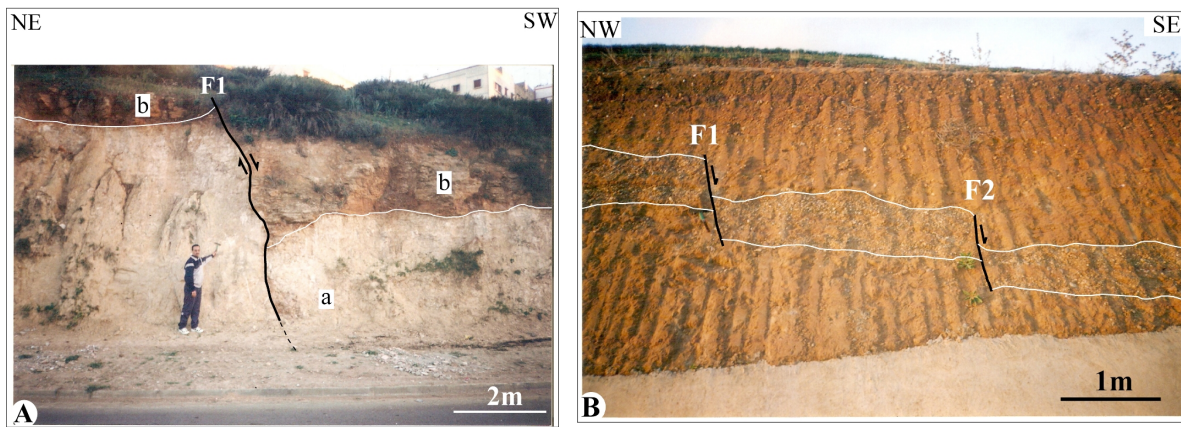


Figure 4. Déformations néotectoniques des dépôts pliocènes. A : Coupe de Douar Doum avec des marnes miocènes (a) et des conglomérats pliocènes à graviers et lumachelles (b), affectés par une faille normale F, de direction N140°E, de pendage 75° vers le SW, avec un rejet vertical de l'ordre de 3 m. B : Dépôts pliocènes de la coupe de la rive droite de l'Oued Bou Regreg à l'Est de Rabat, montrant un chenal de conglomérats de 50 cm d'épaisseur affecté par deux failles normales décrochantes senestres ; F1, de direction N65°, de pendage 70° vers le SE et F2, de direction N70°E, de pendage 75° vers le SE.

Figure 4. Neotectonic deformational record within the Pliocene deposits. A: Douar Doum section exhibiting Miocene marls (a) and Pliocene conglomerates made up of lumachellic pebbles (b) affected by a 3 m throw normal fault (F), trending N140 75°SW. B: Pliocene sedimentary succession emerging on the right bank of Oued Bou Regreg east of Rabat, showing a 50 m-thick channelized conglomerate affected by two sinistral strike-slip normal faults: F1: N65 70°SE, and F2: N70 75°SE.

fort pendage (70° à 87°) vers le S, l'E et l'W. Les plans de failles montrent des stries peu visibles de fort pitch (80° à 90°) vers le N et le S. La deuxième famille est composée par un ensemble de failles décrochantes pluridécimétriques, planes, avec parfois des rejets centimétriques d'environ 10 cm. On distingue généralement deux systèmes de décrochements ; le premier système à jeu dextre, de direction N160°E à N170°E et de fort pendage (75° à 90°) vers l'E. Les stries sont très peu visibles, de pitch à faible angle (0° à 5°) vers le S ; et un deuxième système de décrochement probablement senestres,

de direction N40°E à N60°E et de fort pendage (78° à 85°) vers le NW. Dans les décrochements cités, ce sont les blocs W et NW qui sont affaîssés.

Le traitement des failles normales de la première famille sur stéréogramme, par le programme d'Angelier (1991), montre que les dépôts pliocènes ont enregistré l'effet d'une distension orientée NNW-SSE (Fig. 5, ellipsoïde B₁). L'axe de compression est sub-verticale (plongement de 82°) avec un rapport axial relativement nul, $R = 0.063$, l'ellipsoïde des contraintes est prolate (Tableau 1, ellipsoïde B₁).

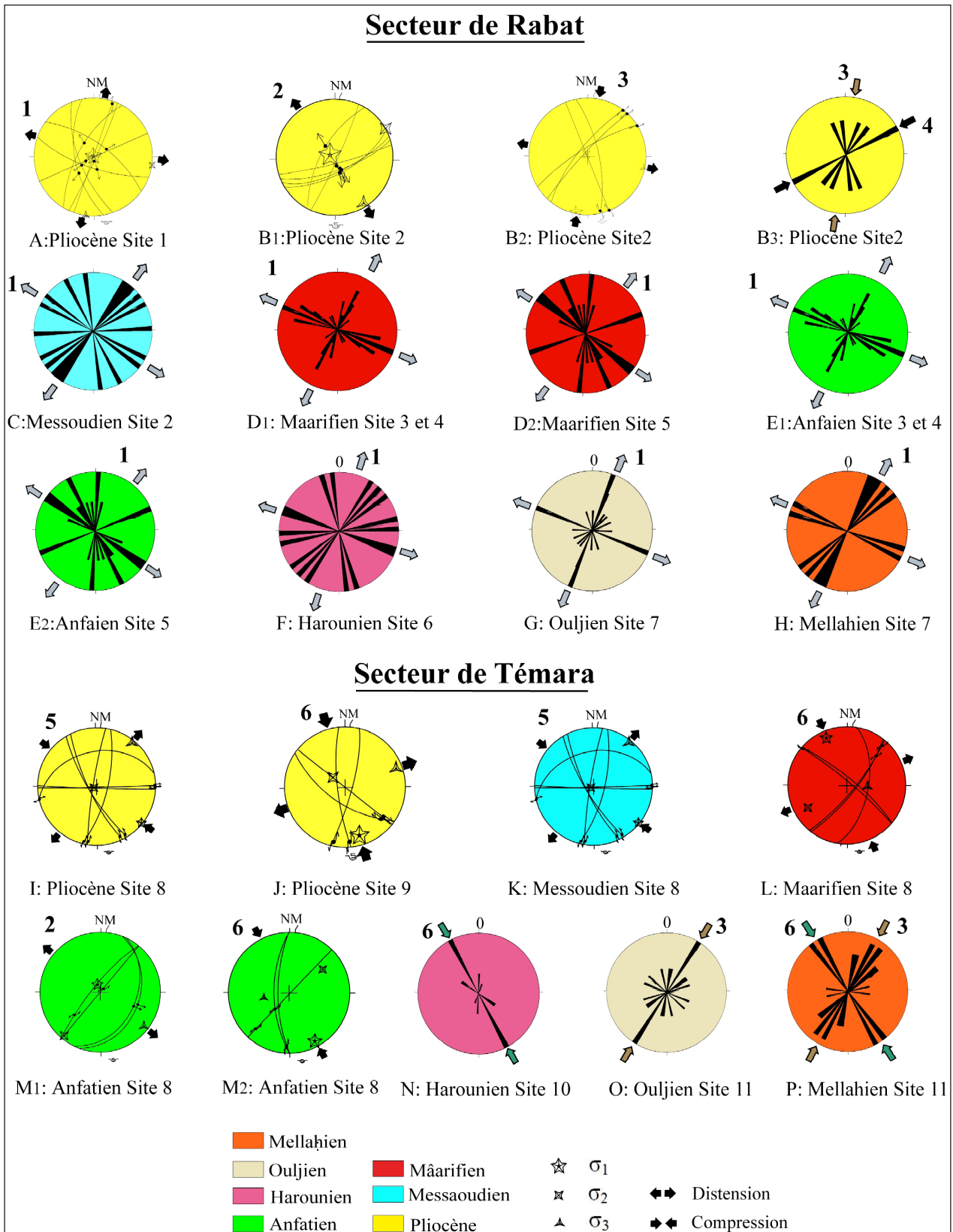


Figure 5. Projections stéréographiques des failles et diagrammes d'orientation des diaclases affectant les dépôts plio-quaternaires de la région de Rabat-Témara. Champs de contraintes tectoniques distensifs ; 1 : distension radiale ; 2 : NNW-SSE. Champs de contraintes tectoniques compressifs ; 3 : NNE-SSW ; 4 : ENE-WSW ; 5 : WNW-ESE ; 6 : NNW-SSE.

Figure 5. Stereographic projections of faults and orientation diagrams of joints affecting the Plio-Quaternary deposits of the Rabat-Témara region. Extensional tectonic stress fields; 1: radial extension; 2: NNW-SSE. Compressional tectonic stress fields; 3: NNE-SSW; 4: ENE-WSW; 5: WNW-ESE; 6: NNW-SSE.

Tableau 1. Caractéristiques des contraintes tectoniques au niveau des dépôts plio-quadernaires de la zone Rabat-Témara.
 Table 1. Characteristics of the tectonic stresses affecting the Plio-Quaternary deposits in the Rabat-Témara region.

Age des formations déformées	Ellipsoïde dans la Figure 4	Contraintes						Rapport axial $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$
		Axe de σ_1		Axe de σ_2		Axe de σ_3		
		Direction	Plongement	Direction	Plongement	Direction	Plongement	
Anfatien	M ₂	152 °E	12°	55°E	33°	259 °E	55°	0,201
	M ₁	336 °E	79°	219°E	5°	129 °E	9°	0,450
Maarifien	L	337 °E	13°	240°E	25°	92 °E	61°	0,342
Messaoudien	K	130 °E	1°	242°E	86°	40 °E	4°	0.633
Pliocène	J	165 °E	18°	311°E	69°	71 °E	11°	0.259
	I	130 °E	1°	242°E	86°	40 °E	4°	0.633
	B ₂	193 °E	2°	329°E	88°	103 °E	2°	0.217
	B ₁	332 °E	82°	57°E	1°	147 E	8°	0.063
	A	337 °E	89°	98°E	1°	188 °E	1°	0.024

Le traitement des failles de la deuxième famille sur stéréogramme montre qu'il s'agit d'une compression de direction NNE-SSW (Fig. 5, ellipsoïde B₂), dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 (ellipsoïde B₂).

En plus des failles, tout l'affleurement de la rive droite de Bou Regreg est affecté principalement par deux systèmes de fractures planes, fermées de fort pendage 50° à 90° vers le N, le S, l'E et l'W (Fig. 5, diagramme B₃). Le premier système est une famille de diaclases hybrides qui témoigne d'une compression NNE-SSW, similaire à celle déterminée par l'analyse des failles. Le deuxième système est une famille de diaclases de tension d'orientation ENE-WSW qui indique une deuxième compression tectonique dont la contrainte maximale est contenue dans un plan de direction ENE-WSW, mais, qui n'a pas donné de failles dans cette région. Ces fractures déforment particulièrement les niveaux pliocènes les plus anciens.

Formation messaoudienne

Dans la région de Rabat, les dépôts messaoudiens n'affleurent que dans un seul endroit au niveau de la coupe de la rive droite de Bou Regreg (Fig.3, site 2). La formation messaoudienne est découpée par plusieurs systèmes de diaclases fermées, sub-verticales, à surface plane. Les systèmes de diaclases sont orientés dans toutes les directions, ce qui montre que la formation messaoudienne a été soumise à une distension radiale (Fig. 5, C). La contrainte maximale est donc sub-verticale.

Formations maaarifienne et anfatienne

Les dépôts maaarifien et anfatien affleurent dans trois sites (Fig. 3, sites 3, 4 et 5). Ils sont affectés par un ensemble de diaclases ouvertes à surface gauche, parfois plane, souvent remplies de calcite et de matériels plus récents. On distingue des systèmes de diaclases de tension d'orientation NW-SE, NNW-SSE, N-S et ENE-WSW (Fig. 5, D et E). On est donc dans le cas d'une extension radiale qui se fait dans tous les sens. Ceci montre que les dépôts maaarifien et anfatien ont enregistré l'effet d'un état de contraintes tectoniques extensif radial.

En plus, nous avons identifié des failles normales synsédimentaires de direction comprise entre N90°E et N120°E, de rejet décimétrique, qui déterminent la position de chenaux situés entre les niveaux maaarifien et anfatien (fig.6).

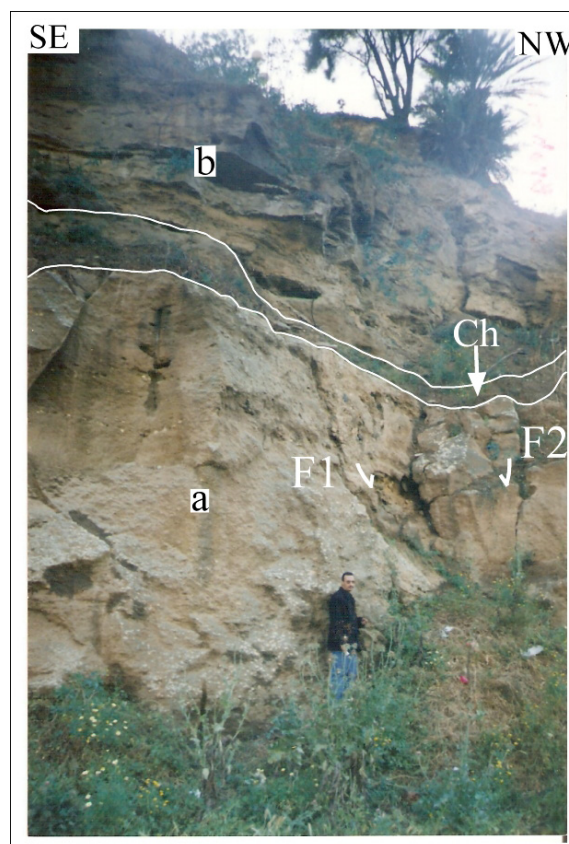


Figure 6. Coupe de la Tour Hassan montrant des dépôts maaarifien (a) et anfatien (b), affectés par des failles synsédimentaires F1 et F2 : de directions respectives N80°E et N120°E, qui déterminent la position d'un chenal (ch).

Figure 6. Section of the Hassan Tower showing Maarifian (a) and Anfatian (b) deposits, affected by two synsedimentary faults F1: N80 and F2: N120, fashioning together a channel (ch).

Formation harounienne

La formation harounienne affleure dans la coupe de Marie Feuillet (Fig. 3, site 6). Elle est découpée par plusieurs systèmes de diaclases fermées, à surface plane, de fort pendage (65° à 90°) vers l'E, le SE et le NE. Les systèmes de diaclases de tension sont orientés dans toutes les directions, ce qui montre que la formation harounienne est soumise à une distension radiale (Fig. 5, F).

Formations ouljiennne et mellahienne

Les dépôts ouljiens affleurent au nord de Dar Es Soltan (Fig. 3, site 7) et sont affectés par des diaclases sub-verticales fermées, à surface gauche. On distingue essentiellement deux familles de diaclases de tension sub-perpendiculaires orientées NNE-SSW et WNW-ESE (Fig. 5, G).

La formation mellahienne affleure au nord de Dar Es Soltan (Fig. 3, site 7) et est affectée par un ensemble de diaclases fermées, à surface généralement gauche. Il s'agit essentiellement de deux systèmes de diaclases de tension sub-perpendiculaires orientés NNE-SSW et WNW-ESE (Fig. 5, H). Ceci montre que les dépôts ouljiens et mellahiens ont été soumis à une distension radiale.

Secteur de Témara

L'étude des formations plio-quadernaires de la région de Témara montre un étagement de terrasses marines étalées de l'intérieur du continent vers la mer, comparable à celui de Casablanca (Fig. 7) (Chabli *et al.* 2003, 2014).

Formation pliocène

Dans le secteur de Témara, les dépôts pliocènes affleurent dans deux sites : la carrière de la cimenterie (Fig. 3, site 8) et la carrière de Sidi Mbarek (Fig. 3, site 11).

Au niveau de la carrière de la cimenterie de Témara, la formation pliocène est découpée par un ensemble de failles décrochantes dextres et senestres. Les décrochements dextres

sont décimétriques, à surface plane, de direction $N78^\circ E$ et $N92^\circ E$, de pendage (40° et 90°) vers le N. Les stries sont visibles et horizontales. Les décrochements senestres sont aussi décimétriques, à surface plane, de direction $N10^\circ E$ à $N15^\circ E$ et $N150^\circ E$ à $N155^\circ E$, de fort pendage (75° à 85°) vers l'E et l'W. Les stries sont visibles avec un pitch à faible angle (4° à 7°) vers le S. Le traitement sur stéréogrammes de ces failles par le programme d'Angelier (1991), montre que les dépôts pliocènes ont été soumis à une compression orientée WNW ESE (Fig. 5, I et Tableau 1, I).

Dans la carrière de Sidi Mbarek, les dépôts pliocènes sont affectés par des failles décrochantes dextres, décimétriques, à surface plane, de direction $N125^\circ E$ et $N129^\circ E$ et de fort pendage (70° à 90°) vers le sud. Les plans de faille, contenant la calcite, montrent des stries discrètes de pitch à angle de 21° à 22° vers le sud. Les décrochements senestres sont décimétriques, à surface plane, de direction $N15^\circ E$ et $N175^\circ E$ et de fort pendage (80°) vers l'E et l'W. Les plans de failles montrent des stries peu visibles de pitch à angle faible (8° à 10°) vers le S. Le traitement de ces failles sur stéréogramme montre que les dépôts pliocènes sont soumis à une compression de direction NNW-SSE (Fig. 5, J) avec un rapport axial moyennement faible ($R = 0.259$) (Tableau 1, J).

Formation messaoudienne

Dans la région de Témara, la formation messaoudienne du site 8 (Fig. 3) est soumise à une compression orientée WNW ESE (Fig. 5, K) analogue à celle du Pliocène du même site, puisque les dépôts pliocènes et messaoudiens de la carrière de la cimenterie sont recoupés par les mêmes fractures.

Formations mâarifienne

Les dépôts mâarifien de la carrière de la cimenterie de Témara (Fig. 3, site 8), sont affectés par un ensemble de décrochements senestres, à surface plane, parfois gauche, de direction $N10^\circ E$ à $N40^\circ E$, de fort pendage (60° à 80°) vers le S et l'E. Les plans de failles, contenant par endroit de la

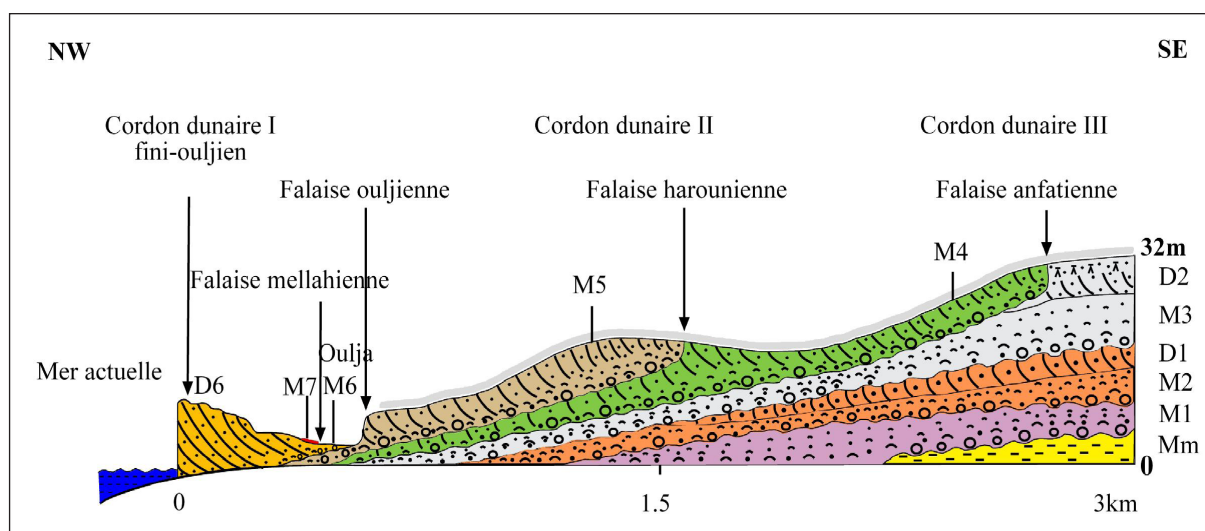


Figure 7. Coupe générale allant de la carrière de la cimenterie de Témara jusqu'à la mer.
Figure 7. General view over the section extending from the cement-plant quarry to the sea.

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| D2 : dépôt fini-mâarifien | M7 : dépôt mellahien |
| M3 : dépôt mâarifien | D6 : dune fini-ouljiennne |
| D1 : dune fini-messaoudienne | M6 : dépôt ouljiennne |
| M2 : dépôt messaoudien | M5 : dépôt harounien |
| M1 : dépôt pliocène | M4 : dépôt anfatien |
| Mm : marne messinienne | |

calcite, portent des stries peu visibles, de pitch à angle variant de 10° à 30° , vers le N et le S. Ces dépôts sont affectés aussi par des décrochements dextres de direction $N130^\circ E$ et de fort pendage (80° à 85°) vers le N. Les stries sont peu visibles avec un pitch à angle faible (4° à 5°) vers le Nord.

L'analyse des failles sur stéréogramme, montre qu'il s'agit d'une compression de direction NNW-SSE (Fig. 5, L), avec un rapport axial relativement faible ($R = 0,342$) (Tableau 1, L).

Formations anfatienne

Elle affleure dans la carrière de la cimenterie de Témara (Fig. 3, site 8). Les dépôts anfatien de la région ont enregistré un ensemble restreint de failles normales et de décrochements senestres. Ils sont recoupés par six failles normales, à surface gauche, de direction $N20^\circ E$ à $N40^\circ E$, de pendage (35° à 80°) vers le N et l'E. Les plans de failles avec parfois de la calcite, montrent des stries peu visibles avec des pitch à angle fort (42° à 90°) vers le S (Fig. 8). Le traitement de ces failles sur stéréogramme par la méthode d'Angelier (1991) montre que les dépôts anfatien sont soumis à une distension orientée NW-SE (Fig. 5, M1), avec un rapport axial R moyen ($R = 0.450$). Les caractéristiques de cette distension sont résumées dans le tableau 1 (ellipsoïde M_1).

Au niveau du même site, nous avons mis en évidence des décrochements senestres, à surface généralement plane, de direction $N00^\circ E$ et $N44^\circ E$, de fort pendage (70° à 90°) vers l'W. Les plans de failles enregistrent des stries bien visibles, de pitch à angle variable entre 10° et 60° vers le S. Le programme d'Angelier (1991) montre qu'il s'agit d'une compression de direction NNW-SSE (Fig. 5, M_2) avec un rapport axial R relativement faible ($R = 0,201$) (Tableau 1, ellipsoïde M_2).

Formation harounienne

Les dépôts harounien affleurent à environ 50 m au NW de la carrière de la cimenterie de Témara (Fig. 3, site 9). Ils sont découpés par deux systèmes de diaclases fermés, à surface plane, de fort pendage (55° à 85°) vers l'E, le NE et le SW. Le premier est un système de diaclases de tension de direction NNW-SSE, le deuxième est un système de diaclases de cisaillement dont la bissectrice à une direction NNW-SSE. Les deux systèmes montrent que la formation harounienne est

soumise à une compression dont la contrainte maximale est orientée NNW-SSE (Fig. 5, N).

Formations ouljiennne et mellahienne

Elles affleurent au niveau de la plage de Témara (Fig. 3, site 10).

Les dépôts ouljiens sont affectés par un système complexe de diaclases sub-verticales fermées, à surface gauche. On distingue essentiellement deux familles de diaclases hybrides qui montrent que les dépôts ouljiens ont enregistré l'effet de deux états de contraintes tectoniques compressifs dont les contraintes maximales sont orientées NNW-SSE et NNE-SSW (Fig. 5, O).

Même si son épaisseur est faible, la formation mellahienne a enregistré des diaclases sub-verticales fermées, à surface généralement gauche. Il s'agit essentiellement d'une famille de diaclases de tension, de direction NNE-SSW, ce qui montre que les dépôts mellahien ont été soumis à une compression de direction NNE-SSW (Fig. 5, P).

DISCUSSION ET MODELE GEODYNAMIQUE

Champs de contraintes et leurs âges relatifs

Les formations plio-quaternaires de la région de Rabat-Témara ont enregistré des déformations cassantes qui sont de deux types ; des failles striées, généralement des failles normales et des décrochements, montrant des déplacements relatifs de blocs, et des diaclases sans stries. Les diaclases sont rencontrées dans toutes les formations plio-quaternaires analysées (du Pliocène jusqu'au Mellahien). Par contre, les failles striées sont rencontrées exclusivement dans les formations anciennes (du Pliocène à l'Anfatien).

Nous pouvons donc dorénavant déjà tirer trois premiers résultats :

Les formations récentes (du Harounien au Mellahien) ont enregistré les champs de contraintes qui ont régné dans la région sans subir de déplacement notable. Alors que les formations anciennes (du Pliocène à l'Anfatien) ont répondu à ces champs de contraintes par des déplacements, donc une certaine cinématique de blocs. Ceci peut être lié à l'intensité des champs de contraintes.

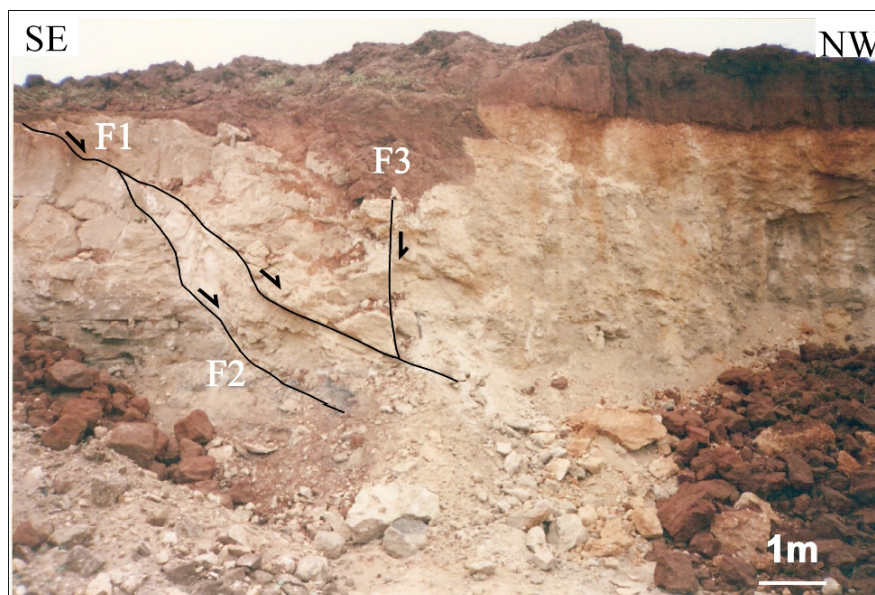


Figure 8. Dépôts anfatien de la carrière de la cimenterie de Témara affectés par des failles décrochantes normales (F1, F2 et F3).
Figure 8. Anfatian succession uncovered in the Temara cement-plant quarry. Remark normal strike-slip faults F1, F2 and F3.

L'étude néotectonique montre que les formations plio-quadernaires de la zone Rabat-Témara ont connu au moins deux champs de contraintes tectoniques extensifs qui sont matérialisés soit par des failles striées, soit par des diaclases, soit par les deux. En plus de la distension, nous avons mis en évidence quatre champs compressifs (Fig. 5) qui ont fait l'objet d'autres travaux de recherche (Chabli 2009, Chabli *et al.* 2014). Mais, c'est la distension qui est prédominante et la plus généralisée dans toutes les formations plio-quadernaires analysées de la région de Rabat et une partie de Témara.

A partir des résultats obtenus, on peut donner la datation relative des deux champs extensifs :

- Le plus ancien est le champ de contraintes 2 : c'est une distension dont la contrainte minimale σ_3 est orientée NW-SE à NNW-SSE. Cette distension n'est enregistrée que dans les dépôts anfétiens de la carrière de la cimenterie de Témara. Le champ de contrainte 2 a donc un âge relatif anfétien.

- Le plus récent est le champ de contraintes 1 : c'est une distension radiale qui se fait dans tous les sens, elle est enregistrée dans toutes les formations plio-quadernaires (du Pliocène jusqu'au Mellahien). Ce champ de contrainte a donc un âge relatif mellahien ou post-mellahien.

Modèle d'évolution tectonique récente

Pour l'élaboration d'un modèle qui explique les déformations mises en évidence dans la zone d'étude, on doit d'abord donner un aperçu structural et un historique de l'évolution tectonique de la région étudiée. En effet, cette région est située dans la zone littorale du môle côtier qui représente la partie la plus occidentale du domaine varisque mesetien marocain.

La région d'étude a été soumise aux déformations de l'orogénèse ancienne varisque (ou hercynienne).

L'orogénèse varisque a donné des structures E-W exclusivement dans l'anticlinal de Rabat-Tiflet (Piqué 1979, El Hassani 1991), principalement sous forme de plis, failles inverses, décrochements et des structures orientées principalement NE-SW et notamment des failles d'orientation sub-méridienne à NE-SW à jeu principalement décrochant dans le reste de la Meseta. Ces failles ont découpé la Meseta occidentale, et notamment le môle côtier en plusieurs

compartiments et blocs (Michard *et al.* 1983, Hoepffner 1987, Piqué & Michard 1989).

La région a été épargnée par les déformations alpines qui ont affecté le Rif et le domaine atlasique. Ceci est attesté par le fait que les formations secondaires et néogènes du Môle côtier sont restées tabulaires.

On peut donc tirer comme conclusion que la tectonique hercynienne était la plus dominante et a découpé la région en blocs et lanières. Nous pensons que les failles hercyniennes ont une influence importante sur l'évolution tectonique alpine et récente de cette région et sa bordure nord (bassin du Gharb), en particulier et de tout le Maroc en général (domaine atlasique notamment).

A partir de l'interprétation de profils sismiques obtenus par la sismique réflexion réalisée dans la partie sud du bassin du Gharb (Zouhri *et al.* 2003), on peut voir que dans la partie méridionale du bassin du Gharb, des accidents hercyniens réactivés en failles normales, compartimentent le socle paléozoïque, triasique et plio-quadernaires en demi-grabens (Fig. 9). Ceci montre que la partie méridionale du bassin est soumise à une distension qui se poursuit jusqu'à l'actuel.

Cette architecture du bassin a été démontrée aussi par l'application du SIG et des méthodes géoélectriques (Mansouri *et al.* 2016).

Champ de contraintes au Maroc au Plio-Quadernaire

Les frontières entre les plaques tectoniques sont souvent considérées comme de larges bandes de déformation active. Ce sont des zones de convergence ou de divergence où règne un style tectonique élastique ou plastique qui fait l'objet d'importantes discussions pour l'élaboration des modèles cinématiques.

La zone d'étude est localisée dans le Maroc septentrional, situé à l'extrémité occidentale de l'Afrique du Nord, donc limité au Nord par la zone d'interaction entre deux plaques tectoniques : Eurasie et Afrique. La limite entre ces deux plaques (Fig. 10) s'étend de la triple jonction sur la ride médio-atlantique (Açores) jusqu'à l'Est de la méditerranée (600 km environ). Le rapprochement entre l'Afrique et l'Eurasie du fini-Miocène jusqu'à l'actuel est conditionné en gros par un régime compressif orienté NNW-SSE à NW-SE (Buforn *et al.* 1988, DeMets 1990, Jimenez-Munt *et al.* 2001, Negrodo *et al.* 2002, Henares *et al.* 2003).

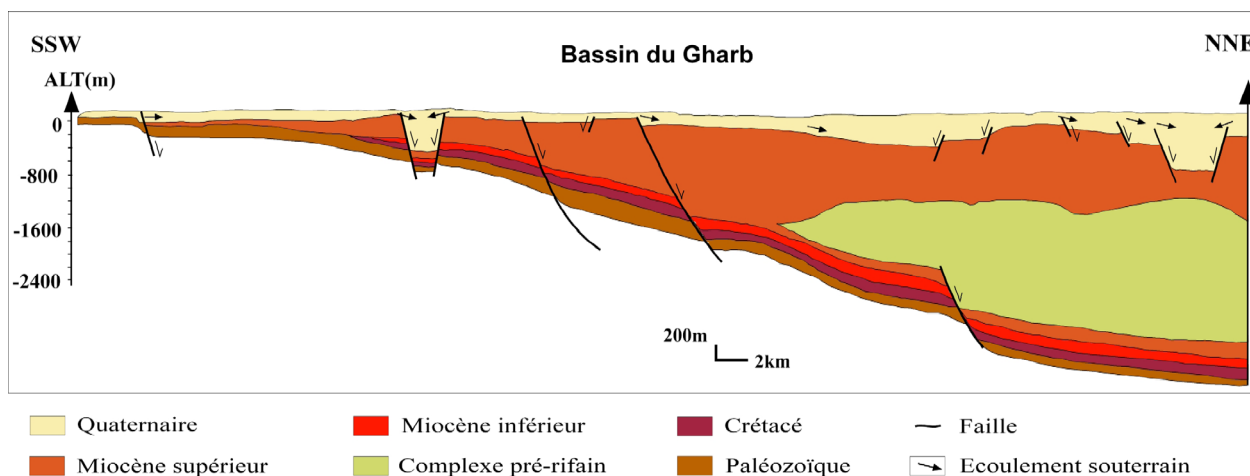


Figure 9. Structures des fossés plio-quadernaires et des formations sous-jacentes dans la partie méridionale du bassin du Gharb (Zouhri *et al.* 2003, modifié).

Figure 9. Structures of Plio-Quaternary gutter basins, and the underlying hosting formations in the southern part of the Gharb basin (Zouhri *et al.* 2003, modified).

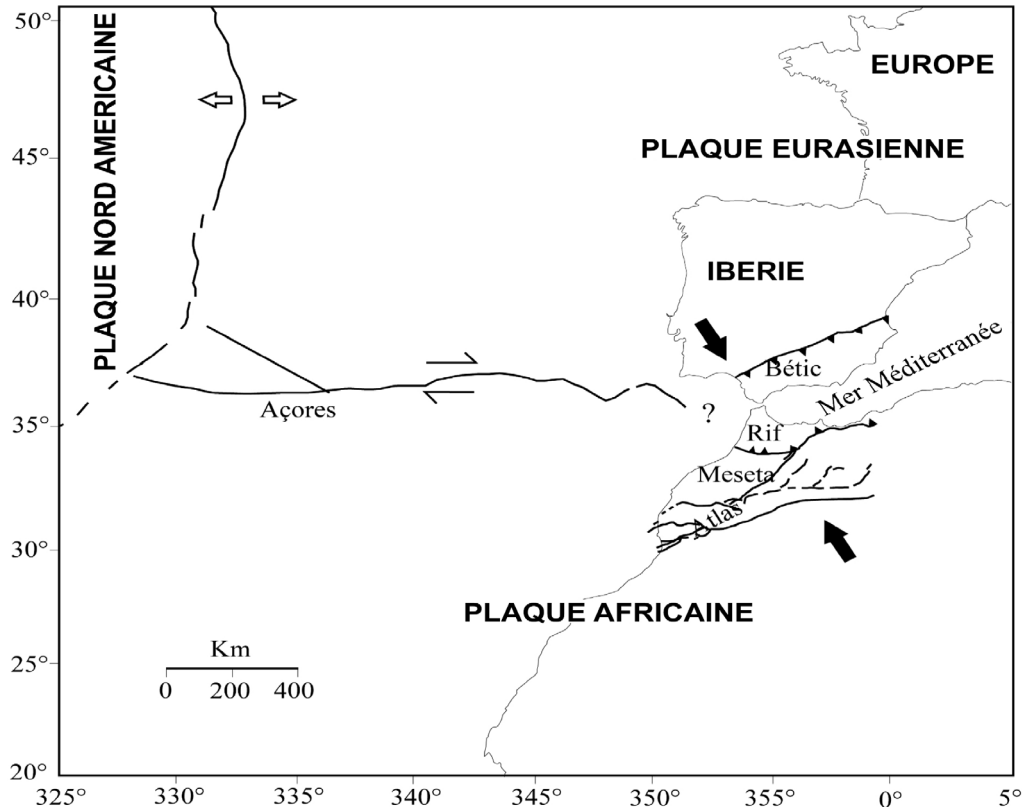


Figure 10. Carte de situation tectonique générale montrant la convergence Afrique-Eurasie (Gonzalez, 2001, modifié).

Figure 10. General location map showing the tectonic setting of the studied area at the scale of the Africa-Eurasia convergence (modified from Gonzalez, 2001).

L'étude de la direction du champ de déplacement déduit des mesures de GPS (Vernant *et al.* 2010, Pérouse *et al.* 2010, Chalouan *et al.* 2014) montre une cohérence importante entre le maximum de la contrainte compressive horizontale régionale (SHmax) et le champ de déplacement déduit des mesures GPS par rapport à la plaque africaine (Pedrera *et al.* 2011). Les deux semblent refléter la convergence NW-SE à NNW-SSE entre l'Eurasie et l'Afrique et qui est perturbée dans le Rif et déviée vers le SSW à SW (Fig. 11).

Des études récentes ont essayé d'estimer la vitesse de convergence dans cette zone, elle est d'environ 4-6 mm/an dans la région bético-rifaine (Argus & Gordon 1991, De Mets *et al.* 1994, Calais *et al.* 2003). Cette déviation est expliquée d'une part par la présence au Rif oriental d'un bloc quasi-rigide soudé à la plaque africaine stable. Cette dernière est limitée vers l'Est par la zone de faille latérale active orientée NNE-SSW associée à la sismicité d'Al Hoceima et vers le Nord par le front inverse de la ride d'Alboran et la zone de faille d'Yusuf de direction NE-SW (Fig. 12). Ce bloc est donc délimité par des failles importantes qui accommodent la déformation, contrôlant ainsi la distribution des contraintes et le champ de déplacement en surface.

D'autre part, cette déviation est expliquée par la présence de failles majeures qui découpent la chaîne du Rif (Chalouan *et al.* 2006) (Fig. 12) :

- La faille crustale qui passe entre le Moyen Atlas plissé et le Moyen Atlas tabulaire-Meseta et qui se prolonge vers le nord vers Melilla, la mer d'Alboran puis fort probablement dans la partie orientale des Cordillères Bétiques. C'est une faille très importante qui a joué en décrochement senestre (Andeweg & Clothing 2001, Bernini *et al.* 2000).

- La faille de Fès-Tissa-Taineste qui s'étend plus loin que la faille de Nekkour et joue en décrochement senestre.
- La faille de Jebha orientée N70°E et borde le NW du domaine du Rif Interne et s'étend vers l'Est dans la mer d'Alboran. C'est un décrochement qui a joué en senestre comme rampe latérale au Miocène inférieur et qui a été réactivé plus tard en décrochement dextre (Benmakhlof *et al.* 2005, Chalouan *et al.* 2006).

Le bloc rifain délimité par les failles décrites ci-dessus serait un coin expulsé vers le SW lors de la convergence plio-quadernaire Afrique-Eurasie orientée NNW-SSE à NW-SE. La présence dans les Rides pré-rifaines (Jebel Zerhoum à Meknès et à Fès Jebel Trhat) et vers le secteur d'Arbaoua, Saïs et Meseta côtière, des traces de raccourcissement N-S, NE-SW voire ENE-WSW serait due à la combinaison du raccourcissement principal NNW-SSE et aux raccourcissements locaux induits par l'expulsion du coin rifain (Fig. 12).

La zone d'étude est donc soumise à l'effet d'un grand régime compressif généré par la convergence Afrique-Eurasie orientée NNW-SSE à NW-SE et l'expulsion du Rif central vers le SW. L'analyse tectonique des failles et des diaclases affectant les formations plio-quadernaires a permis de mettre en évidence deux champs de contraintes tectoniques distensives (dans le grand régime compressif), une distension orientée NNW-SSE à NW-SE et une distension radiale. Ces résultats peuvent être interprétés par le modèle d'avant-pays (Fig. 13) sous l'action combinée de la convergence Afrique-Eurasie et l'expulsion du Rif vers le SW. En effet, le bassin du Gharb est un bassin subsident, qui avec la compression NNW-SSE à NW-SE engendre un plissement du socle paléozoïque de grand rayon de courbure. La région de Rabat et une partie de Témara seront situées sur le rayon de courbure de la flexure

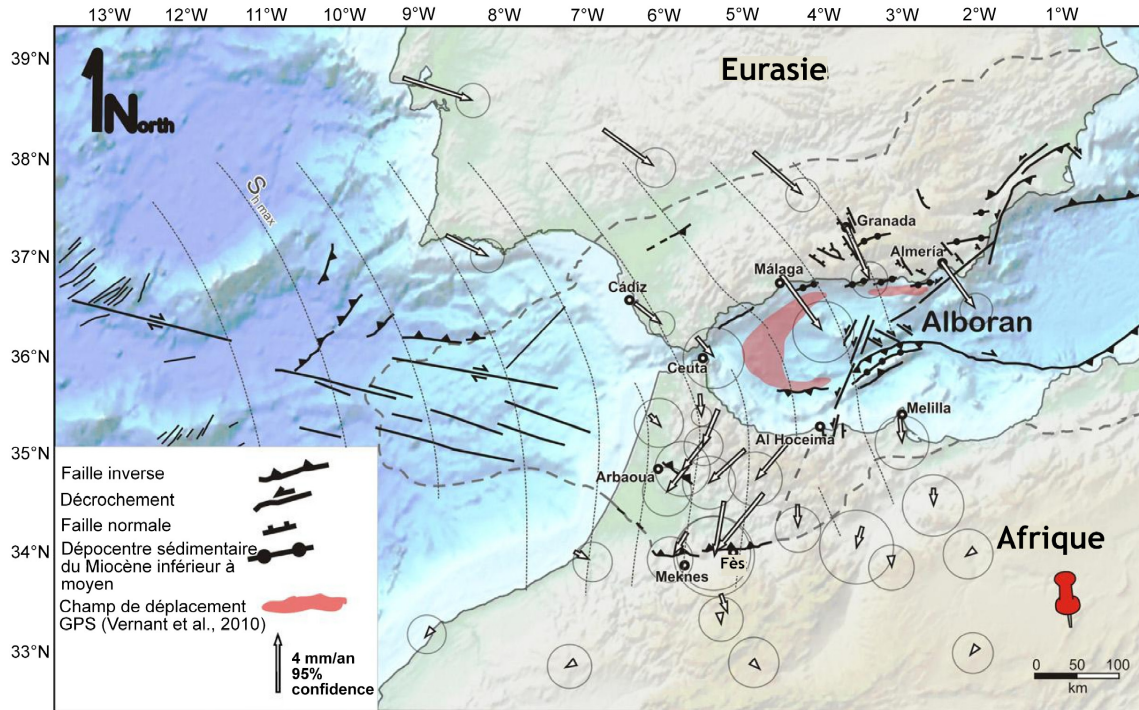


Figure 11. Comparaison entre la carte des contraintes, le champ de déplacement déduit des mesures de GPS (Vernant *et al.* 2010), et les structures tectoniques Plio-Quaternaires de l'Ouest de l'arc de Gibraltar.

Figure 11. Comparison between the stress map, the displacement field deduced from GPS measurements (Vernant *et al.* 2010), and the Plio-Quaternary tectonic structures of the western Gibraltar Arc.

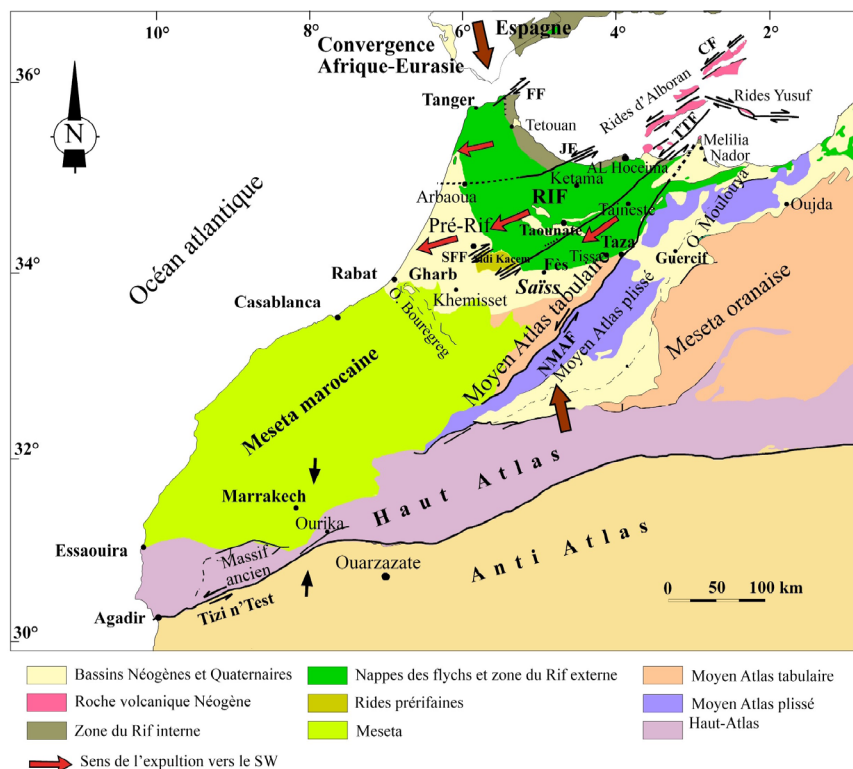


Figure 12. Modèle tectonique régional, y compris l'expulsion vers le sud-ouest en coin de la chaîne du Rif, la convergence Afrique-Europe et le raccourcissement Atlas qui déterminera les champs de contraintes. CF, faille du Carboneras; FF, faille de Fahies; FTT, faille de Fes-Tissa-Taineste; JF, faille de Jebha; NMAF, faille du Nord Atlas Central; SFF, faille de Sidi Fili-Bou Draa (Chalouan *et al.* 2006, Chabli 2009, Bargach 2011).

Figure 12. Regional tectonic model, interfering the three kinematic processes responsible for the present-day stress field: the southwest corner expulsion of the Rif chain, the Africa-Europe convergence and the High Atlas shortening. CF, Carboneras Fault; FF, Fahies Fault; FTT, Fes-Tissa-Taineste fault; JF, Jebha Fault; NMAF, North Central Atlas Fault; SFF, Sidi Fili-Bou Draa fault (Chalouan *et al.* 2006, Chabli 2009, Bargach 2011).

crustale de l'avant pays du Rif. Plus la contrainte compressive liée à la convergence Afrique-Eurasie augmente, plus il y'aura des distensions à l'extrados du pli de grand rayon de courbure dans la même direction de la compression, ce qui explique l'extension orientée NNW-SSE à NW-SE dans la zone d'étude (Fig. 13).

L'action combinée de la convergence Afrique-Eurasie (NNW-SSE à NW-SE) et l'expulsion du Rif vers le SW vont engendrer deux types d'extensions plus ou moins perpendiculaires orientées NNW-SSE à NW-SE et NE-SW, donc une distension dans tous les sens, c'est la distension radiale qui est la plus généralisée dans la zone d'étude.

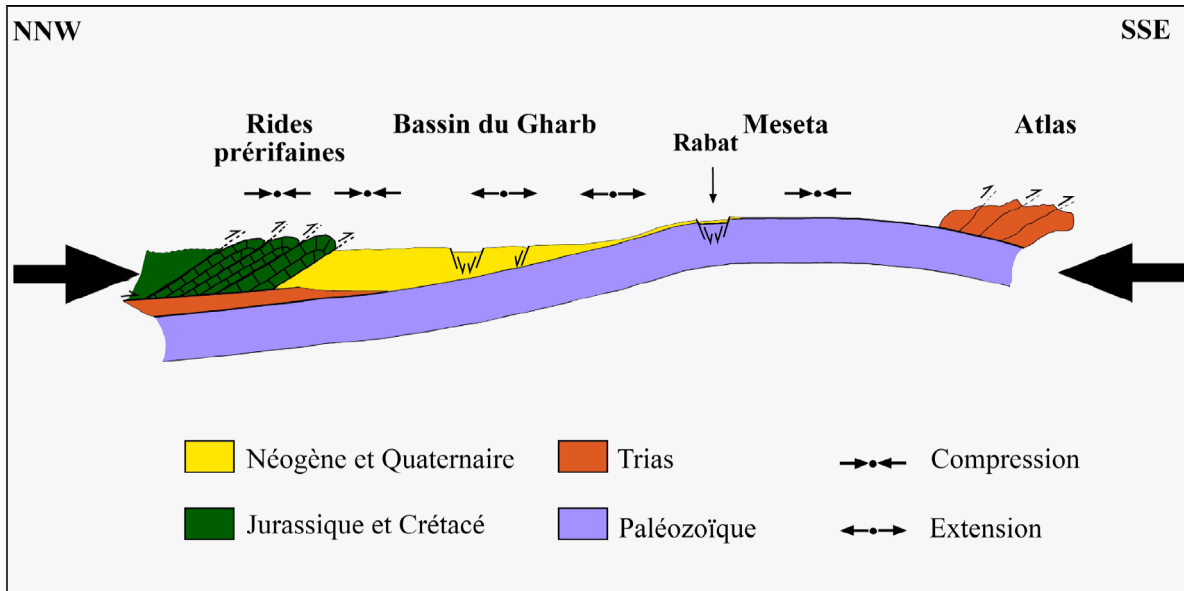


Figure 13. Modèle en coupe expliquant la répartition des contraintes tectoniques dans les formations plio-quaternaires de la zone de Rabat et ses alentours.

Figure 13. Sectional model explaining the distribution of tectonic stresses in the Plio-Quaternary formations of the Rabat area and its surroundings.

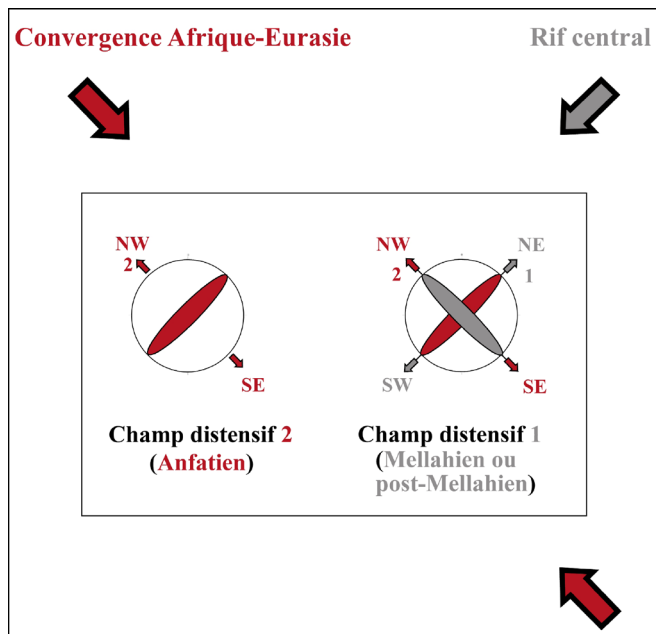


Figure 14. Relations entre la convergence Afrique-Eurasie, expulsion du Rif central vers le SW et les deux champs tectoniques extensifs.

Figure 14. Causal link between the Africa-Eurasia convergence, the SW expulsion of the central Rif, and the two extensional tectonic fields.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude est un exemple important pour expliquer la géodynamique de la région. Elle est menée dans une

partie d'une marge passive, entre Rabat et Témara, réputée restée stable depuis la fin de l'orogénèse varisque. L'analyse microtectonique des formations récentes de cette zone a permis de mettre en évidence des déformations tectoniques distensives et compressives d'âge plio-quaternaire. En fait, l'étude néotectonique de la bande littorale atlantique marocaine entre Rabat et Témara révèle que la région a enregistré deux types de déformations cassantes: des failles striées (décrochements et quelques failles à composante normale) qui ont affecté exclusivement les formations plio-quaternaires les plus anciennes et des diaclases sans déplacement relatif qui ont affecté toutes les formations plio-quaternaires de la zone d'étude.

L'étude et la hiérarchisation de ces fractures ont révélé la présence de deux champs de contraintes tectoniques distensives :

- Champ distensif -I- d'âge mellahien ou post-mellahien, caractérisée par une distension radiale.
- Champ distensif -II- d'âge anfatien, caractérisée par une distension orientée NW-SE à WNW-ESE.

Ces champs de paléocontraintes distensives seraient le résultat de l'effet de la convergence directe Afrique-Eurasie orientée NNW-SSE à NW-SE combinée à l'expulsion vers le SW du Rif central.

Les déformations distensives enregistrées dans la région et notamment dans la région de Rabat peuvent être dues à l'effet de la distension qui caractérise la partie méridionale du bassin du Gharb qui jouxte la zone étudiée, région située (Gharb et Rabat) sur la flexure crustale.

L'analyse microtectonique des formations récentes de cette zone a donc permis de mettre en évidence des déformations

tectoniques distensives d'âge plio-quadernaire au sein d'un grand régime compressif régional.

Ces résultats témoignent d'une instabilité tectonique d'une partie d'une marge continentale, considéré depuis longtemps, comme étant tectoniquement stable durant le Plio-Quadernaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent particulièrement à adresser leurs vifs remerciements aux évaluateurs pour le temps et l'effort qu'ils ont dédiés à cet article. Votre expertise a été de grande utilité pour la consolidation et le rehaussement de la qualité du contenu scientifique de ce travail. Permettez-nous, à travers cette production, d'exprimer tous nos sincères sentiments de reconnaissance au Professeur Carlos Sanz de Galdeano, Chercheur principal à l'Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC) à l'Université de Grenade-Espagne, et à Mme Afaf Amine, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohamed V pour leurs commentaires, critiques et suggestions.

REFERENCES

- Akil M. 1980. *Contribution à l'étude sédimentologique des formations littorales quadernaires de la région de Rabat (Maroc)*. Diplôme d'Etude Supérieure 3^{ème} cycle de géologie, Faculté des Sciences de Rabat, 137 p.
- Akil M. 1990. *Les dépôts quadernaires littoraux entre Casablanca et Cap Beddouza (Méséta côtière marocaine) : études géomorphologiques et sédimentologiques*. Thèse de Doctorat ès Sciences., Faculté des Sciences, Rabat, 417 p.
- Akil M., Chalouan A., Istiqam H. *et al.* 1995. Les formations quadernaires de la rive sud du Détroit de Gibraltar. IV Coloquio Internacional sobre el enlace fijo del Estrecho de Gibraltar; Sevilla. Mayo 1995.
- Akil M., Galindo-Zaldívar, J. Tahayt A. *et al.* 2000. Deformaciones plio-quadernarias en la région de Rabat. *Geogaceta*, 29, 3–6.
- Andeweg B. & Cloething S. 2001. Evidence for an active sinistral shear zone in the western Alboran region. *Terra Nova*, 13, 44–50.
- Angelier J. 1991. Programa TENSOR, 5, 45.
- Argus D.F. & Gordon R.G. 1991. No-net-rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1. *Geophysical Research Letters*, 18, 2039–2042.
- Bargach K. 2011. *Les déformations plio-quadernaires dans la partie frontale de la chaîne du Rif (Rides pré-rifaines, et bassin du Saïs) un exemple de la tectonique en coins expulsé*. Thèse Nationale, Université Mohamed V, Rabat, 215 p.
- Beaudet G. 1969. *Le plateau central marocain et ses bordures : étude géomorphologique*. Thèse de Doctorat-lettres, Université Mohamed V, Rabat, 478 p.
- Beaudet G. 1971. Le Quadernaire marocain, état des études. *Revue Géographie Maroc*, 20, 3–40.
- Benmakhoulf M., Galindo-Zaldívar J., Chalouan A. *et al.* 2005. Cinemática y paleoesfuerzos en la zona de falla transcurrente de Jebha-Chrafate (Rif septentrional, Marruecos). *Geogaceta*, 38, 71–74.
- Bernini M., Boccaletti M., Moratti G. *et al.* 2000. Structural development of the Taza-Guercif Basin as a constraint for the Middle Atlas Shear Zone tectonic evolution. *Marine and Petroleum Geology*, 18, 391–408.
- Bouatmani R., Medina F., Ait Salem E. *et al.* 2004. Le bassin d'Essaouira (Maroc) : géométrie et style des structures liées au rifting de l'Atlantique central. *Africa Geoscience Review*, 11(2), 107–123.
- Biberson P. 1961a. Le cadre paléogéographique de la préhistoire du Maroc atlantique. *Bulletin de Services Antiquités, Maroc*, 16, 235 p.
- Biberson P. 1961b. Paléolithique inférieur du Maroc atlantique. *Bulletin de Services des Antiquités, Maroc*, 17, 544 p.
- Brandes C., Schmidt C., Tanner D.C. *et al.* 2013. Paleostress pattern and salt tectonics within a developing foreland basin (north-western Subhercynian Basin, northern Germany). *International Journal Earth Scientific*, 102, 2239–2254.
- Buform E., Udías A. & Mezcua J. 1988. Seismicity and focal mechanisms in south Spain. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 2008–2224.
- Calais E., DeMets C. & Nocquet J.M. 2003. Evidence for a post-3.16-Ma change in Nubia–Eurasia–North America plate motions? *Earth and Planetary Science Letters*, 216, 81–92.
- Chabli A., Galindo-Zaldívar J., Akil M. *et al.* 2003. Nouvelles observations sédimentologiques, stratigraphiques et néotectoniques sur les formations plio-quadernaires de la région de Témara. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, Rabat*, 452, 293–300.
- Chabli A. 2009. *Études sédimentologique et néotectonique des formations plio-quadernaire littorales entre Rabat et Casablanca*. Thèse de doctorat ; Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat, 244 p.
- Chabli A., Chalouan A., Akil M. *et al.* 2014. Plio-Quadernary paleo-stresses in the Atlantic passive margin of the Moroccan Meseta : influence of the Central Rif escape tectonics related to the Eurasia-Africa plate convergence. *Journal of Geodynamics*, 77, 123–134.
- Chahid D., Boudad L., Lenoble A. *et al.* 2016. « Nouvelles données morpho-stratigraphiques et géochronologiques sur le cordon littoral externe (SIM 5-c) de Rabat–Témara, Maroc », *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 22(3), 253–264.
- Chalouan A., Galindo-Zaldívar J., Akil M. *et al.* 2006. Tectonic wedge escape in the southwestern front of the Rif Cordillera (Morocco). In: Moratti, G., Chalouan, A. (Eds.), *Tectonics of the Western Mediterranean and North Africa*. Geological Society Publishing House, Bath, pp. 101–118.
- Chalouan A., Gil A.J., Galindo-Zaldívar J. *et al.* 2014. Active faulting in the frontal Rif Cordillera (Fes region, Morocco): Constraints from GPS data. *The Journal of Geodynamics*, 77, 110–122.
- Cirac P. 1987. Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Évolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. *Bulletin de l'Institut de géologie du bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, 21 p.
- Choubert G. & Marçais J. 1947. Le Quadernaire des environs de Rabat et l'âge de l'Homme de Rabat. *Les Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, 224, 1645–1647.

- Choubert G. & Ambrogetti R. 1953. Note préliminaire sur la présence de deux cycles sédimentaires dans le Pliocène marin au Maroc. *Note et Service Géologique du Maroc*, 117.
- De Guidi G., Caputo R. & Scudero S. 2013. Regional and local stress field orientation inferred from quantitative analyses of extension joints: case study from southern Italy. *Tectonics* 32, 239–251.
- DeMets C., Gordon G.G., Argus D.F. *et al.* 1990. Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 101, 425–478.
- DeMets C., Gordon G.G., Argus D.F. *et al.* 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21, 2191–2194.
- Destombes J. & Jeannette A. 1966. Mémoire explicatif de la carte géotechnique de la Méséta côtière à l'Est de Casablanca au 1/50.000, région de Mohammedia, Bouznika et Ben Slimane. *Notes et Mémoires, Service géologique de Maroc, 180 bis*.
- El Graoui M. 1994. *Contribution à l'étude des formations littorales quaternaires de la région de Casablanca (Maroc) : sédimentologie, microfaciès et minéraux lourds*. Thèse Doctorat, Université des sciences, Bordeaux I, 293 p.
- El Hammichi F., Tabyaoui H., Chaoui A. *et al.* 2006. Mio-pliocène tectonics in Moroccan rifian foreland: coexistence of compressive and extensional structures. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19, 1–2).
- El Hassani A. 1991. La zone de Rabat-Tiflet : Bordure nord de la chaîne calédono-hercynienne du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 15, 1–134.
- El Hassani A. 1994. Tectonique de la Meseta nord occidentale. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 18, 107–124.
- Feinberg H. 1986. Les séries tertiaires des zones externes du Rif (Maroc). *Notes et Mémoire du Service Géologique, Maroc*, 315, 1–192.
- Feinberg H.H. & Lorenz H.G. 1970. Nouvelles données stratigraphiques sur le Miocène supérieur et le Pliocène du Maroc nord-occidental. *Notes et Mémoire du Service Géologique*, 225, 21–26.
- Flinch J.F. 1993. *Tectonic evolution of the Gibraltar Arc*. Ph.D. Thesis, Rice University, Houston, Texas, USA, 212 p.
- Frizon de Lamotte D., Saint Bezar B., Bracène R. *et al.* 2000. The two mainsteps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean. *Tectonics* 19, 740–761.
- Galindo-Zaldívar J. & González-Lodeiro F. 1988. Faulting phase differentiation by means of computer search on a grid pattern. *Annales Tectonicae*, 2, 90–97.
- Gigout M. 1951. Étude géologique sur la Méséta marocaine occidentale (arrière-pays de Casablanca, Mazagan et Safi). *Notes et mémoire du Service géologique, Maroc*, 2, 86.
- Gigout M. 1960. Essai sur la paléoclimatologie, la sédimentation, et la morphogenèse quaternaires au Maroc. *Comptes rendus sommaires des séances de la Société Géologique de France*, 2, 42–43.
- Gonzalez L.F. 2001. *La cinématique de l'Atlantique Nord - La question de la déformation intraplaque*. Ph.D. Thesis, Université de Bretagne Occidentale.
- Hancock P.L. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, 7, 437–457.
- Hancock P.L. 1986. Joint spectra. In: Nichol, I., Nesbitt, R.W. (Eds.), *Geology in the Real World – The Kingsley Dunham Volume*. Institution of Mining and Metallurgy, London, 155–164.
- Henares J., López Casado C., Sanz de Galdeano C. *et al.* 2003. Stress fields in the Iberian-Maghrebi region. *Journal of Seismology*, 7, 65–78.
- Hoepffner C. 1987. *La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc*. Thèse de Doctorat ès-sciences. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 269 p.
- Jacobshagen V., Brede R., Hauptmann M. *et al.* 1988. Structure and post-Paleozoic evolution of the Central High Atlas. In: Jacobshagen, V. (Ed.), *the Atlas System of Morocco. Lecture Notes in Earth Sciences*, 15, pp. 245–271.
- Jiménez -Munt I., Fernández M., Torné M. *et al.* 2001. The transition from linear to disuse plate boundary in the Azores-Gibraltar region: results from a thin-sheet model. *Earth and Planetary Science Letters*, 192, 175–189.
- Lecointre G. 1926. Recherches géologiques dans la Méséta marocaine. *Mémoires de la Société des sciences naturelles du Maroc*, 14, 158 p.
- Lecointre G. 1952. Recherches sur le néogène et le Quaternaire marin de la côte atlantique du Maroc. *Notes et Mémoires, Service géologique du Maroc*, 99, 386 p.
- Litto W., Jaaidi E., Dakki M. *et al.* 2001. Etude sismo-structurale de la marge nord du bassin du Gharb (avant-pays rifain, Maroc) : mise en évidence d'une distension d'âge miocènes supérieur. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 94, 63–73.
- Maad N., Le Roy P., Sahabi M. *et al.* 2010. Seismic stratigraphy of the NW Moroccan Atlantic continental shelf and Quaternary deformation at the offshore termination of the Southern Rif front. *Comptes Rendus Géoscience*, 342, 731–740.
- Maillard A., Malod J., Thiébot E. *et al.* 2006. Imaging lithospheric detachment at the continent-ocean crustal transition off Morocco. *Earth and Planetary Science Letters*, 241, 686–698.
- Mansouri A., Kacimi I., Hadri M. *et al.* 2016. Application du SIG et des méthodes géoélectriques pour la caractérisation géophysiques et modélisation tridimensionnelle des aquifères Sud-Ouest du bassin du Rharb (Maroc NW). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14(1), 73–83.
- Michard A., Chalouan A., Moutigny R. *et al.* 1983. Les nappes cristallophylliennes du Rif (Sébtides; Maroc), témoins d'un édifice alpin de type permienne incluant le manteau supérieur. *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de paris*, 296(2), 1337–1340.
- Millies-Lacroix A. 1974. Carte géotechnique de la région de Rabat. *Notes et Mémoire du Service Géologique du Maroc*, 238 p.
- Morel J.L. 1987. Observations néotectoniques sur le littoral Atlantique du Maroc septentrional (région de Rabat) : mise en évidence de mouvements compressifs au

- Pléistocène. *Notes et Mémoires, Service géologique de Maroc*, 43, 313–319.
- Negredo A.M., Bird P., Sanz de Galdeano *et al.* 2002. Neotectonic modeling of the Ibero-Maghrebian region. *Journal Geophysics Research*, 107 (B11), ETG-10.
- Pedreira A., Ruiz- Constan A., Galindo-Zaldivar J. *et al.* 2011. Is there an active subduction beneath the Gibraltar orogenic arc? constraints from Pliocene to Present-day stress field. *Journal of Geodynamics*, 52(2), 83–96.
- Pérouse E., Vernant P., Chéry J. *et al.* 2010. Active surface deformation and sub-lithospheric processes in the western Mediterranean constrained by numerical models. *Geological Society of America*, 38(9), 823–826.
- Piqué A. 1979. *L'évolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la Méséta marocaine nord-occidentale*. Thèse Doctorat, Science, Strasbourg, 245 p.
- Piqué A. & Michard A. 1989. Moroccan Hercynides: a synopsis. The Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. *American Journal of Science*, 289, 286–330.
- Saddiqi O., Sebti S., Baïdier L. *et al.* 2008. First Zircon Fission Track Analysis in Western Anti-Atlas, Morocco: Evidence of Early Variscan Deformation of the Mauritanide Foreland Belt. 90074 c 2008 MAPG, First International Conference & Exhibition, Marrakech, Morocco.
- Sefiani S. 2003. *Evolution géodynamique du néogène post-nappe à potentiel pétrolier, de la marge méridionale du bassin du Gharb (Avant-pays du Rif) : Apport des diagraphies différées et de la sismique réflexion*. Thèse Doctorat, Faculté des Sciences, Rabat, 134 p.
- Sefiani S., Dakki M. & Jaadi E.B. 2002. La série néogène supranappes du bassin du Gharb, Maroc: étude séquentielle par des diagraphies différées. *Africa geoscience Earth review*, 9(2), 119–134.
- Sitel A. 1996. *Études géomorphologiques et sédimentologiques des dépôts quaternaires littoraux entre Casablanca et Bouznika*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Université Mohammed V, Rabat, 184 p.
- Sitel A. & Akil M. 1998. Les marqueurs lithostratigraphiques des dépôts quaternaires littoraux de la région de Mohammedia. *African Geoscience review*, 5, 183–190.
- Teixell A., Arboleya M.L., Julivert *et al.* 2003. Tectonic shortening and topography in the central high Atlas (Morocco). *Tectonics*, 22, 1051.
- Texier J.P., Rayanal J.P. & Lefevre D. 1985. Nouvelles propositions pour un cadre chronologique raisonné du Quaternaire marocain. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 301(2), 183–188.
- Vernant P., Fadil A., Mourabit T. *et al.* 2010. Geodetic constraints on active tectonics of the Western Mediterranean: implications for the kinematics and dynamics of the Nubia-Eurasia plate boundary zone. *Journal of Geodynamics*, 49, 123–12.
- Wernli R. 1978. La base du Moghrébien est d'âge pliocène moyen (zone à crassaformis) dans la Mamora (Maroc). *Archives des Sciences, Université de Genève*, 3(2), 129–132.
- Wernli R. 1979. Le Pléistocène de la Mamora (Maroc) : stratigraphie et foraminifères planctoniques. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 72(1) 110–143.
- Zizi M. 1996a. Triassic-Jurassic extension and Alpine inversion in northern Morocco. In: Ziegler P.A. & Horvath F. (Eds.), Peri-Tethys Memoir 2: Structure and prospects of Alpine basins and forelands. *Mémoires du Muséum naturel de l'Histoire naturelle, Paris*, 87–101.
- Zouhri L., Lamouroux C. & Buret C. 2001. La Mamora, charnière entre la Meseta et le Rif: son importance dans l'évolution géodynamique post-paléozoïque du Maroc. *Geodinamica Acta*, 14, 361–372.
- Zouhri L., Gorini C., Lamouroux C. *et al.* 2003. Interprétation hydrogéologique de l'aquifère des bassins sud-rifains (Maroc) : Apport de la sismique réflexion. *Comptes Rendus Géoscience*, 335, 319–326.

Manuscrit reçu le 27/07/2022
Version révisée acceptée le 17/05/2023
Version finale reçue le 22/05/2023
Mise en ligne le 23/05/2023