



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 1293–1300



COMPTES RENDUS

GEOSCIENCE

<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Tectonique

Mise en évidence et analyse d'une structure atlasique ennoyée au front de la Chaîne alpine tunisienne

Sami Khomsi^{a,*}, Mourad Bédir^a, Hédi Zouari^a, M. Ghazi Ben Jemia^b

^a Laboratoire Géoressources, Institut national de la recherche scientifique et technique (INRST), BP 95, Hammam Lif 2050, Tunisie

^b Kuwait Foreign Petroleum Company, Tunisia Limited (KUFPEC), Les Berges-du-Lac, Tunis

Reçu le 3 novembre 2003 ; accepté le 25 mai 2004

Présenté par Jacques Angelier

Résumé

En avant de la chaîne atlasique tunisienne est identifié, en subsurface, un accident majeur : la faille de Kairouan–Sousse (FKS). Cet accident hérité a fonctionné à certaines époques, notamment au cours du Crétacé terminal–Miocène. L'analyse structurale d'un profil de sismique réflexion montre que cette faille est un rameau de l'accident Labeïd–Chérichira coupant toute la Tunisie orientale. Cette faille a engendré deux blocs structuraux différents : un bloc soulevé et comprimé au nord, et un bloc subsident au sud. Le bloc septentrional se présente sous forme d'une grande structure anticlinale, dont le cœur est occupé par une structure diapirique triasique injectée dans le nœud tectonique de Ktifa. Au sud de la FKS existe une faille du même type : la faille d'El Hdadja (FEH). Toutes deux ont contrôlé, à partir du Crétacé supérieur, une structure de type *pull-apart*, située sur l'emplacement actuel de la plaine de Kairouan, ici nommée synforme de Kairouan–El Hdadja. Il s'agit d'une importante structure transpressive, ennoyée sous les sédiments plio-quatérnaires, laquelle a clairement enregistré, dans une zone de faiblesse héritée située au front de la chaîne, le détail de la structuration alpine en Tunisie. **Pour citer cet article : S. Khomsi et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Highlight and analysis of an Atlasic structure beneath the plain of Kairouan–Sahel, northeastern Tunisia. The eastern Tunisian Atlas shows major subsurface faults: the Kairouan–Sousse Fault (FKS), to the north, and the El Hdadja fault (FEH), to the south. The FKS is an inherited structural trend active since Late Cretaceous times. This fault is an eastern splay of the Chérichira–Labeïd fault. It separates a large northern diapiric structure (Ktifa Diapir) from a subsident domain (the Kairouan–El Hdadja rim-syncline), with a pull-apart configuration to the south. The latter area, which appears to be an inherited weakness zone at the range border, has recorded a series of tectonic events that characterizes the Alpine structural development in Tunisia. **To cite this article: S. Khomsi et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : samigology2004@yahoo.ca (S. Khomsi).

Mots-clés : Tunisie orientale ; décrochement ; dôme, *pull-apart* ; subsurface ; discordances majeures

Keywords: eastern Tunisia; major faults; diapiric; pull-apart; subsurface; unconformities

Abridged English version

1. Introduction

The study zone includes the Kairouan–Sahel plain as well as the eastern segment of the fold and fault deformed north–south fold axis. This is a major structural trend as it long-lastingly separated during geologic times two differently sedimented areas: the central Tunisia Atlas to the west and the Sahel block to the east [1,2,5–7,9–11].

The north–south axis shows local variations in strike especially at the junction with major east–west transverse faults such as the Labéid–Chérichira fault [4]. This transverse fault extends largely eastwards through to its eastern Kairouan–Sousse branch (Fig. 1).

2. Main results

The Kairouan–Sousse fault (FKS) is a subsurface east–west major fault that projects offshore to the east (Fig. 1).

Recent seismic data provides new interpretations of the regional structural style. The seismic line L1 (Fig. 2) shows a subvertical fault (FKS) separating two structural domains (Fig. 2):

- the structure of Ktifa to the north, which is a box anticline limited by two listric thrust faults (Fig. 2);
- the rim-syncline of Kairouan–El Hdadja to the south (Fig. 2), which was particularly subsident during Late Cretaceous–Palaeogene times; it is limited to the north by the FKS and to south by the FEH (Fig. 2).

The zone separating the two regional structures presents chaotic seismic facies with sigmoid divergent

configurations (Fig. 2) indicating that the sedimentation occurred in a mobile context, whereas in the rim-syncline of Kairouan–El Hdadja, the Jurassic to Late Miocene seismic reflectors are continuous, with high acoustic impedance and parallel configurations that characterise calm and steady subsidence.

Nine unconformities (sedimentary and angular) are recognized in the rim-syncline of Kairouan–El Hdadja, which are, from top to bottom (Fig. 2):

- unconformity 1, between Late Miocene and Lower Miocene, a conspicuous angular unconformity coeval with the Late Miocene Atlasic folding phase;
- unconformity 2, between the Early Miocene and the Oligocene;
- unconformity 3, between the Oligocene and the Late Eocene, this angular unconformity showing a top-lap configuration and erosion of Latest Eocene beds;
- unconformity 4, between the Late Eocene and the Lower Eocene, which is also an angular unconformity associated with top-lap configuration and erosion of the Lower Eocene;
- unconformity 5, an angular unconformity between Lower Eocene and Palaeocene shales, eroded and incised;
- unconformity 6, an angular unconformity between the Palaeocene beds and the Campanian–Maastrichtian limestones, underlined by down-lap configuration;
- unconformity 7, lying between Campanian–Maastrichtian and Middle Cretaceous;
- unconformity 8, an angular unconformity located between Middle Cretaceous and Lower Cretaceous with on-lap configuration;
- unconformity 9, an angular unconformity between the Lower Cretaceous and a Jurassic sealed rollover.

3. Ktifa Diapir

The Ktifa structure is a box shaped anticline moulded on a diapiric structure at depth (Fig. 2). At the top

of the structure, pre-Cretaceous and post-Cretaceous beds are pinched out, indicating vertical halokinetic movements since Jurassic to Late Cretaceous times, whereas in the adjacent rim-syncline of Kairouan–El Hdadja, Jurassic, and Palaeogene beds are even thick (Fig. 2). The seismic line L1 shows that the top most part of the structure is collapsed with conjugate normal faults (Fig. 2). The Palaeogene–Lower Neogene time interval was also a paroxysmal diapiric period, which is supported by the occurrence of a corresponding sedimentary gap.

The Ktifa Diapir provides thus new data concerning major diapiric events and shows that these structures are associated with major inherited faults, acting as weakness zones along which salt intrusions occur.

4. The Kairouan–El Hdadja pull-apart structure

The FKS is a deep-seated structure that controlled the subsidence history of the Kairouan–El Hdadja domain.

Seismic-reflection data analysis clearly shows that the zone located between FKS and FEH is submitted to tectonic subsidence, especially during Late Cretaceous–Palaeogene times. This is in relation with the development of a pull-apart (Fig. 3). This structure took place on an inherited and deep weakness zone possibly related to a gravity anomaly sourced in the pre-Triassic basement (Fig. 4).

5. Conclusions

The flat Sahel domain of Tunisia overlies a large set of buried Atlasic structures such as strike-slip, thrust faults, diapirs and pull-apart structures.

The involved sediments trapped in the Kairouan–El Hdadja domain allow us to evidence an accurate series of deformational pulses during the Alpine development of Tunisia.

1. Introduction

La Tunisie orientale se caractérise par deux domaines structuraux importants : l'axe nord–sud à l'ouest et la plaine de Kairouan et du Sahel à l'est (Fig. 1).

L'axe nord–sud [4] constitue l'édifice structural le plus oriental de la chaîne atlasique, orientée par ailleurs NE–SW [1,2,4–7,9–11]. La partie nord de cet axe comprend le Jebel Ousselat au nord et les Jebels Artsouma et Chérahil, plus au sud (Fig. 1).

Plusieurs profils sismiques calés sur les forages pétroliers traversant la région ont été analysés, parmi lesquels nous présentons ici le plus intéressant. La nature et la cinématique des structures atlasiques ont été reconnues et les phases tectoniques enregistrées par la pile sédimentaire s'étendant du Jurassique au Miocène supérieur ont pu être mises en évidence sous la plaine de Kairouan.

2. Contexte géologique

L'accident N060 et localement est–ouest [3] de Labeïd–Chérichira est un accident décrochant important, dont la résultante actuelle des mouvements est dextre [2,4]. Il est injecté de Trias au niveau de Jebel Chérichira [1,4,9,10] et se raccorde à Kairouan à un accident de subsurface de direction est–ouest (Fig. 2) : la faille de Kairouan–Sousse (FKS) (Fig. 1).

Le profil présenté ci-dessous (L1), orienté NNW–SSE (Fig. 1), montre un accident subvertical (FKS) séparant deux domaines structuraux distincts :

- au nord, une structure anticlinale régionale de style coffré, à double déversement, limitée par deux failles listriques chevauchantes (Fig. 2) : c'est la structure anticlinale de Ktifa, dont le cœur triasique est recoupé par un forage pétrolier ;
- au sud, le synforme subsident de Kairouan–El Hdadja (spécialement au cours du Crétacé supérieur–Paléogène) (Fig. 2), limité au nord par la FKS et au sud par la zone de failles d'El Hdadja (FEH).

Dans le synforme, les réflecteurs sismiques des séries du Crétacé supérieur–Paléogène sont continus, avec une forte impédance acoustique indiquant des dépôts par décantation en milieu faiblement agité. Nous notons, par ailleurs, que les séries allant du Crétacé supérieur au Néogène s'épaississent dans la gouttière et que certains termes se biseautent à l'approche de la structure haute de Ktifa (Fig. 2).

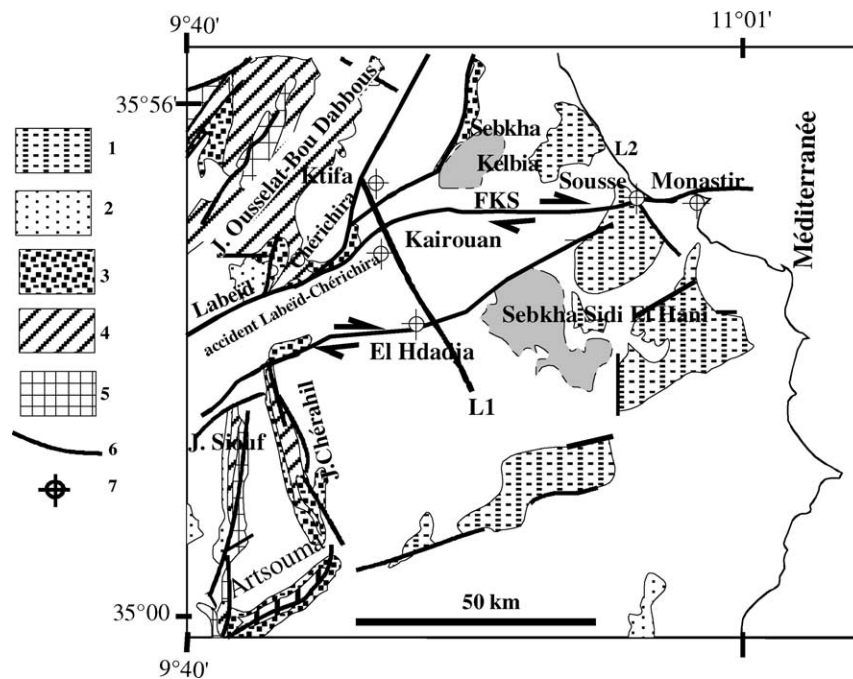


Fig. 1. Carte géologique synthétique de la Tunisie orientale, compilant des données d'affleurements et de subsurface. Ont été figurés les accidents de Kairouan–Sousse et d'El Hdadja. L1 : ligne sismique. En blanc : recouvrements quaternaires, en gris : Sebkhas. 1, Mio-Pliocène ; 2, Miocène ; 3, Oligocène ; 4, Éocène ; 5, Crétacé supérieur ; 6, faille majeure ; 7, forage pétrolier.

Fig. 1. Geologic map of oriental Tunisia compiled from outcrop and subsurface data. We draw the faults Kairouan–Sousse and El Hdadja. L1: seismic line. White: Quaternary cover; grey: Sebkhas. 1, Mio-Pliocene; 2, Miocene; 3, Oligocene; 4, Eocene; 5, Late Cretaceous; 6, major fault; 7, wells.

3. L'anticlinal coffré de Ktifa

Au niveau de la structure de Ktifa, on note des biseautages des séries du Paléogène et un amincissement affectant le Crétacé terminal, ce qui pourrait indiquer un début d'exhaussement de la structure à la fin du Crétacé supérieur, qui se serait vraisemblablement maintenu au cours du Paléogène.

Sur le sommet de l'anticlinal, la série miocène s'épaissit, en association avec des failles conjuguées d'extrados, orientées est–ouest (Fig. 2). Ceci est accompagné par l'érosion des séries antérieures, notamment celles du Paléogène. D'autre part, des biseaux apparaissent dans le Miocène inférieur au niveau de la structure diapirique (Fig. 2), indiquant une surrection du diapir pendant cette période.

En profondeur, le cœur de l'anticlinal est occupé par des réflecteurs chaotiques typiques du Trias diapirique (Fig. 3). Alors qu'à l'axe de la structure, une tectonique distensive miocène est perceptible, les flancs

de la structure sont le lieu de chevauchements divergents.

Le dispositif observé au sommet du dôme résulterait d'une importante érosion locale ayant conduit à un déficit de masse dans la partie axiale, compensé par un effondrement local par failles normales. Ces phénomènes auraient eu lieu immédiatement avant le Miocène supérieur qui scelle ces failles, c'est-à-dire au cours de la période compressive qui a accompagné la collision entre les plaques africaine et européenne.

4. La structure transpressive de Kairouan–El Hdadja

4.1. Style

Le profil L1 montre que la structure synforme de Kairouan–El Hdadja fait place à l'antiforme d'El Hdadja au sud. Le synforme est rempli par une épaisse série du Crétacé supérieur au Quaternaire (Fig. 3).

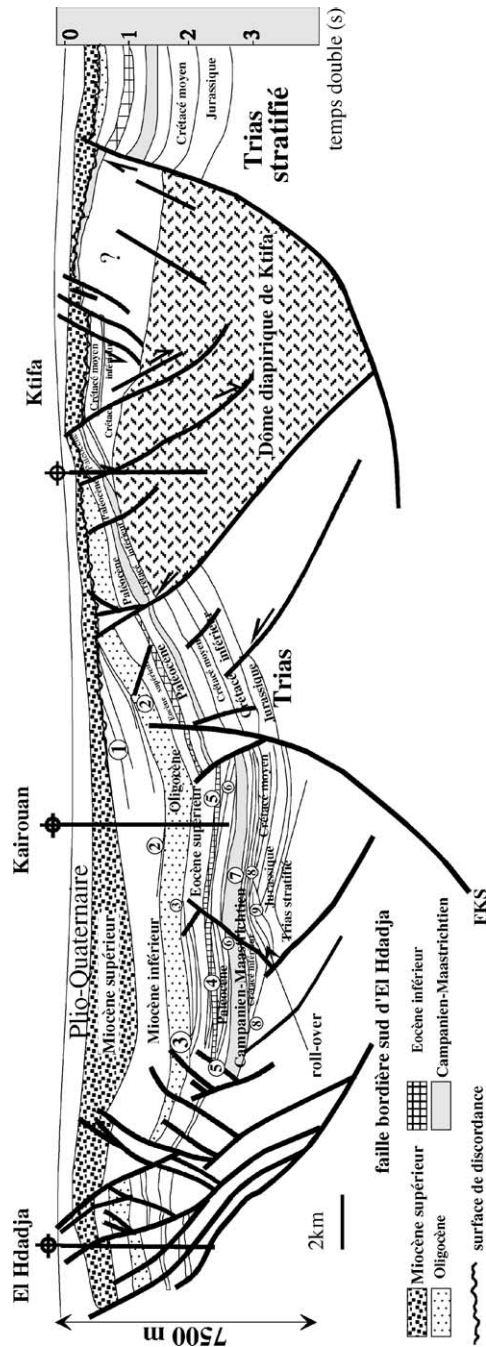


Fig. 2. Ligne sismique L1 : brute (haut) et interprétée (bas), montrant les structures majeures.
Fig. 2. Raw (top) and interpreted (bottom) seismic line L1, showing the main structures.

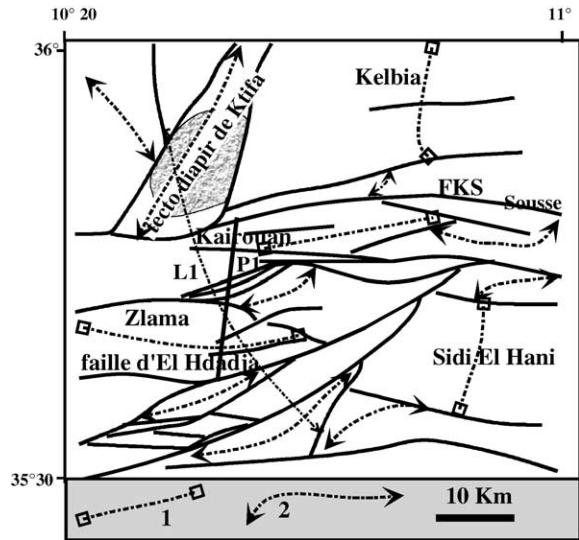


Fig. 3. Carte structurale détaillée de subsurface couvrant la zone de Kairouan–El Hdadja et montrant la structuration en *pull-apart*.
Noter les axes de plis entraînés, de direction sub-équatoriale. 1, Axe synclinal ; 2, axe anticlinal ; P1, profil gravimétrique nord–sud ; L1, ligne sismique.

Fig. 3. Structural detailed map of the zone between FKS and El Hdadja fault. Note the subequatorial trending axis folds. 1, Syncline axis ; 2, anticline axis ; P1, gravimetric profile ; L1, seismic line.

Le synforme est limité vers le nord par la FKS scellée par l’Oligocène (au niveau de Kairouan) (Fig. 2) et au sud par la zone de failles décrochantes est–ouest qui se développent au cœur de l’antiforme d’El Hdadja. Cette zone de failles dessine clairement une structure en fleur positive au cœur de l’antiforme d’El Hdadja (Fig. 2).

4.2. Les phases tectoniques enregistrées dans le synforme de Kairouan–El Hdadja

Le synforme de Kairouan–El Hdadja scelle des structures cassantes et plicatives affectant les séries du Crétacé et du Jurassique (Fig. 2). Le profil sismique (L1) montre à l’aplomb du forage de Kairouan neuf discordances angulaires significatives, de valeurs angulaires différentes (Fig. 2), qui sont, du haut vers le bas :

- la discordance 1, la plus spectaculaire, située entre le Miocène supérieur et le Miocène inférieur à moyen ; latéralement, vers le dôme de Ktifa, le

Miocène inférieur disparaît et la discordance porte le Miocène supérieur sur l'Oligocène, puis directement sur le Crétacé supérieur; le Miocène se dépose en éventail, au nord, à partir du dôme de Ktifa;

- la discordance 2, de faible valeur, entre le Miocène inférieur et l'Oligocène;
- la discordance 3, de type *top-lap* de troncature entre l'Oligocène et l'Éocène supérieur;
- la discordance 4, de type *down-lap* et latéralement *on-lap* entre l'Éocène supérieur et l'Éocène inférieur;
- la discordance 5, de type *top-lap*, entre l'Éocène inférieur et les argiles paléocènes érodées;
- la discordance 6, entre les argiles paléocènes et la barre carbonatée du Campanien–Maastrichtien avec érosion du sommet de celle-ci;
- la discordance 7, entre le Campanien–Maastrichtien et le Crétacé moyen;
- la discordance 8, entre le Crétacé moyen et le Crétacé inférieur, dessinant un *rollover* (Fig. 2) contre une faille scellée par le Crétacé inférieur;
- la discordance 9, entre le Crétacé inférieur et le Jurassique érodé et tronqué sur le *rollover*.

5. Évolution en *pull-apart*

La synthèse des données de forage et l'interprétation des lignes sismiques sous forme cartographique montrent une géométrie en paléo-*pull-apart* typique (Fig. 3), prononcée surtout à partir du Campanien–Maastrichtien avec la FKS, au nord, et la FEH, au sud, limitant une gouttière subsidente.

La quantification de la subsidence d'origine tectonique par *backstripping* (décompaction et détermination des épaisseurs originelles de dépôt) montre que la zone comprise entre la FKS et la FEH est préférentiellement soumise à la subsidence tectonique.

6. Discussion

Le synforme de Kairouan–El Hdadja, est actuellement un bassin flexural en transpression, situé à l'avant-pays de la chaîne alpine de Tunisie et ennoyé sous les sédiments plio-quadernaires.

Au nord de la FKS et au nord-ouest de Kairouan, dans la zone de Ktifa, la colonne sédimentaire est

perturbée par une intumescence diapirique importante chevauchant vers le sud le bassin flexural de Kairouan–El Hdadja. Cette structure diapirique est soumise à une activité halocinétique depuis le Crétacé supérieur. Elle apparaît où convergent des failles est–ouest et NNE–SSW (Fig. 3). L'ascension du matériel salifère triasique est guidée par les failles héritées bordières du tecto-diapir. En effet, le profil sismique présenté montre des failles chevauchantes à allure listrique, recoupant le substratum anté-triasique.

La faille de Labeïd–Chérichira se poursuit vers l'est par celle de Kairouan–Sousse, puis en mer Pélagienne, où nous l'avons reconnue sur des profils sismiques en *offshore*, l'ensemble paraissant constituer une faille majeure de la Tunisie orientale.

La structuration en *pull-apart* du bassin flexural de Kairouan–El Hdadja a clairement débuté au Crétacé, puisque c'est avec les séries de cet âge que nous commençons à observer des variations d'épaisseur.

Le bassin flexural de Kairouan–El Hdadja, d'orientation globalement est–ouest, a enregistré un certain nombre de discordances angulaires fossilisant des événements transpressifs–transtentifs atlasiques se déroulant au cours du Crétacé supérieur–Paléogène.

Par ailleurs, le dépocentre de Kairouan–El Hdadja, est déformé par des plis en relais droit (Fig. 3), caractéristiques de zones en décrochement dextre. Ces plis résultent de la phase de compression alpine du Miocène supérieur, époque à laquelle doivent être rapportés des mouvements coulissants dextres sur la FKS et la FEH et l'écrasement du *pull-apart*.

À cet égard, l'importance de la fracturation de direction moyenne est–ouest dans la structuration de la Tunisie nord-orientale a été argumentée par nos prédécesseurs, qui considèrent les failles est–ouest comme des décrochements dextres [8] à composante normale, dans un régime transtensif à axe d'ouverture ENE [3,8] au cours du Crétacé supérieur. Ces décrochements seraient les témoins de la rotation anti-horaire du bloc Apulien et du mouvement de coulissement–expulsion de la partie nord-orientale de la Tunisie [8].

Les accidents est–ouest, tels que la FKS et la FEH décrites dans le présent travail, ont vraisemblablement accompagné un mouvement coulissant dextre dans un régime transtensif compatible avec un axe d'extension ENE pendant le Crétacé supérieur. Cette cinématique s'est maintenue pendant le Paléocène et jusqu'à la fin de l'Éocène. Au cours de cette période, la FKS et la

FEH continuent à coulisser en dextre dans un régime transpressif à axe de raccourcissement NW–SE [3]. L'inversion tectonique du régime transtensif au régime transpressif a eu lieu au cours du Crétacé supérieur–Paléocène.

À l'Oligocène, il y a inversion du sens de coulissement, qui devient senestre dans un régime transtensif à axe d'ouverture orienté NW–SE [3], à l'occasion d'une nouvelle inversion tectonique de la transpression à la transtension. Les failles bordières de la structure de Kairouan–El Hdadja auraient fonctionné à cette époque en décrochements senestres, avec composante normale.

À partir du Miocène inférieur, la FKS joue le rôle d'une flexure profonde en contrebas d'un mur diapirique dont le mouvement d'exhaussement a débuté dès le Crétacé supérieur, cette structure ayant ensuite contrôlé au sud un fort taux de sédimentation au cours du Miocène.

L'obliquité des structures crétacées par rapport au raccourcissement régional NW–SE de la phase compressive majeure du Miocène a amplifié le jeu dextre de la FKS et amené la structure diapirique de Ktifa à chevaucher ses bordures avec double vergence.

Si les premières manifestations d'inversion tectonique de la transtension à la transpression se font au Crétacé supérieur, la phase d'inversion tectonique majeure semble avoir lieu au Miocène.

Par ailleurs, le polyphasage tectonique qu'ont connu l'ensemble de la structure de Kairouan–El Hdadja et ses failles bordières traduit une succession de phases tectoniques régionales distinctes. Ce polyphasage, exprimé d'abord par un *pull-apart* crétacé, qui subit une première inversion au Crétacé supérieur dans un régime transpressif dominant et, ultérieurement, au cours de l'Oligocène, une inversion de la transpression à la transtension, induisant un découpage en *pull-apart*. L'inversion majeure miocène se traduit enfin par l'écrasement du paléo-*pull-apart*.

Ainsi, le sous-sol de la plaine de Kairouan–Sousse constitue-t-il un lieu privilégié pour l'enregistrement des événements structuraux de la chaîne atlasique tunisienne.

La localisation de la structure transpressive de Kairouan–El Hdadja traduit l'existence d'une zone de faiblesse précoce et héritée, apparue en avant de la

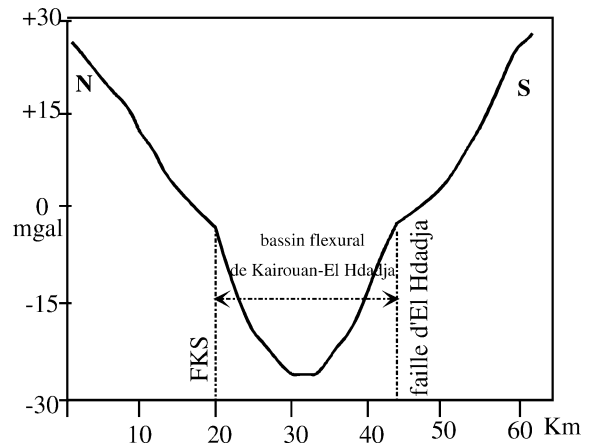


Fig. 4. Profil gravimétrique P1 de l'anomalie résiduelle (position sur la Fig. 3) passant par la structure de Kairouan–El Hdadja. Notez l'anomalie négative prononcée au niveau de la structure.

Fig. 4. North–south gravimetric profile of the residual anomaly (position in Fig. 3) passing on the structure of Kairouan–El Hdadja. Note the enhanced negative anomaly.

chaîne alpine. En effet, un profil nord–sud de l'anomalie gravimétrique résiduelle (Fig. 4) montre une anomalie gravimétrique négative prononcée (–30 mgal), qui pourrait correspondre à une anomalie de densité affectant le socle.

La valeur de l'anomalie ne peut être expliquée uniquement par l'épaisseur de la colonne sédimentaire de l'intervalle Trias–Quaternaire, qui atteint 7500 m. Le déficit de densité du socle pourrait être partiellement dû à une anomalie de densité de la partie supérieure de la croûte, dont l'enfoncement serait à l'origine du bassin sédimentaire subsident. Ainsi, nous pensons que cette zone de faiblesse correspond à une zone d'anomalie gravimétrique affectant le socle anté-triasique qui s'approfondit sous la structure de Kairouan–El Hdadja. Ceci est en partie indiqué par l'approfondissement du Trias sous la plaine de Kairouan comparativement à la zone de Ktifa (Fig. 2). Ce mouvement d'enfoncement du substratum, dont la nature nous est inconnue dans cette partie de la Tunisie, aurait commencé au Crétacé et se serait achevé à la fin du Miocène, puisque la structure de Kairouan–El Hdadja ne semble pas avoir été remobilisée postérieurement au cours des phases alpines post-Miocène. Il y aurait alors eu blocage de la déformation au niveau de la structure de Kairouan–El Hdadja et migration de la déformation vers les zones limitrophes se trouvant à l'ouest de cette

structure, notamment vers l'axe nord–sud et la dorsale, c'est-à-dire vers l'intérieur de la chaîne, où les phases post-Miocène ont été enregistrées.

7. Conclusions

Le profil étudié recoupe l'avant-pays de la chaîne atlasique tunisienne. Il permet de mettre en évidence une structure transpressive majeure apparue aux dépens d'un ancien *pull-apart*. L'actuel synforme de Kairouan–El Hdadja est accompagné de phénomènes diapiriques sur la bordure septentrionale de la FKS, au niveau du nœud tectonique de Ktifa. Actuellement ennoyée sous les sédiments pliocènes à quaternaires du Sahel, elle a cependant étroitement contrôlé la sédimentation, depuis le Crétacé jusqu'au Miocène. Cette structure transpressive prend place sur une zone de faiblesse crustale soulignée par des anomalies affectant la partie supérieure de la croûte. Les failles est–ouest, la FKS et la FEH, qui limitent cette structure, sont vraisemblablement des failles héritées de l'histoire anté-triasique de la marge orientale de la Tunisie, que l'on peut mettre en relation avec de discontinuités profondes du socle panafricain.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les rapporteurs pour leurs suggestions, et particulièrement M.J. Delteil pour ses propositions constructives, qui ont permis d'améliorer la qualité de la note.

Références

- [1] M.G. Ben Jemia, Évolution tectonique de la zone de failles de Trozza–Labéid (Tunisie centrale), thèse de 3^e cycle, université Paris-Sud, Orsay, 1986, 158 p.
- [2] M. Bédir, Mécanismes géodynamiques des bassins associés aux couloirs de décrochements de la marge atlasique de la Tunisie. Séismo-stratigraphie, séismo-tectonique et implications pétrolières, thèse d'État, université de Tunis, 1995, 407 p.
- [3] S. Bouaziz, E. Barrier, M. Soussi, M.M. Turki, H. Zouari, Tectonic evolution of the northern African margin in Tunisia from paleostress data and sedimentary record, *Tectonophysics* 357 (2002) 227–253.
- [4] N. Boukadi, Structuration de l'Atlas de Tunisie : signification géométrique et cinématique des nœuds et des zones d'interférences structurales au contact des grands couloirs tectoniques, thèse d'État, université de Tunis, 1994, 249 p.
- [5] P.F. Burollet, Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale, thèse d'État, *Ann. Mines Géol. Tunis* 18 (1956) 1–350.
- [6] G. Castany, Étude géologique de l'Atlas tunisien oriental, *Ann. Mines Géol. Tunis* 8 (1951) 1–632.
- [7] J. Delteil, M.M. Turki, Les structures méridionales des chaînes alpines de l'Atlas oriental, déformation transformante en compression (Tunisie et Algérie orientale), *Bull. Centres Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine* 10 (2) (1986) 249–258.
- [8] J. Delteil, H. Zouari, M. Chikhaoui, G. Creuzot, J. Ouali, M.M. Turki, F. Zargouni, Relation entre ouvertures téthysienne et mésogéenne en Tunisie, *Bull. Soc. géol. France* 162 (6) (1991) 1173–1181.
- [9] P. Haller, Structure profonde du Sahel tunisien. Interprétation géodynamique, thèse de 3^e cycle, université de Besançon, 1983, 163 p.
- [10] A. Rigane, Les calcaires de l'Yprésien en Tunisie centro-septentrionale : cartographie, cinématique et dynamique des structures, thèse université de Besançon, 1991, 214 p.
- [11] C. Yaïch, Étude géologique des chaînons du Chérail et du Krechem El Artsouma (Tunisie centrale). Liaison avec les structures profondes des plaines adjacentes, thèse de 3^e cycle, université de Besançon, 1984, 265 p.