

Modélisation structurale 2D et 3D des séries néogènes au niveau de la région de Menzel Bourguiba-Mateur, Nord Est de la Tunisie

Sofien Alyahyaoui^{1,2*}, Hédi Zouari²

¹ Département des Sciences de la Terre, FST, Université Tunis El Manar, 1060 Tunis, Tunisie.

² Laboratoire de Géoressources, Centre de Recherches et des Technologies des Eaux (CERTE), B.P. 273, Soliman 8020, Tunisie.

Abstract. The structural evolution during the Late Miocene to the Actual period of Menzel Bourguiba region is characterized by synfolding process (transpressive) and transtensive movement. The transpressive deformation consists of folds and faults having a negative throw, which is due to the manifestation of compressive tectonic phases. These transpressive deformations produced during the Late Miocene M1 (Hakima formation) and at the end of the sedimentation of the top Miocene (Messinian), during and at the end of sedimentation Pliocene to Quaternary below. Thus, this folding is continuous and amplified using Quaternary to Actual periods.

However, the transtensional deformation formed normal faulting due to the extensional tectonic phases. These deformations are produced during the late Miocene M2. The period of the Miocene M2 is characterized by dextral movements strikeslipping NS deep faults.

The fault relay existence in the coverage overall direction N-S, NW-SE prior to folding and having played in different areas. During the Late Miocene, these faults have given birth of conjugate fault directions NE-SW and EW. The faults that affect the series of the study area show changes in space and time. This was a polyphasing tectonic structures or wrinkling with reverse or normal component during these periods.

Keywords: *Neogene series, surface and subsurface data, 3D structure, Structural modelling, Menzel Bourguiba-Mateur region, Tunisia*

Résumé. L'évolution structurale au cours du Miocène supérieur à l'Actuel est caractérisée par des mouvements transpressifs et transtensifs. Les déformations transpressives constituées de plis et de failles ont un jeu à composante inverse qui est dû à la manifestation des phases tectoniques compressives. Ces déformations transpressives sont produites au cours du Miocène supérieur M1 (formation Hakima) et à la fin de la sédimentation du toit du Miocène supérieur (Messinien), au cours et à la fin de la sédimentation du Pliocène jusqu'au Quaternaire inférieur. Ainsi, ce plissement continu est amplifié du Quaternaire moyen à l'Actuel.

Parcontre, les déformations transtensives sont constituées de failles ayant un jeu à composante normale qui sont dues à la manifestation des phases tectoniques distensives. Ces déformations sont

* Corresponding author.

E-mail: alyahyaouisofien@yahoo.fr (ALYAHYAOUIS.).

Address: Laboratoire de Géoressources, Centre de Recherches et des Technologies des Eaux (CERTE), B.P. 273, Soliman 8020, Tunisie

produites au cours du Miocène supérieur M2. La période du Miocène supérieur M2 est caractérisée par des mouvements décrochants dextres des failles profondes N-S.

Les paléo-failles en relais - dans la couverture de direction globale N-S et NW-SE - sont antérieures au plissement ; celles-ci ont dû jouer à différentes époques. Au cours du Miocène supérieur, ces failles ont donné naissance à des failles conjuguées de directions NE-SW et E-W. Les failles qui affectent les séries du domaine d'étude montrent des changements de directions dans l'espace et au cours du temps. On a un polyphasage des structures tectoniques que ce soit au niveau du plissement ou du jeu de failles à composantes inverses ou normales durant ces périodes.

Mots clés: *séries néogènes, données de surface et de subsurface; structure 3D, modélisation structurale, région de Menzel Bourguiba-Mateur, Tunisie*

1. Introduction

La région de Menzel Bourguiba-Mateur est située à la partie Nord-East de la Tunisie. Elle est caractérisée par une évolution très complexe. Durant la période du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire, la région d'étude a enregistré des événements tectoniques importants.

Du Miocène supérieur à l'Actuel, la région d'étude est affectée par des déformations variées et par un polyphasage des événements tectoniques variés.

Pour comprendre l'évolution tectonique de la région d'étude qui fait l'objet de nombreux travaux [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] et [8].

Ces travaux ont montrés plusieurs modèles structuraux. Un modèle est une représentation d'objets naturels dans le but d'en faire leur étude, qu'elle soit cinématique ou statique. Pour décrire un modèle géologique, [9] parle de méthodes mathématiques décrivant les propriétés géométriques, physiques et topologiques des structures géologiques. [10] et [11], décrivent qu'un modèle géologique est difficilement définissable, car il dépend de la spécialité du géologue. Les objets géologiques peuvent présenter différentes dimensions. Par exemple, un puits pourrait représenter des objets 1D, une faille qui est considérée comme une surface correspondrait alors à un objet 2D et une couche qui est un volume correspondrait à un objet 3D. Le problème de construction des modèles géologiques peut être résolu de deux façons:

- La méthode directe correspondant à la modélisation cinématique directe, nous partons d'un modèle initial et nous recherchons le modèle final.
- La méthode indirecte correspondant à la méthode de restauration, nous partons du modèle final et nous cherchons le modèle initial.

La restauration des couches (surfaces) géologiques plissées consiste à déplier ces dernières pour permettre de retrouver la géométrie de cette structure avant la déformation.

Plusieurs termes sont utilisés pour designer la technique de restauration : la restauration des coupes, la rétro-déformation, dépliage ou l'équilibrage de coupe [12], [13], [14] et [15].

La restauration 2 D a débuté avec [16]. Il s'agissait de déplier des structures plissées en contexte compressif dans deux directions de l'espace: une direction par rapport à l'horizontale et l'autre par rapport à la profondeur. La technique de restauration a été formalisée par [17] et puis par [18].

Afin de pouvoir appliquer la modélisation, 2D, de nombreux logiciels existent pour la modélisation. Ils sont appliqués dans divers domaines comme l'architecture, géomatique, l'archéologie, la médecine et la géologie. Pour le domaine de géologie plusieurs logiciels de modélisation comme Earthvision, Flac3D, gOcad et Move.

Le logiciel "Midland Valley" move permet la restauration des modèles géologiques en utilisant les techniques de cisaillement simple ou incliné, glissement parallèle aux failles, glissement flexural restauration par rapport à un cible "Pin" (restauration de volume).

Pour déterminer l'évolution structurale de la région de Menzel Bourguiba- Mateur, nous avons utilisé le logiciel "Midland valley" move 2012 et 2014.

2. Cadre Description lithostratigraphique de la région de Menzel Bourguiba

Les données utilisées pour la description lithostratigraphique de la région de Menzel Bourguiba-Mateur proviennent essentiellement des notices explicatives et des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 des feuilles de Menzel Bourguiba et de Mateur et des données de terrain. Les séries qui affleurent au niveau de la région d'étude s'étalent du Trias au Quaternaire [19] [20] et [8].

Les séries stratigraphiques du domaine d'étude sont essentiellement formées par une sédimentation argilo-marneuse, gréseuse et carbonatée. Une étude de terrain plus détaillée est effectuée dans les séries du Miocène supérieur et du Pliocène dans la région de Menzel Bourguiba-Mateur, cela en relation avec la précision de l'évolution tectono-sédimentaire au cours de ces périodes.

Le Miocène supérieur est représenté par des argiles grises ou brunes alternant avec des sables ou à passées de grès glauconieux avec des bancs de gypses. Il affleure à l'Est de Mateur toujours discordant à sa base sur des niveaux variables [21]. Il affleure au nord du Garaet Ichkeul, J. el Messeftine, J. el Mellaha, Kef Nsour, dans la partie SE de la région de Mateur et la partie Ouest de la région de Mateur [1] et [2] (Figs. 1 et 2).

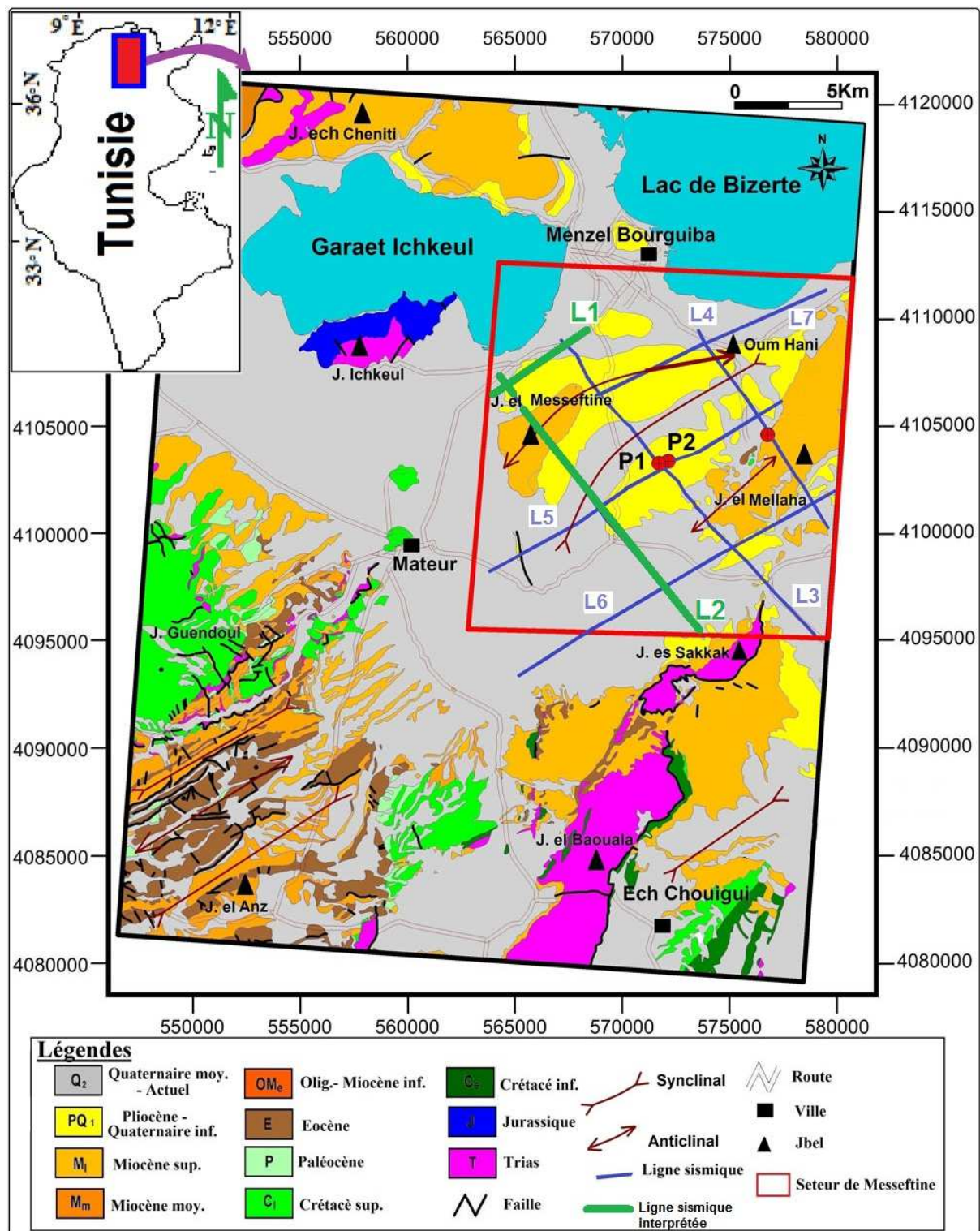


Fig. 1 : Présentation des profils sismiques sur la mosaïque des cartes géologiques de Menzel Bourguiba et Mateur à l'échelle 1/50000, ([9] et [10], modifiée). Service géologique de la Tunisie.

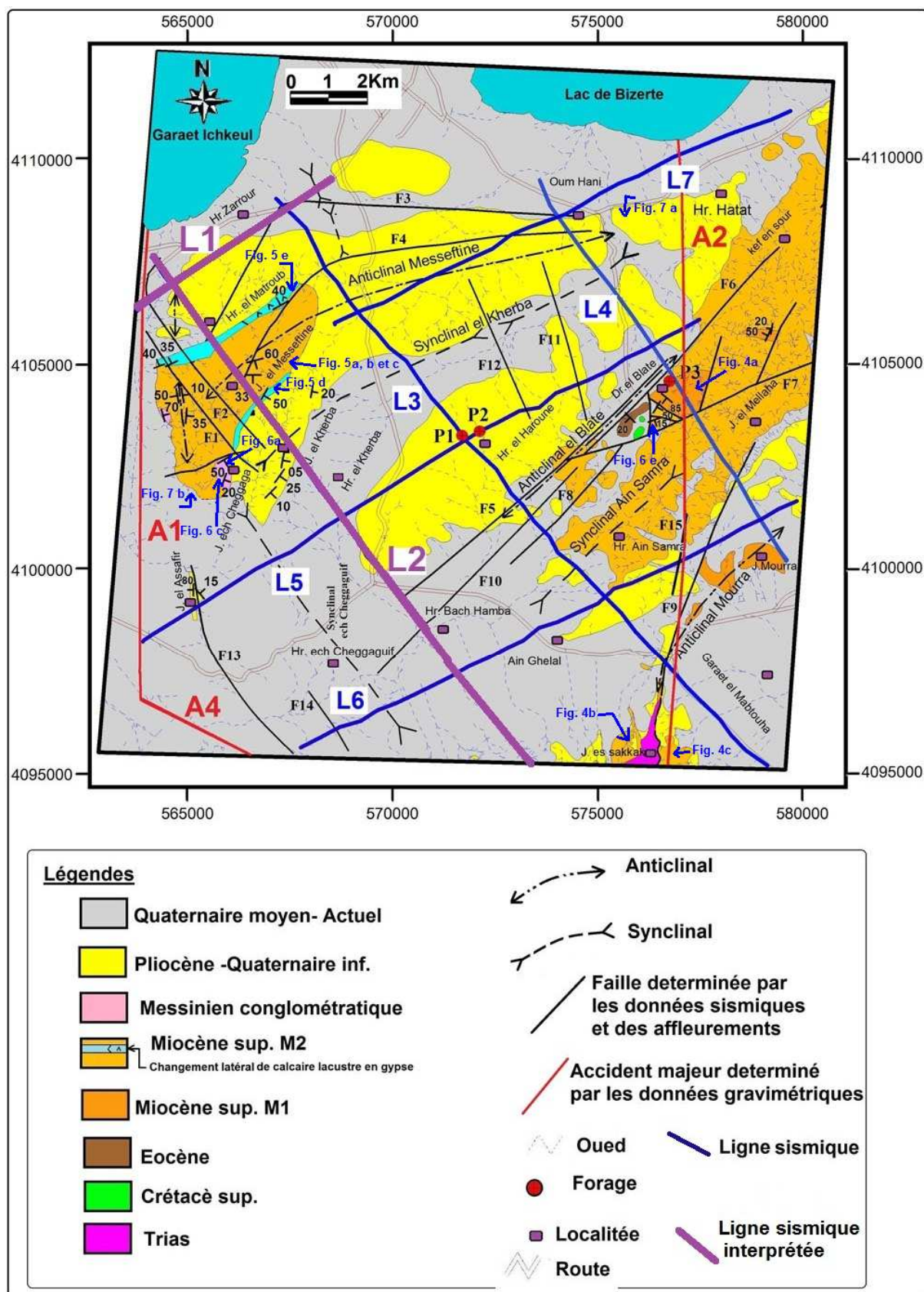


Fig. 2: Localisation de la maille des profils sismiques sur le schéma structural du secteur de Messettine ([8], modifiée).

Cette série présente des variations latérales et verticales de faciès et d'épaisseur surtout au niveau de la partie nord du Garaet Ichkeul (Oued Douimiss) [22] et [23].

[1] a subdivisé les séries du Miocène supérieur selon les formations suivantes qui sont de la base vers le sommet (Fig. 3):

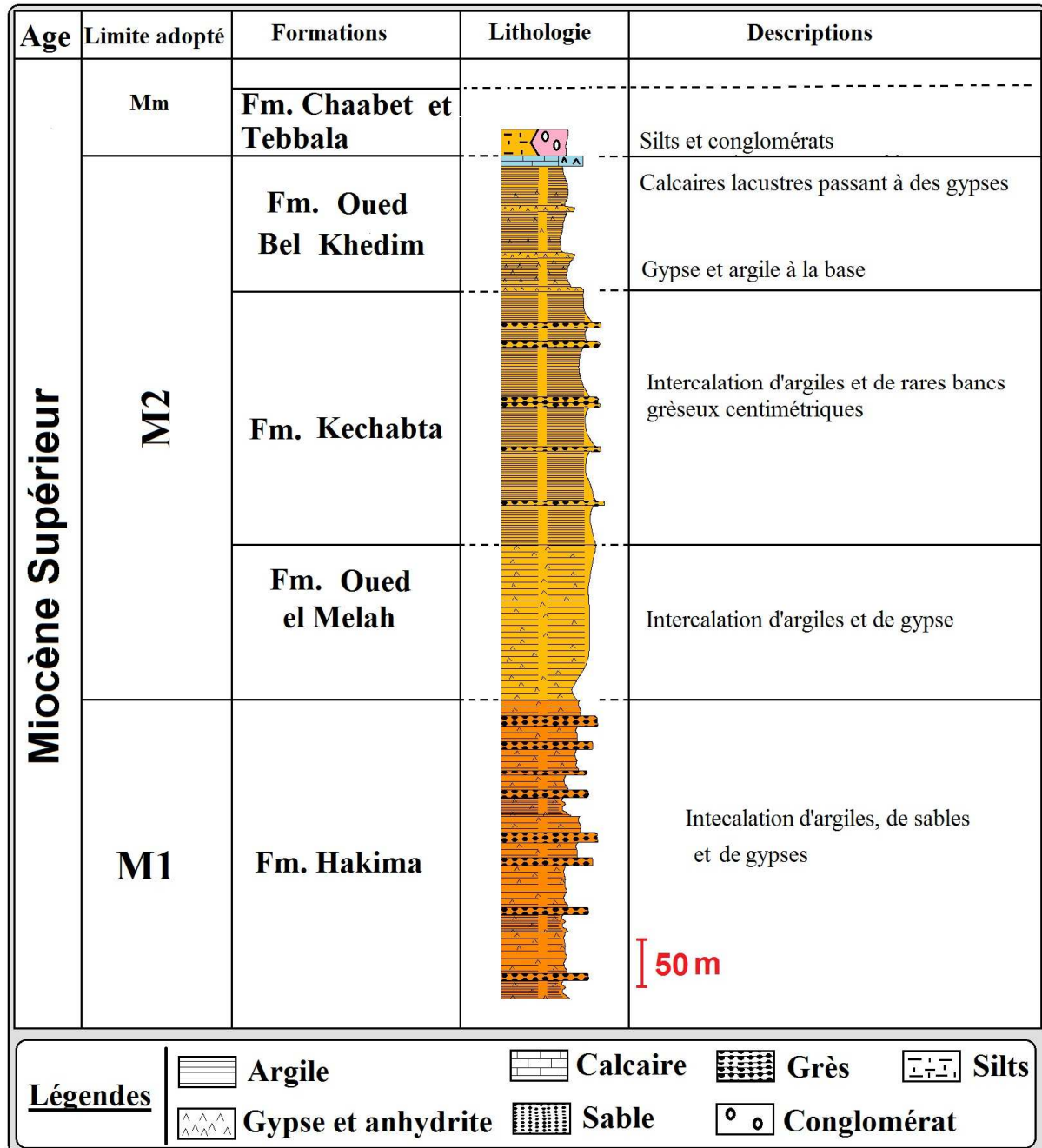


Fig. 3: Log synthétique de la série du Miocène supérieur.

- Formation Hakima ou Mellaha: est détritique ne renferme qu'une microfaune remaniée du Crétacé supérieur et du Paléocène. Elle correspond à une série transgressive et discordante sur des séries différentes. À l'affleurement, elle est représentée par une série marneuse plastique, des grès et des gypses.. La formation Hakima affleure au niveau de J. el Mellaha

(Fig. 4 a). En profondeur cette formation est reconnue dans les forages P1, P2 et P3 avec une épaisseur importante de l'ordre de 350 m.



Fig. 4 : Les séries des formations Hakima, Oued el Melah et Kechabta
(localisation sur la figure 2).

(a) La série de la formation Hakima. (b) La série de la formation Oued el Melah. (c) La série de la formation Kechabta

- Formation Oued el Melah : est formée par une série marneuse et des argiles grises incluant des bancs centimétriques de gypses (Fig. 4 b).
- Formation Kechabta: à l’affleurement, elle est formée essentiellement d’une série marneuse très puissante avec des bancs centimétriques à décimétriques gréseuses. Cette série laguno-marine est composée d’argiles, de marnes et d’intercalations gréseuses, surtout à la base, avec toutefois une prédominance des marnes. La série affleure à la partie Est du J. es Sakkak (Fig. 4 c). En profondeur cette formation est reconnue dans les forages P1, P2 et P3 avec une épaisseur importante qui dépasse 1000 m.
- Formation Oued Bel Khédim: Au niveau des la région de Menzel Bourguiba, cette formation est essentiellement marneuse avec des intercalations des bancs de gypses. À la base de cette formation, la série est essentiellement marneuse (Fig. 5 a). riche en huîtres avec des intercalations des bancs métriques des gypses (Fig. 5 b et c). Au sommet, cette formation est représentée par un faciès lacustre formé par des alternances des argiles noires avec des calcaires lacustres (Fig. 5 d) avec une variation latérale de faciès des calcaires lacustre vers des gypses (Henchir el Matroub, Fig. 5 d).
- Formation Chaabet et Tebbala: cette formation d’âge Messinien est de faciès continental (Pontien) d’après Burollet 1951. Elle s’agit d’un épisode de sédimentation continentale. Elle est représentée par des dépôts de chenaux, de conglomérats, de sables, de silts et de limons. Cette formation affleure dans plusieurs localités. Cette formation est représentée par des conglomérats et de sable au niveau du J. el Messeftine (J. ech Cheggaga, Fig. 6 a) et à la partie Ouest du J. el Messeftine (Fig. 6 c). Au niveau du Douar el Blate, cette formation est formée essentiellement de silts et de sables fins à stratification oblique (Fig. 6 e). En profondeur la série du Messinien est connue en forages P1 et P2 avec une épaisseur de l'ordre de 50 m.

Le Pliocène est de faciès marin. Selon Burollet (1951), la série du Pliocène est formée par deux parties: la partie inférieure est essentiellement marneuse correspond à la formation Raf Raf d’âge Pliocène inférieur "Plaisantien" et la partie supérieure est essentiellement gréseuse correspond à la formation Porto-Farina d’âge Pliocène supérieur "Astien". Au niveau de la région de Menzel Bourguiba-Mateur, C’est une série sablo-gréseuse jaunâtre riche en faunes qui affleurent à Oum Hani (Fig. 7 a).

Le Quaternaire est formé essentiellement par des dépôts continentaux (de silts, de sables et d'argiles). Il occupe essentiellement la plaine de Mateur, et des encroûtements la partie NE de la région de Menzel Bourguiba. Le Quaternaire moyen et les alluvions récents: sont formés

par des sols, de terrasses, de limons et des éléments détritiques qui s'étendent de la plaine de Mateur, la partie Ouest du J. el Messeftine (Fig. 7 b).

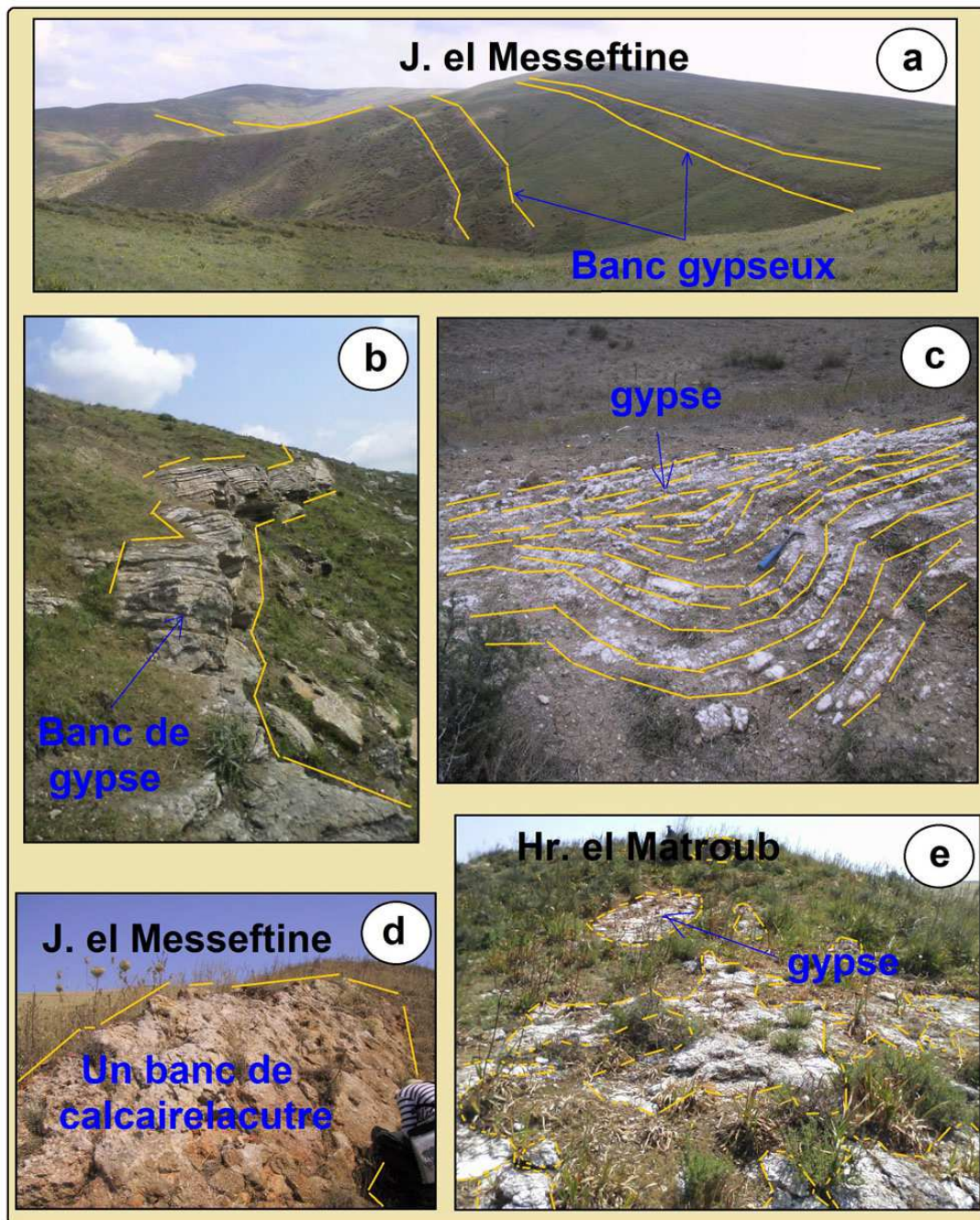


Fig. 5: La série de la formation Oued Bel Khédim (localisation sur la figure 2).

(a) Partie Ouest du J. el Messeftine. (b) : Partie inférieure de la formation Oued Bel Khedim formée par une combe marneuse et des intercalations des bancs de gypses au niveau du J. el Messeftine. (c) : Vue de détail d'un banc de gypse de la partie inférieure de la formation Oued Bel Khédim. (d) : Banc de calcaire lacustre au sommet de la formation Oued Bel Khedim de J. el Messeftine. (e) : Variation latérale de facies du calcaire lacustre vers des gypses de la partie nord du J. el Messeftine (Henchir el Matroub).

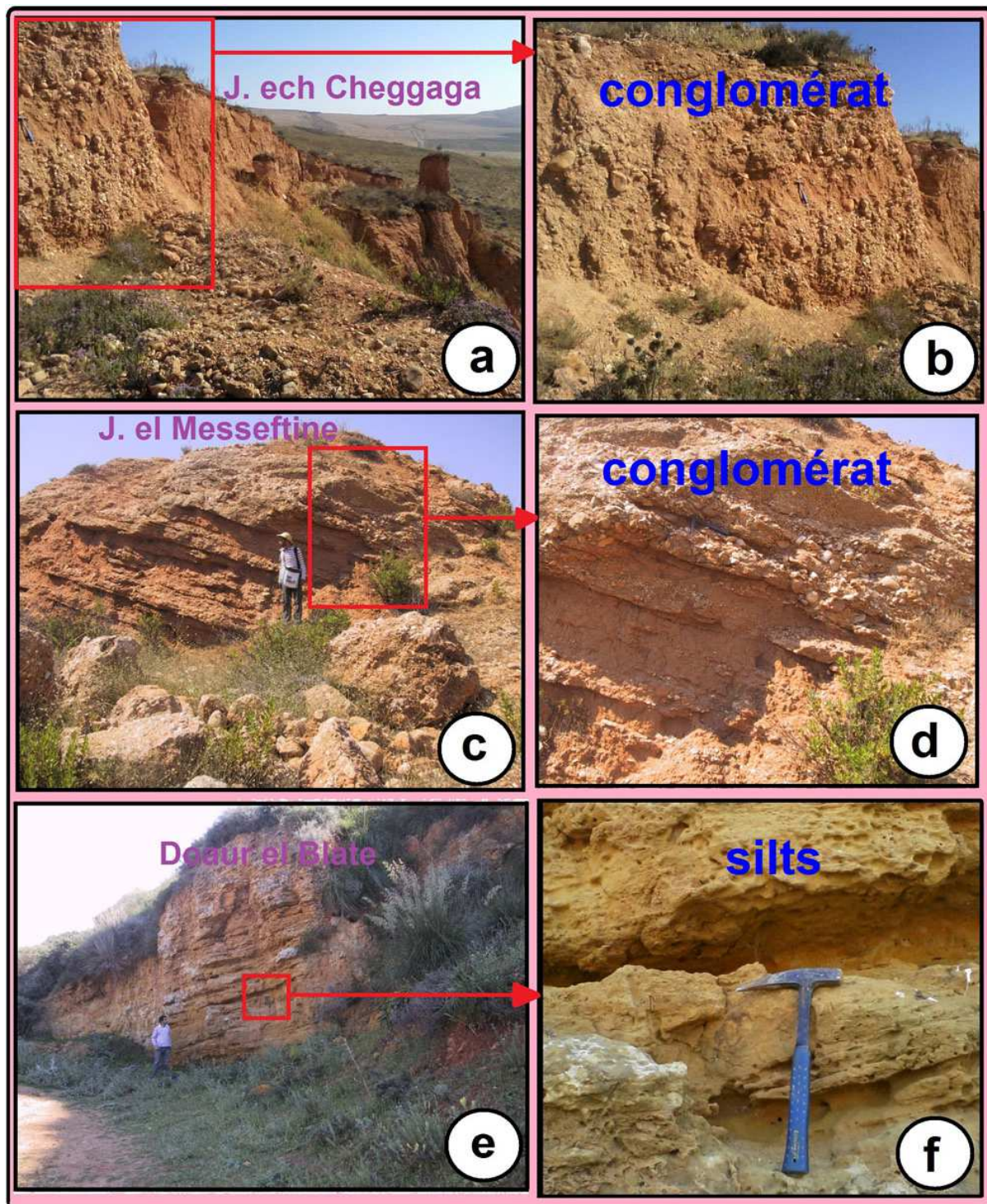


Fig. 6 : La série de la formation Chaabet et Tebbala.

(a) : Faciès conglomératique messinienne du J. ech Chaggaga (J. el Messeftine), (b) : Vue de détail de la figure (a). (c) : Faciès conglomératiques au niveau de la partie Ouest du J. el Messeftine. (d) : Vue de détail de la figure. (d). (e) : Faciès silteux du Messinien au Douar el Blate. (f) : Vue de détail de faciès silteux de la figure (e).

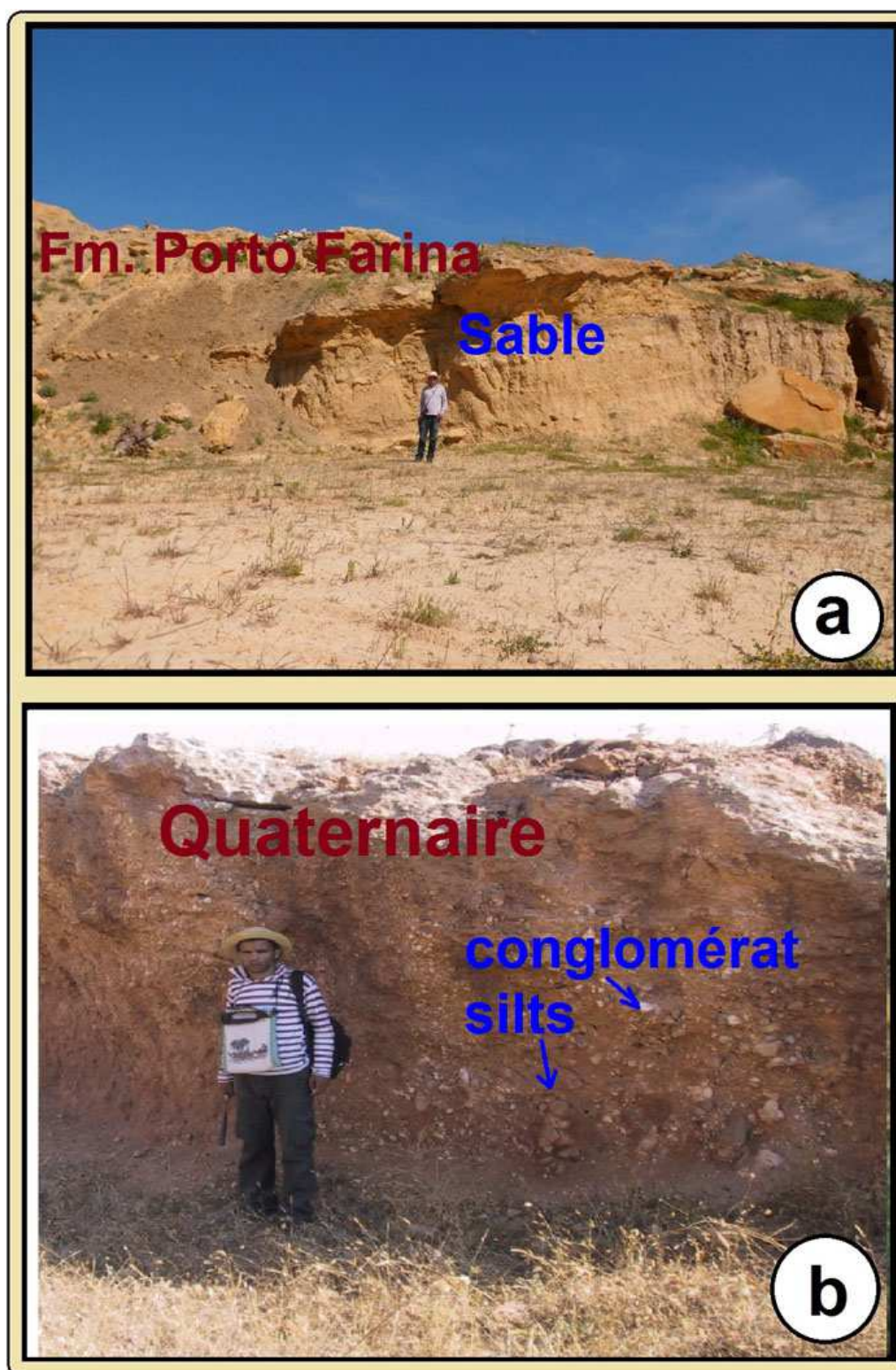


Fig. 7: Les dépôts de la série du Pliocène et du Quaternaire

(a) Vue vers le Sud de la série gréseuse de la formation. Porto Farina (Pliocène) au niveau de la région partie Ouest de la région de Oum Hani. (b) Les dépôts du Quaternaire moyen-Actuel au niveau de la partie Ouest du J. el Messeftine.

3. Analyse structurale de la région de Menzel Bourguiba-Mateur

Ce travail est basé sur une approche relevant des données de terrain, de données de sismiques réflexions et de forages pétroliers. Au niveau de ce secteur de Messeftine, une maille de sept profils sismique (L1, L2, L3, L4, L5, L6 et L7) sismiques est représentée (Fig. 2 and 3).

3.1. Interprétation du profil sismique L1

Le profil sismique L1 (**Fig. 8**) de direction NE-SW est calé par les profils sismiques L2 et L3. On remarque sur ce profil l'existence de deux failles F2 et Fa à regard vers le NE et à une allure listrique. La faille F2 a un jeu à composante inverse qui affecte le Pliocène. La série du Pliocène est affectée par le plissement. Le plissement et le jeu à composante inverse sont visiblement scellés par le Quaternaire. La faille F2 montre un jeu plus ancien à composante normale qui subsiste malgré le jeu à composante inverse récent déjà signalé au cours du Pliocène. Alors que la faille Fa montre un jeu à composante inverse qui n'ait pas subsisté par le jeu normal. Le maximum d'épaississement de ses séries est marqué au niveau du synclinal Zarrou. Au niveau de l'anticlinal Zarrou, on des configurations onlap. L'épaississement de la série miocène supérieur M2 diminue progressivement en allant de la partie NE vers la partie SW du profil.

3.2. Interprétation du profil sismique L2

Le profil sismique L2 de direction NW-SE est calé par les profils sismiques L1, L5 et L6 (**Fig. 9**). Du NW vers le SE du profil L2, on remarque la présence de huit failles F2, Fa, F3, F4, Fm, F10, F5 et F9. Toutes les failles ont un regard vers le SE sauf la faille F10 à regard vers le NW. Les failles F10 et F2 ont un jeu à composante inverse qui affecte le Pliocène. La série pliocéne est affectée par un plissement. Le jeu à composante inverse et le plissement sont visiblement scellés par le Quaternaire.

Au niveau de la série du Miocène supérieur M2, la faille F5 est scellée par la faille F10. On constate que certaines failles présentent un jeu à composante inverse ou normale. Ceci traduit un polyphasage des structures tectoniques succédées par des plusieurs épisodes d'érosion.

Le maximum d'épaississement des séries du Miocène supérieur, du Pliocène et du Quaternaire est marqué au niveau de Henchir el Kherba et Henchir Bach Hamba. Ainsi, au niveau du J. el Messeftine on observe l'absence des séries du Pliocène et du Quaternaire. L'épaississement de la série miocène supérieur M2 se diminue progressivement en allant de la région du Henchir el Kherba vers l'anticlinal du Henchir Bach Hamba. Cette diminution de l'épaisseur est marquée par des configurations en onlap.

Au SE du profil, on observe une discordance angulaire ou la série du Pliocène plissé et repose en discordance sur les séries du Miocène supérieur qui est aussi basculé.

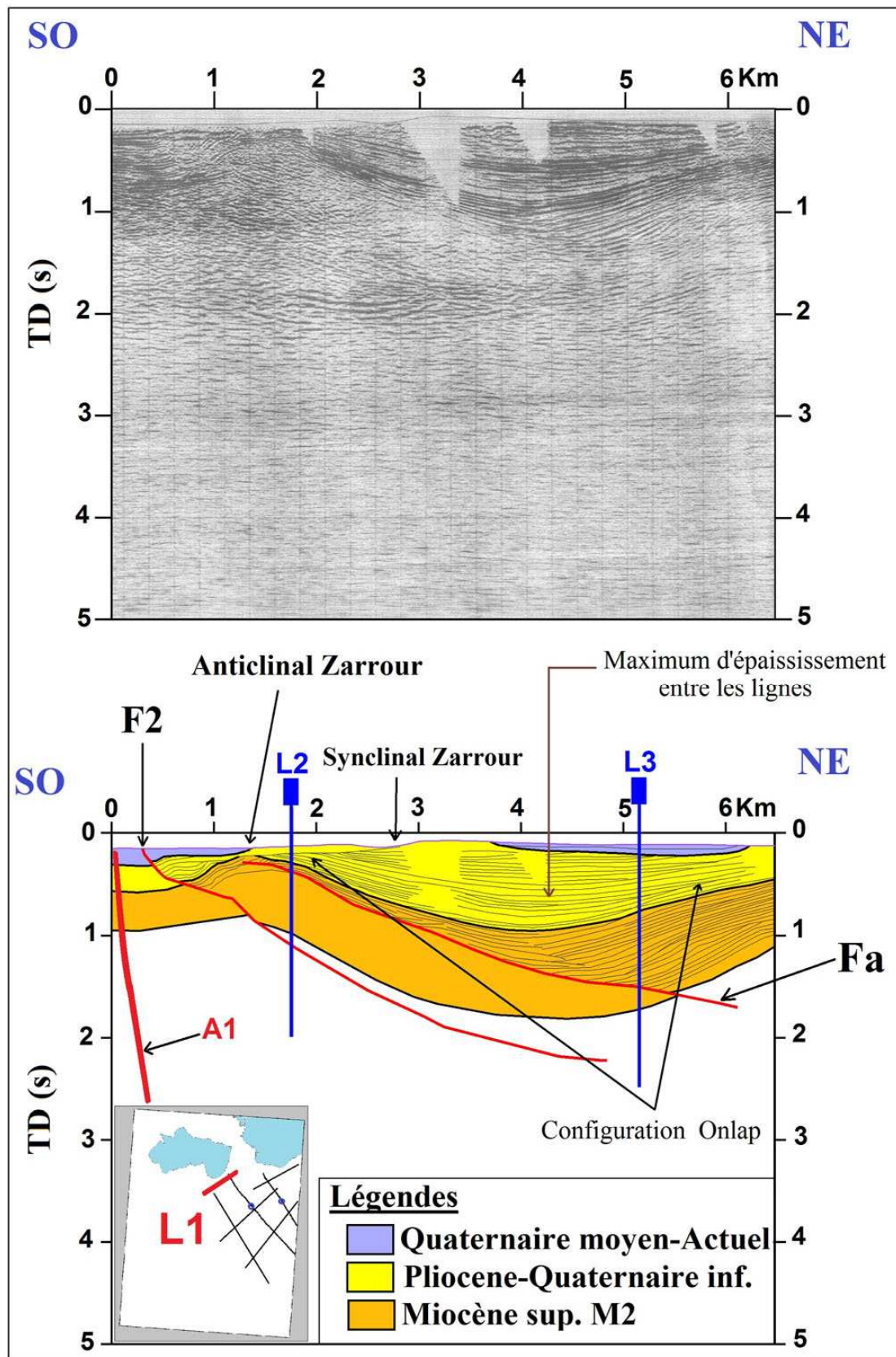


Fig. 8: Interprétation du profil sismique L1 de direction NW-SE [8].

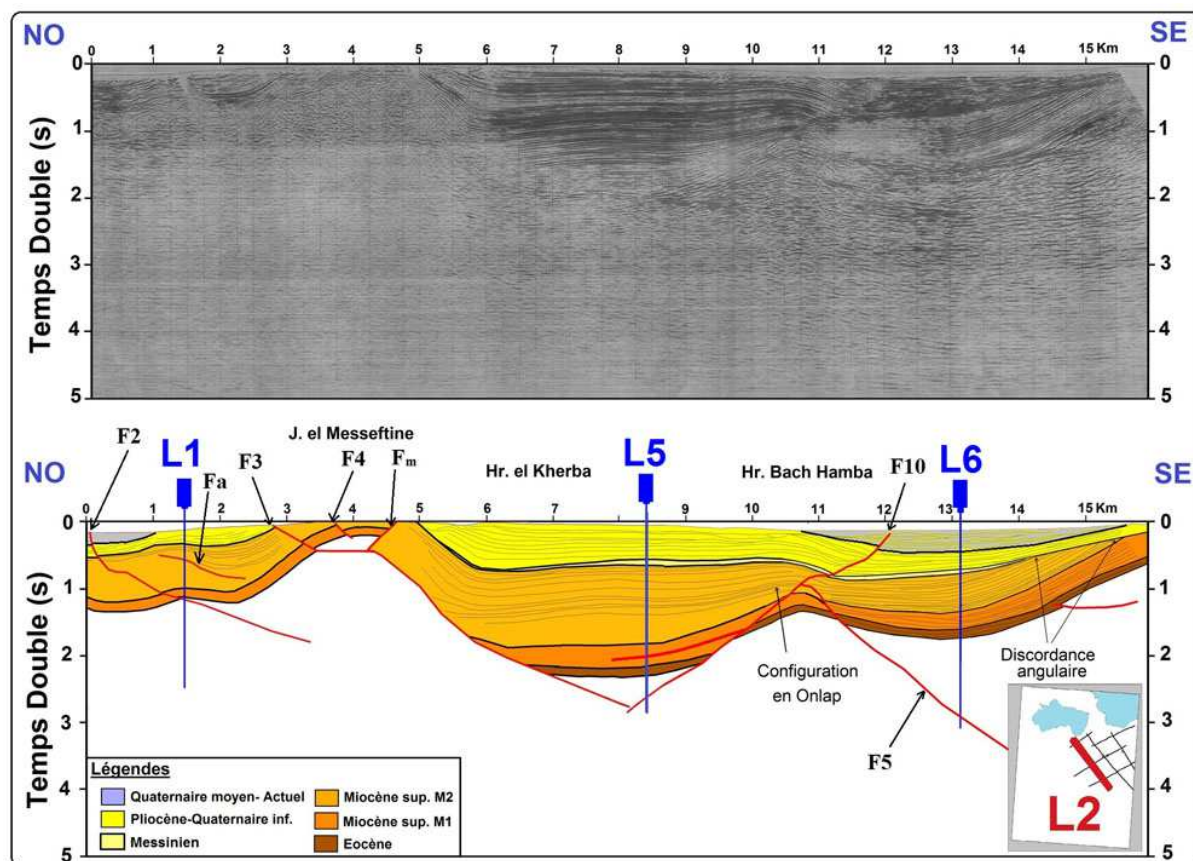


Fig. 1 : Interprétation du profil sismique L2 de direction NW-SE.

3.3. Conclusion

La combinaison de deux profils sismiques L1 et L2 (**Fig. 10**) montre:

- un épaississement des séries du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire au niveau de synclinaux du Henchir el Kherba et du Henchir Zarrou;
- un amincissement des séries néogènes au niveau des anticlinaux du J. el Messeftine et Henchir Bach Hamba.

Après avoir fait l'interprétation de tous les profils sismiques, on construit les polygones, on réalise une interpolation entre les deux accidents majeurs (A1 et A2), les différentes failles et les horizons qui permettent d'élaborer les surfaces à partir des lignes.

La combinaison des profils sismiques en 3D (**Fig. 11**) montre que le secteur de Messeftine est formé par des Blocs basculés telques le bloc el Kherba et bloc Ain Samra qui est limité par des failles listriques [8]. Ces failles ont montré des changements selon quatre directions variables dans l'espace et dans le temps depuis le Miocène supérieur jusqu'à l'Actuel (**Fig. 11**).

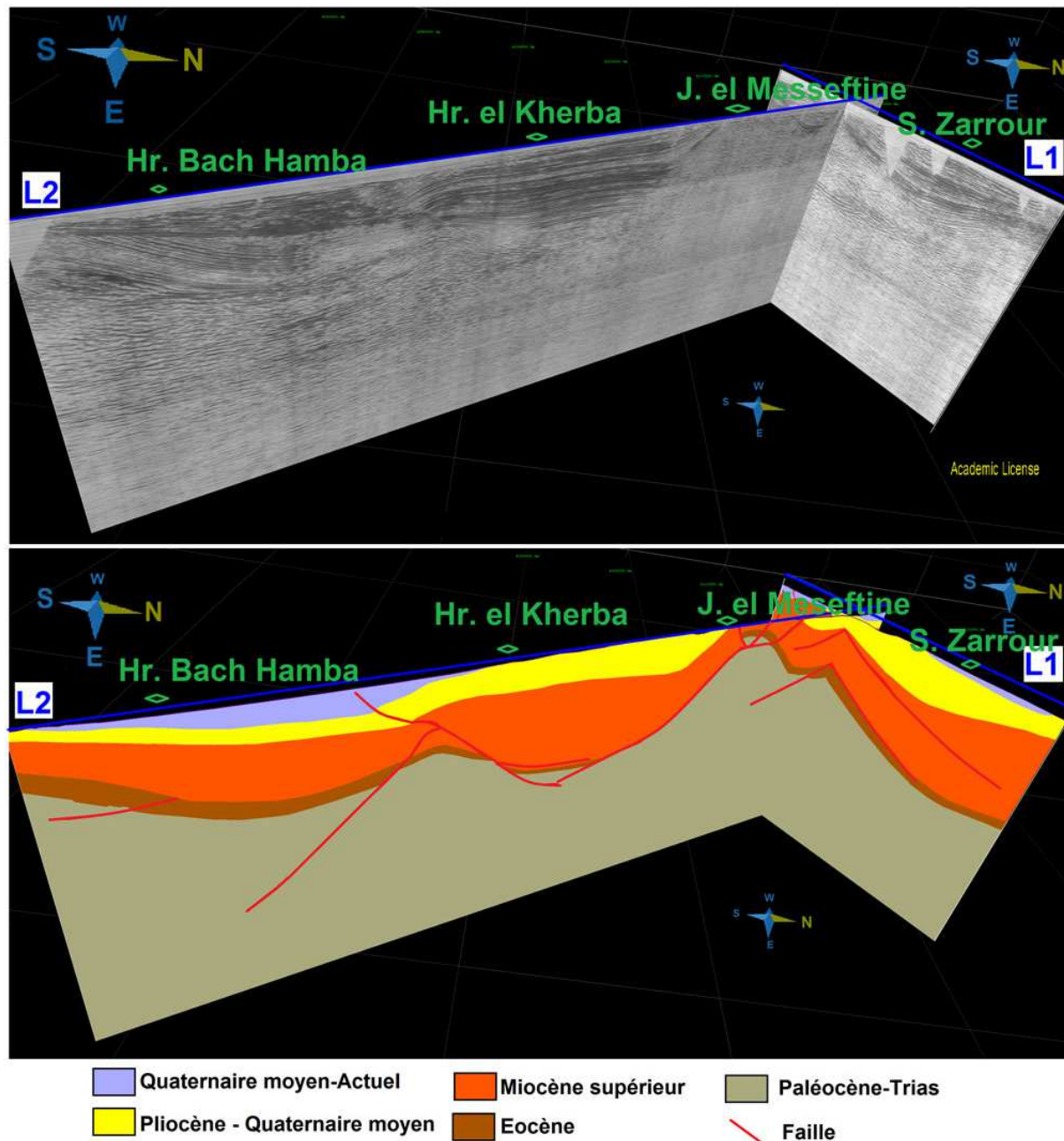


Fig. 10 : Relation spatiale 3D entre les deux profils interprétés.

On remarque un polyphasage des structures tectoniques que ce soit le plissement ou les jeux des failles à composante inverse ou normale.

La couverture du secteur de Messeftine est subdivisée en faisceaux de plis N-S, NE-SW à E-W perturbés par l'association des failles conjugués NW-SE et NE-SW. Ces plis ont subi une déformation dans l'espace et dans le temps (**Fig. 11**).

Le maximum d'épaississement des séries miocènes est situé au niveau du bloc el Kherba et Henchir ech Cheggaguif. Ces blocs basculés marquent un double déversement des séries vers

le Nord et vers l'Ouest du secteur de Messeftine (**Fig. 11**) acquis lors des phases du Miocène supérieur à l'Actuel.

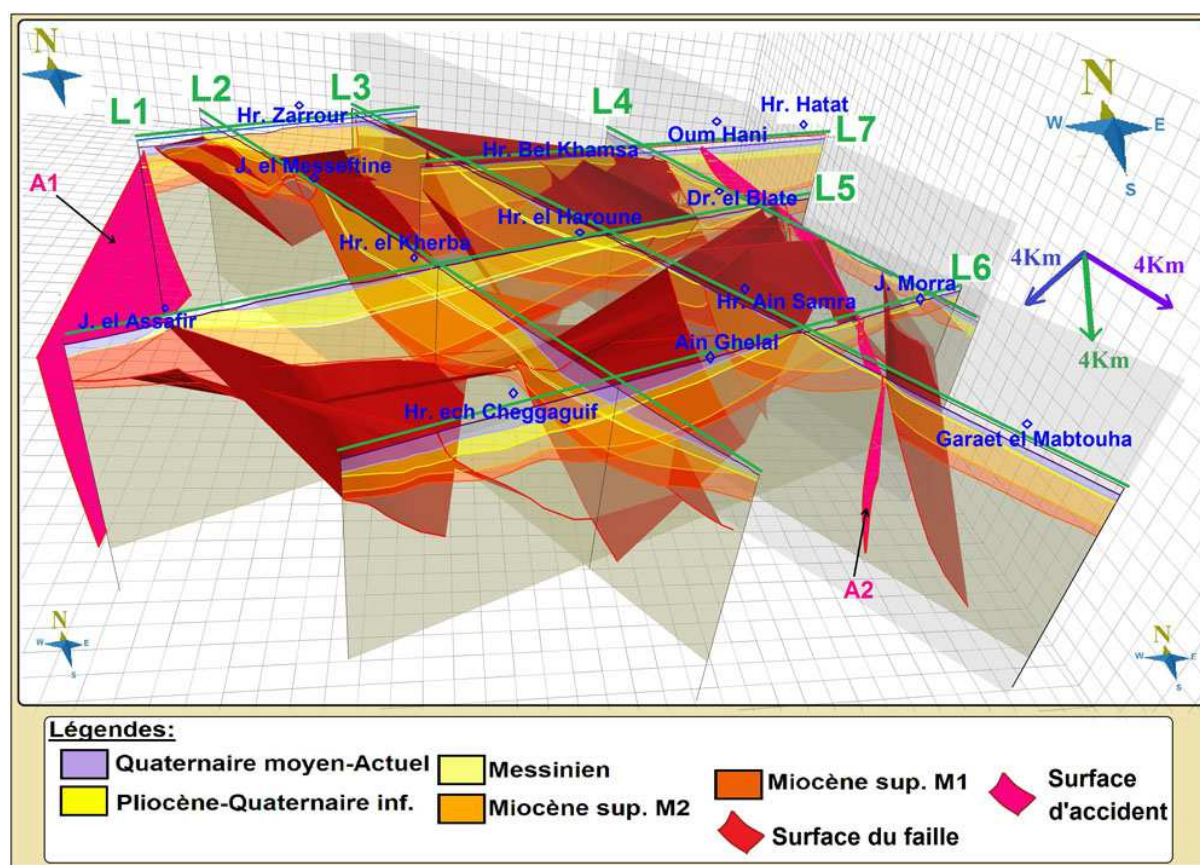


Fig. 11 : Relation 3D du secteur de Messeftine

4. Evolution structurale des séries néogènes au cours du temps

Pour comprendre la structuration actuelle du secteur de Messeftine, nous avons décrit l'évolution structurale de la plus récente vers la plus ancienne de différentes déformations affectant la région. Nous avons utilisé le logiciel "Midland Valley" move pour la restauration des déformations durant la période du Miocène supérieur M1 jusqu'au Quaternaire inférieur. La méthode de restauration consiste en l'annulation de jeu de failles inverses et normales et les déformations postérieures.

4.1. Tectonique transpressive durant la période du Messinien-Pliocène-Quaternaire inférieur

A l'affleurement, les séries du Pliocène, du Quaternaire inférieur sont plissées et constituent souvent l'enveloppe des anticlinaux.

En subsurface, les deux profils sismiques L1 et L2 montrent un plissement au cours de cette période.

Le profil sismique L1 (**Fig. 8**) montre:

- un maximum d'épaississement au niveau de synclinal Zarrou;
- un amincissement des dépôts aux niveaux des anticlinaux;
- des configurations des Onlap visualisent dans les dépôts du Plio-Quaternaire.

Ces variations d'épaisseur montrent bien qu'il s'agit d'un plissement synsédimentaires au cours du Pliocène, du Quaternaire inférieur de type Rym-syncline [8].

Le profil sismique L2 (**Fig. 9**) montre :

- un maximum d'épaississement au niveau de Henchir Bach Hamba et Henchir el Kherba;
- amincissement et érosion des dépôts plio-quaternaires en allant vers J. el Messeftine;
- amincissement des dépôts de Messinien en allant vers J. el Messeftine.

❖ **Restauration des dépôts syn-sédimentaires du toit du Pliocène au niveau du profil L1 (Fig. 12).**

Pour la restauration de ce dispositif synsédimentaire de la série du Pliocène au niveau de synclinal Zarrou, nous avons procédé les étapes suivantes :

- **Etat 0** : C'est l'état initial, ou on a réalisé l'annulation de l'érosion, du jeu de failles et les déformations postérieures.
- **Etat 1** : Annulation du mouvement inverse de la faille F2.
- **Etat 2** : Déplissement des dépôts du toit du Pliocène.

❖ **Restauration des dépôts syn-sédimentaires du toit du Pliocène au niveau du profil L2 (Fig. 13).**

La restauration de ce dispositif synsédimentaire de la série du Pliocène au niveau du profil L2 nous avons procédé les étapes suivantes :

- **Etat 0** : Etat initial, où on a réalisé l'annulation de l'érosion, du jeu de failles et les déformations postérieures.
- **Etat 1** : Annulation du mouvement inverse de la faille F2.
- **Etat 2** : Annulation du mouvement inverse de la faille F3.
- **Etat 3** : Annulation du mouvement inverse de la faille F10.
- **Etat 4** : Déplissement des dépôts du toit du Pliocène.

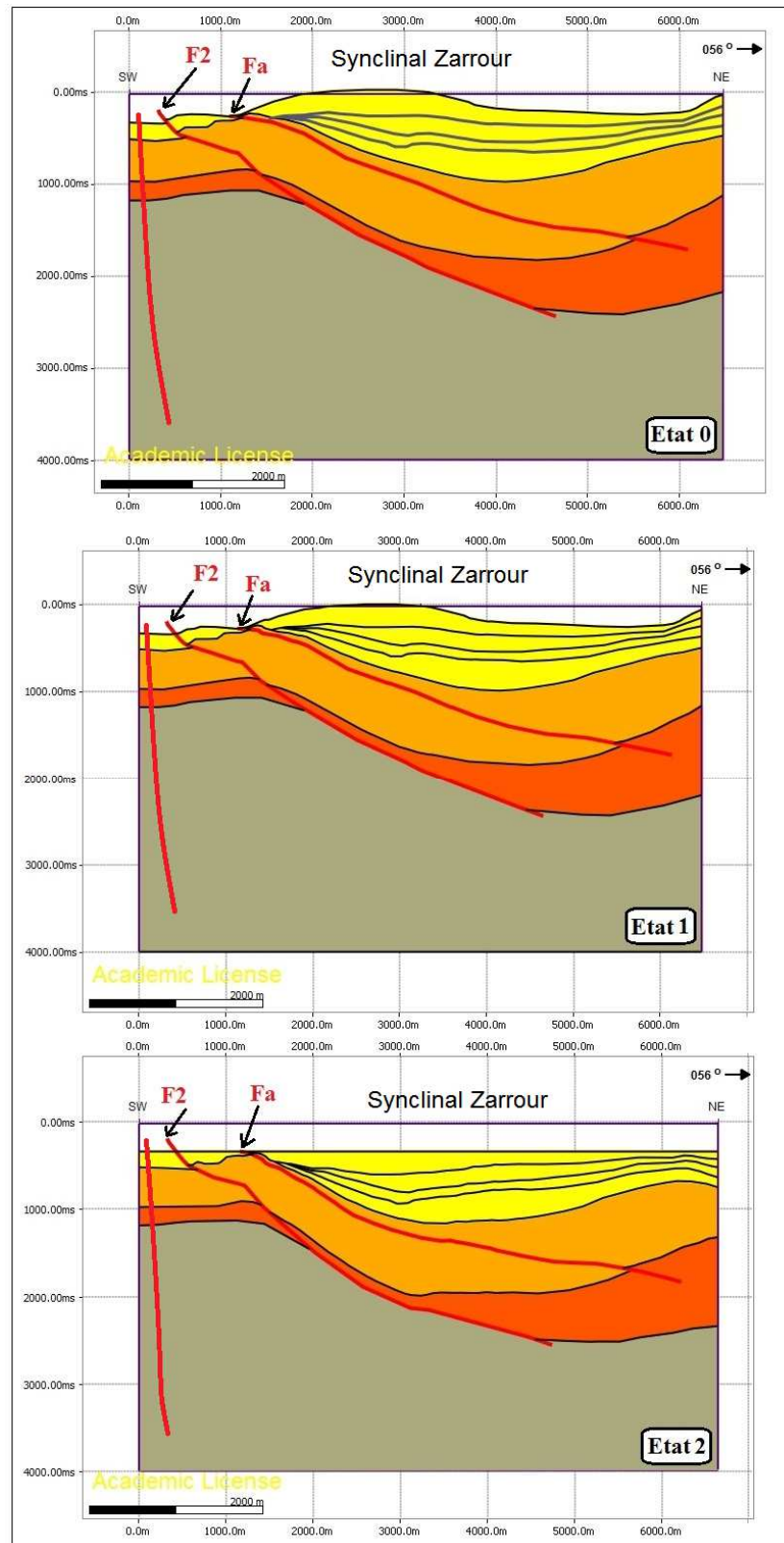


Fig. 12: Restauration des dépôts syn-sédimentaires du toit du Pliocène
au niveau du profil L1 (légendes sur la fig.11).

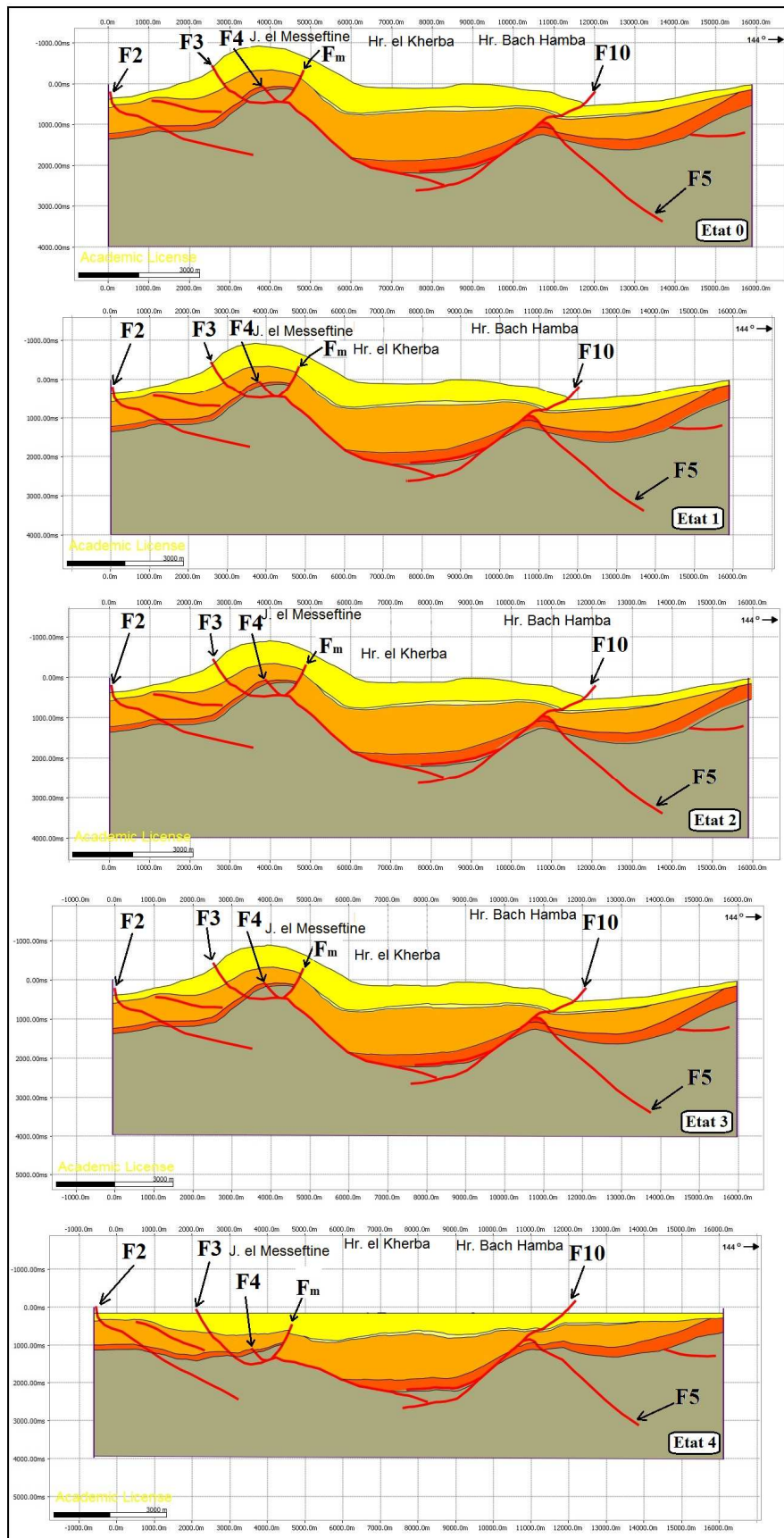


Fig. 13: Restauration des dépôts syn-sédimentaires du toit du Pliocène au niveau du profil L2 (légendes sur la fig.11).

❖ **Restauration des dépôts synsédimentaire du toit du Messinien au niveau du profil L2 (Fig. 14).**

- **Etat 5:** Annulation des dépôts du Messinien et les jeux de failles postérieures.
- **Etat 5:** Annulation du mouvement inverse de la faille F10.
- **Etat 6:** Déplissement des dépôts du toit du Messinien.

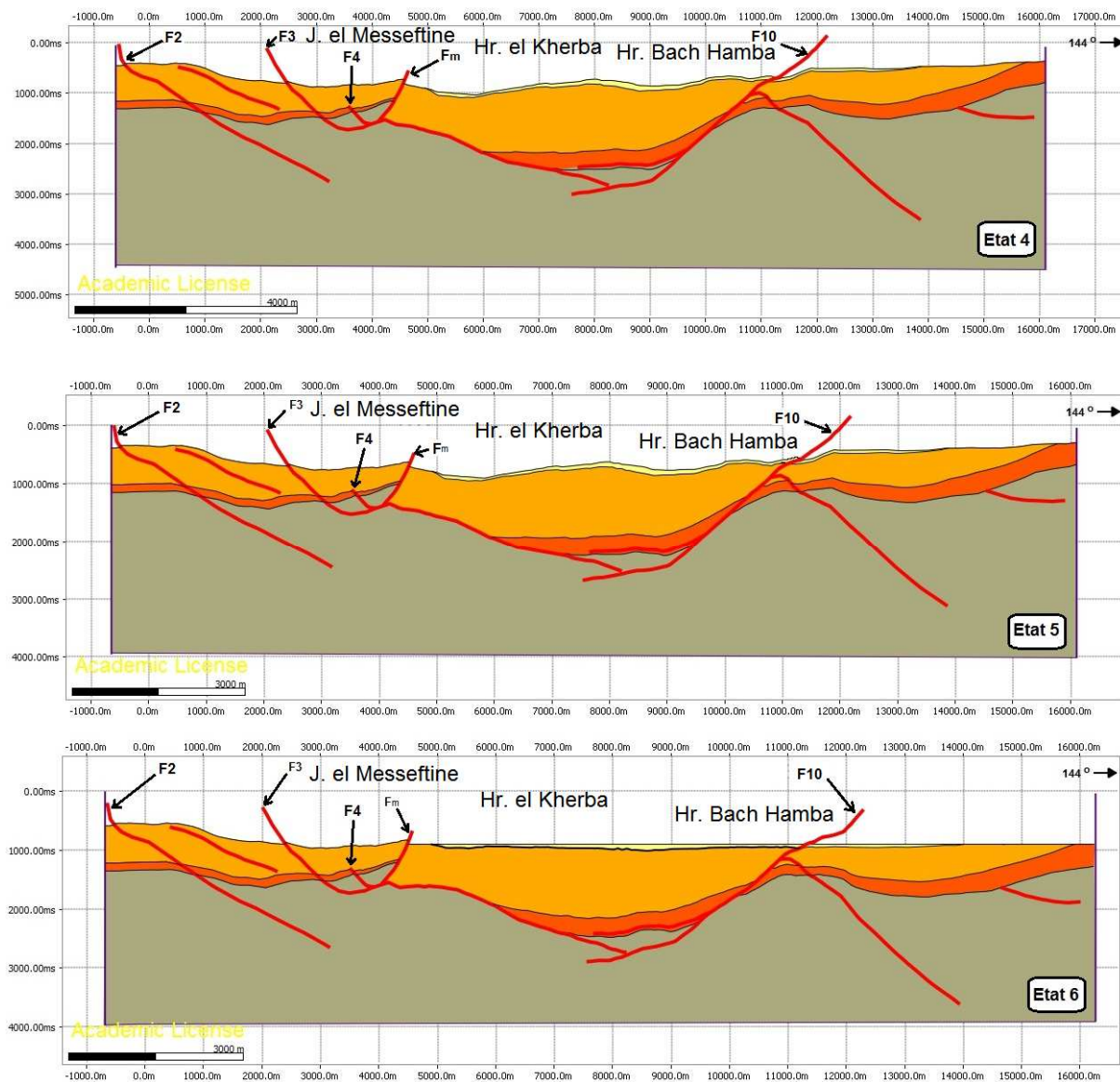


Fig. 14 : Restauration des dépôts syn-sédimentaires du toit du Messinien au niveau du profil L2 (légendes sur la fig.11).

❖ **Conclusion**

L'analyse des ces profils montre que :

- Au cours et à la fin de dépôts du Messinien, la sédimentation est caractérisée par une variation d'épaisseur liée au plissement à sa base. On constate un régime transpressif syn et post Messinien et avant le dépôt du Pliocène.

- Au cours et à la fin de dépôts du Pliocène, on a une sédimentation en Onlap avec un amincissement et biseautage de dépôts vers la charnière de la structure anticlinale du J. el Messeftine. Cela traduit un régime transpressif syn et fini Pliocène qui continu jusqu'au Quaternaire inférieur.

4.2. Tectonique distensive durant la période du Miocène supérieur M2

Deux profils sismiques L1 et L2 au niveau du secteur d'étude montrent une tectonique distensive durant la période du Miocène supérieur M2. Pour la restauration du dispositif synsédimentaire de la série du Miocène supérieur M2, nous avons procédé des étapes suivantes: l'annulation de l'érosion, du jeu des failles et les déformations postérieures aux dépôts du miocène supérieur M2.

❖ Restauration des dépôts synsédimentaire du toit du Miocène sup. M2 au niveau du profil L1:

A ce stade, trois étapes ont été faites, au cours de cette période (**Fig. 15**):

- **Etat 3** : Annulation du mouvement inverse de la faille F2.
- **Etat 4** : Annulation du mouvement inverse de la faille Fa.
- **Etat 5** : Déplissement des dépôts du toit de la série du Miocène supérieur M2.

❖ Restauration des dépôts synsédimentaire du toit du Miocène sup. M2 au niveau du profil L2:

A ce stade, six étapes a été faites, au cours de cette période (**Fig. 16**):

- **Etat 6** : Annulation du dépôt de la série du Messinien.
- **Etat 7** : Annulation du mouvement inverse de la faille F2.
- **Etat 8** : Annulation du mouvement inverse de la faille F3.
- **Etat 9** : Annulation du mouvement inverse de la faille Fm.
- **Etat 10** : Annulation du mouvement inverse de la faille F10.
- **Etat 11** : Déplissement des dépôts du toit de la série du Miocène supérieur M2.

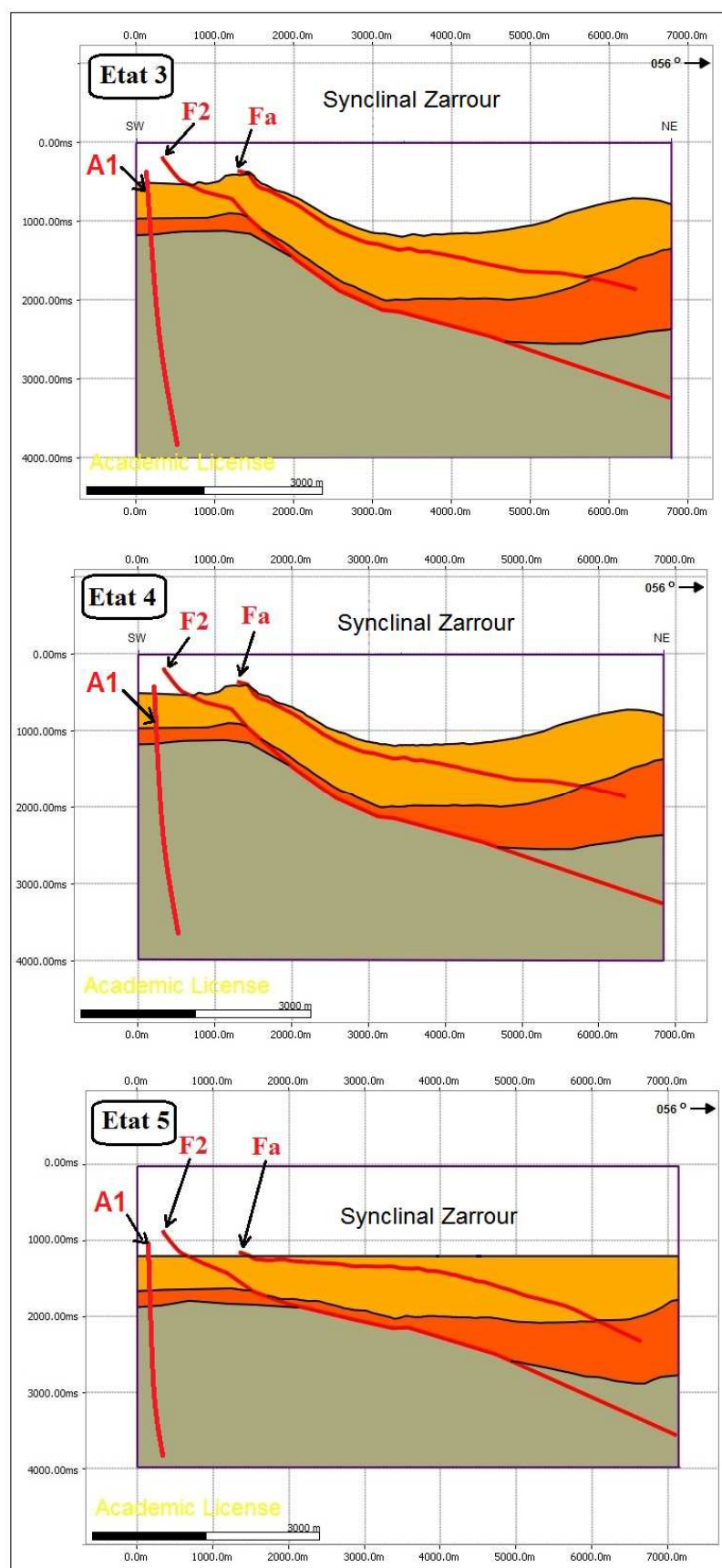


Fig. 15 : Restauration de dépôts synsédimentaire du toit du Miocène supérieur M2 au niveau du profil L1 (légendes sur la fig.11).

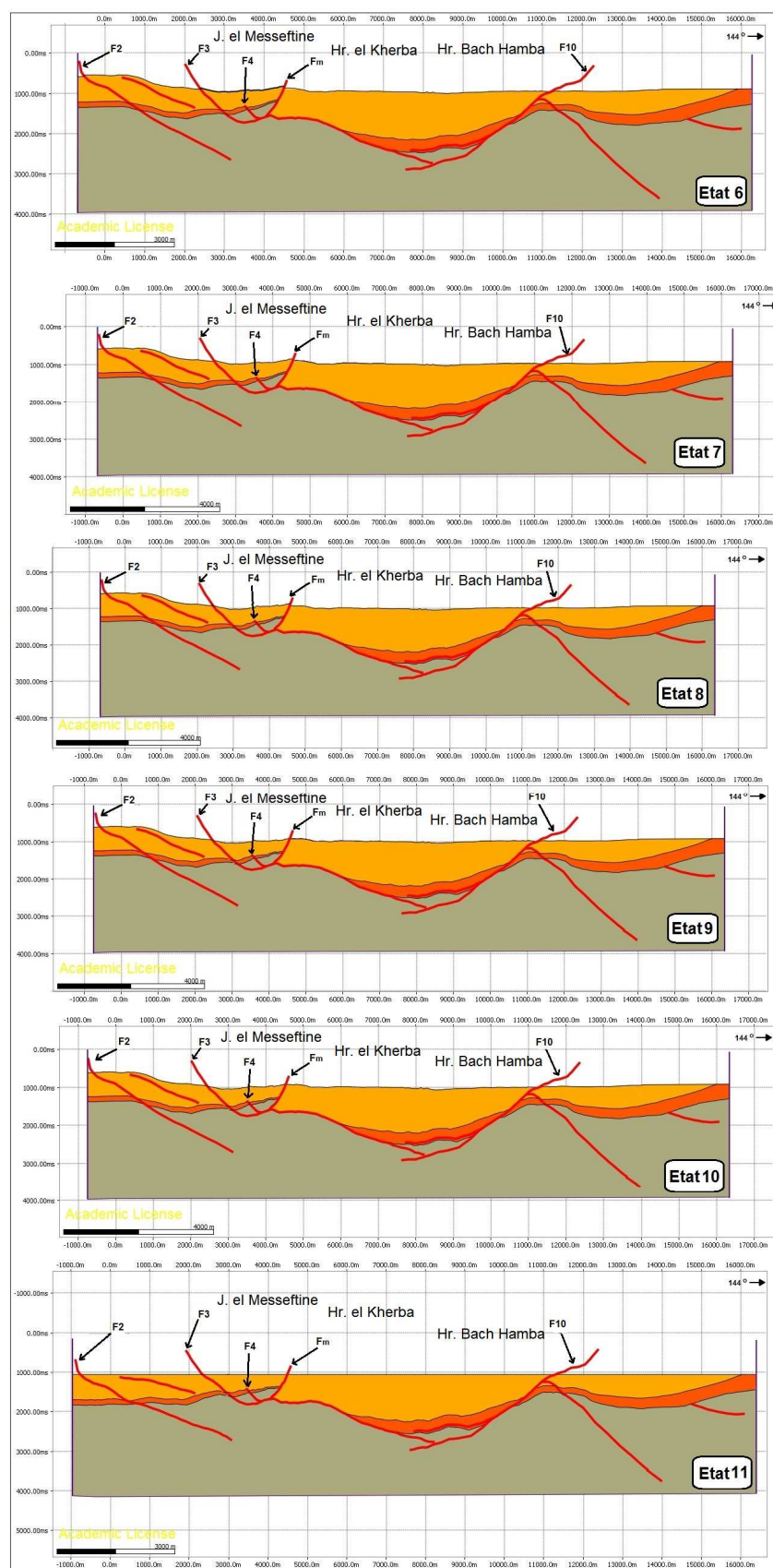


Fig. 16 : Restauration de dépôts synsédimentaire du toit du Miocène supérieur M2 du profil L2 (légendes sur la fig.11).

❖ Conclusion

Ces structures distensives existent à l'Est de la région de Mateur qui constitue des zones transtensives en relais associées au jeu de faille décrochante senestre créée par de failles profondes N-S et au jeu de failles profondes NW-SE décrochante dextre.

4.3. Tectonique transpressive durant la période du Miocène supérieur M1

A l'affleurement, cette phase compressive a été déterminée par l'existence d'une discordance angulaire de la formation du Miocène supérieur M2 (S0 de N10, 20 NO; formation Oued el Melah) sur la série du Miocène supérieur M1 (S0 de N25, 50N; formation Hakima) (**Fig. 17**).

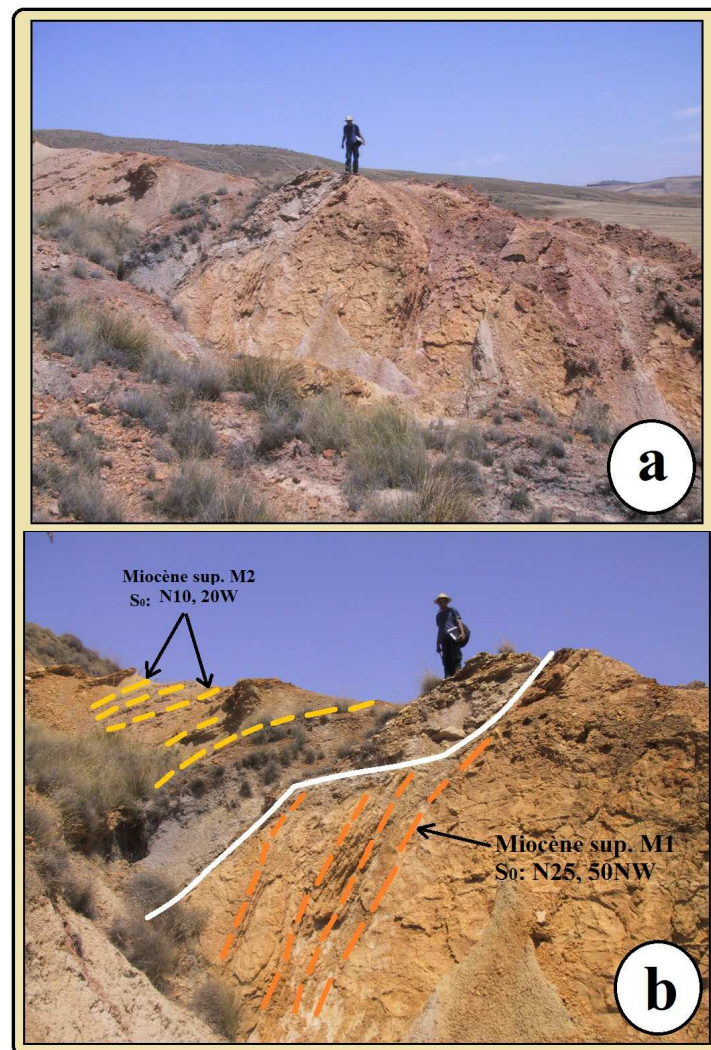


Fig. 17: Vue de la discordance angulaire de la série du Miocène supérieur M2 (formation Oued el Melah) sur la série du Miocène supérieur M1 (formation Hakima) [8].

(a): Vue générale de la discordance. (b): Vue de détail.

En subsurface, cette phase transtensive au cours et fini Miocène supérieur M1 (formation Hakima) est illustrée par la restauration du profil L1. Pour restaurer ces deux dispositifs structuraux synchrones aux dépôts de la formation Hakima, nous avons annulé toutes les déformations (jeu de faille et le basculement postérieur) et l'effet de l'érosion ainsi que les dépôts postérieurs.

❖ **Restauration de dépôts synsédimentaire du toit du Miocène supérieur M1 du profil L1:**

Trois étapes sont déterminées pour la restauration de dépôts du miocène supérieur M1 (**Fig. 18**):

- **Etat 6** : Annulation du mouvement normal de la faille F2.
- **Etat 7** : Annulation du mouvement inverse de la faille Fa.
- **Etat 8** : Déplissement des dépôts du toit de la série du Miocène supérieur M1.

❖ **Conclusion**

L'analyse des ces profils montre que :

- Au cours de cette phase du Miocène supérieur M1, la sédimentation est plissée. Cela déduire un régime transpressif syn et post Messinien et avant le dépôt du Pliocène.
- Au cours de cette phase, on a de mouvements inverses et normaux de failles.

5. Conclusion

La combinaison des données de surface (données du terrain) et de subsurface (la sismique réflexion et les puits pétroliers) est utilisée pour déterminer les processus de l'évolution structurale pendant la période Miocène supérieure jusqu'au Quaternaire.

L'existence de paléo-failles, en relais dans la couverture, de direction globale N-S, NW-SE, antérieurs au plissement et ayant joué à différentes époques. Au cours du Miocène supérieur, ces failles ont donné naissance à des failles conjuguées de directions NE-SW. Au cours de ces phases, ces failles sont caractérisées par un jeu global en décrochement dextre. Le modèle de décrochement influence sur la géométrie, la direction axiale des plis et les flancs des structures.

Au cours du Miocène supérieur M1, les plis sont associés aux relais transpressifs.

À propos de ces données, on a proposé un événement tectonique transpressif durant la période du miocène supérieur M1 au niveau du secteur du Messeftine et de la région de Menzel Bourguiba-Mateur qui a été généré par des plissements, des mouvements inverses et la discordance angulaires du Miocène supérieur M2 (formation Oued el Melah) sur la série du

Miocène supérieur M1 (formation Hakima) du secteur de Messeftine. Ainsi, on a de mouvements normaux qui affectent cette série.

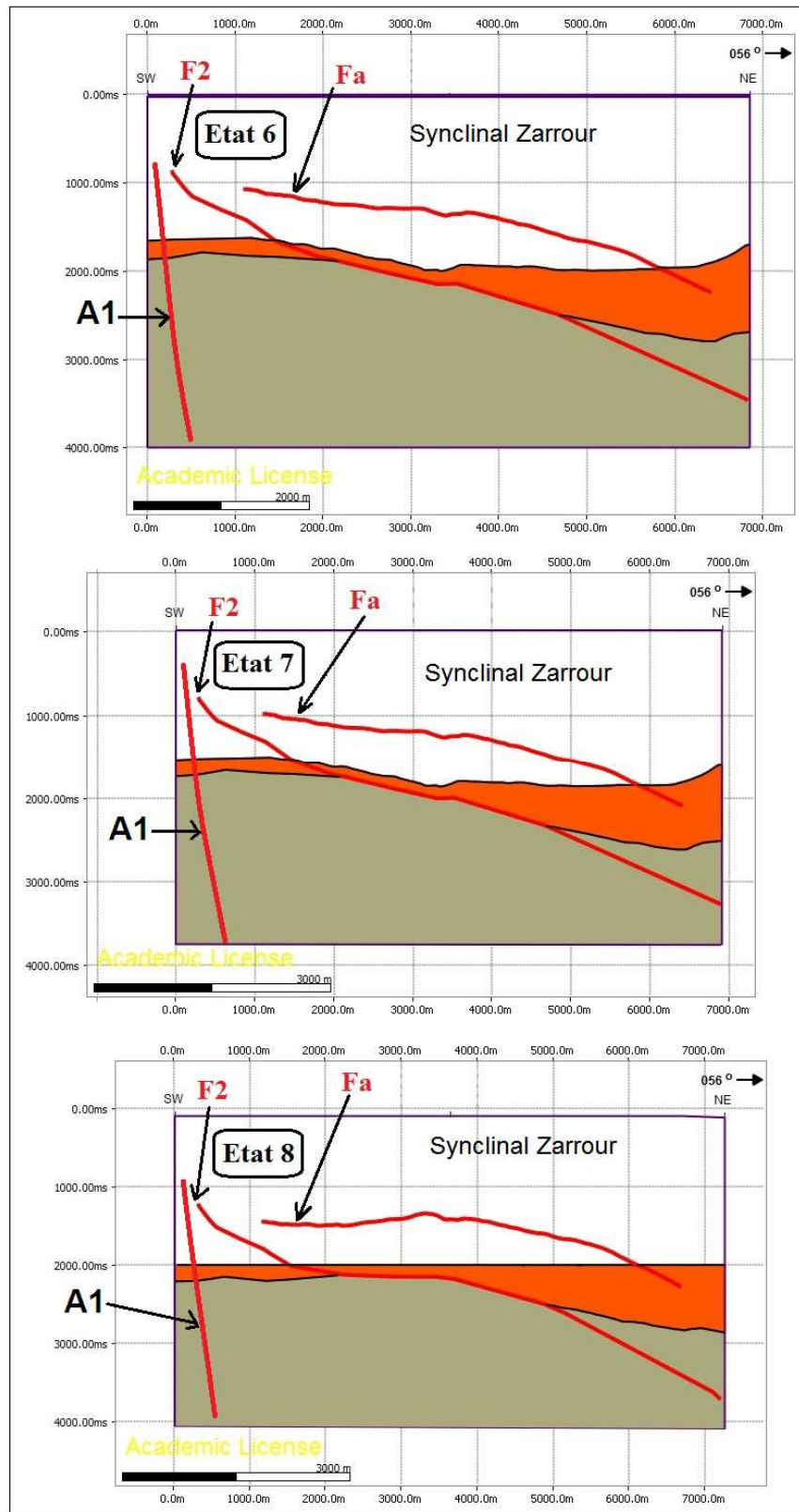


Fig. 18: Restauration de dépôts synsédimentaires du toit du Miocène supérieur M1 du profil L1 (légendes sur la fig.11).

La tectonique transtensive ou transpressive pendant la période du Miocène supérieur M2 est caractérisée par de mouvement décrochant senestre de failles profondes N-S et par de mouvement décrochant dextre des failles profondes NW-SE au niveau du secteur de Messeftine et de la région de Menzel Bourguiba-Mateur. Ce régime transpressif est responsable de la création des structures distensives créée par le coulisement au niveau de la Tunisie centrale [24].

Pendant la période du Messinien, du Pliocène jusqu'au Quaternaire inférieur, on a un régime transpressif au niveau du secteur de Messeftine et de la région de Mateur-Menzel Bourguiba se réinstallé et qui a permis la rémobilitation des failles profondes N-S avec un décrochement dextre et par les failles profondes NW-SE avec décrochement senestre. On a aussi, l'accentuation des plis.

6. References

- [1] Burollet, P.F. 1951 - Etude géologique des bassins moi-pliocène du Nord-Est de la Tunisie (région entre Mateur Ferryville et Porto-Farina). Ann. Min. Géol., Tunis 1ère série : Géol. génér et région. n°7, 91p.
- [2] Melki, F. 1997 - Tectonique de l'extrémité nord-est de la Tunisie (Bizerte-Menzel Bourguiba- Mateur). Evolution tectonique de blocs structur-aux du Crétacé supérieur au Quaternaire, Thèse de Doctorat Univ. Tunis II, Fac. Sci. Tunis, 213 p.
- [3] Kacem, J. 2004 - Etude sismotectonique et évaluation de l'alea sismique régional du Nord-Est de la Tunisie : apport de la sismique réflexion dans l'identification des sources sismogéniques, Thèse, Univ. Tunis El Manar, Fac.Sci.Tunis, 168p.
- [4] Melki, F.; Zouaghi, T.; Ben Chelbi, M.; Bedir, M.; Zargouni, F. 2010 - Tectono-sedimentary events and geodynamic evolution of the Mesozoic and Cenozoic basins of the Alpine Margin, Gulf of Tunis, north-eastern Tunisia offshore. C. R. Geoscience 342, 741-753.
- [5] Melki, F.; Zouaghi, T.; Harrab, S.; Casas Sainz, A.; Bédir, M.; Zargouni, F. 2011 - Structuring and evolution of Neogene transcurrent basins in the Tellian foreland domain, north-eastern Tunisia. Journal of Geodynamics 52 (2011) 57-69.
- [6] Mejri, L. 2012 - Tectonique Quaternaire, paléosismicité et sources sismogéniques en Tunisie Nord-Orientale: Etude de la faille d'Utique. Thèse de doctorat . univ Toulouse 3 Paul Sabatier et Univ. es sciences de Tunis, 185p.
- [7] Alyahyaoui, S.; Gabtni, H.; Zouari, H.; Mzali, H. 2013 - New Structural Elements in Tellian Foreland Domain of the Northeastern Tunisia (Mateur Plain) after Integrating Geological and Geophysical Data. International Journal of Geosciences, 2013, 4, 1061-1072. doi.org/10.4236/ijg.2013.47100.
- [8] Alyahyaoui S.; Zouari, H. 2013 - Synsedimentary folding process and transtensive tectonic during Late Miocene to Quaternary in northeastern Tunisia: case of Mateur-Menzel Bourguiba region. Arab J Geosci. DOI 10.1007/s12517-013-1111-2.
- [9] Mallet, J. L. 2002 - Geomodeling, Oxford University Press , p. 599.
- [10] Massot, J. 2002 - Implémentation de méthodes de restauration équilibrée », Thèse, Institut National Polytechnique de Lorraine (France).
- [11] Bédard, K. 2006 - La construction de modèles géologiques 3d à l'ère de la normalisation, Mémoire, Université Laval (Québec).
- [12] Elliott, D. 1983 - The construction of the balanced cross-sections », Journal of structural geology 5, no. 2, p. 101.
- [13] Gratier, J. et Guillier, B. 1993 - Compatibility constraints on folded and faulted strata and calculation of

total displacement using computational restoration (unfold program), *Journal of Structural Geology* 15, no. 3-5, p. 391–402.

- [14] Lepage, F.; Moretti, I. et Guiton, M. 2004 - 3d restauration : geometry and geomechanics, in 24th GOCAD-METTING.
- [15] Muron, P. et Mallet, J.L. 2004 - 3d balanced unfolding and rock properties, in 24th GOCAD-METTING.
- [16] Chamberlin, C. 1910 - The appalachian folds of central pennsylvania, *Journal of Geology*, 18 p. 228–251
- [17] Dahlstrom, C. 1969 - Balanced cross section, *Canadian Journal of Earth Sciences* 6, p. 743 –757.
- [18] Hossack, J. 1979 - The use of balanced cross-section in calculation of orogenic contactation : a review, *Journal of Geological Society of London* 136 , p. 705-711.
- [19] Fournet A., Lajmi T., Pini S. (1994) - Carte géologique à l'échelle 1/50000, de la feuille de Mateur, n°12. Edit. Serv. Geol. (ONM).
- [20] Alouani, R.; Melki, F.; Tlig, S. et Zargouni, F. 2006 - Carte géologique de la région de Menzel Bourguiba 1/50000, n°6. Edit. Serv. Géol. (ONM).
- [21] Kujawski, H. 1969 - Contribution à la connaissance stratigraphique de la base du "Flych" oligocène de l'Extrême Nord tunisien. C.R. Acad.Sci.Paris.t.258.,pp.260-262.
- [22] Crampon, N. 1971 - Etude géologique de la bordure des Mogods, du pays de Bizerte et du Nord des Hedils (Tunisie septentrionale). Thèse d'état (552p).
- [23] Dlala, M. 1995 - Evolution géodynamique et tectoniques superposées en Tunisie : sur l'implication tectonique récente et la sismicité. Thèse d'état, Faculté des Sciences de Tunis, (390 p).
- [24] Philip H., Andrieux J., Dlala M., Chihi L. and Ben Ayed N. (1986) - Evolution tectonique mio-plio-quaternaire du fossé de Kasserine (Tunisie centrale) : implications sur l'évolution géodynamique récente de la Tunisie. *Bull. Soc. Géol. France*, (8), t. II, n° 4, p. 559-568.