HAL
open science

Mécanismes de mise en place du matériel salifère en Tunisie septentrionale : exemples du Jebel Ech Cheid et des structures voisines

Mohamed Montassar Ben Slama

To cite this version:

Mohamed Montassar Ben Slama. Mécanismes de mise en place du matériel salifère en Tunisie septentrionale : exemples du Jebel Ech Cheid et des structures voisines. Sciences de la Terre. Faculté des Sciences de Tunis, 2011. Français. NNT : . tel-00626246v2

HAL Id: tel-00626246

https://theses.hal.science/tel-00626246v2

Submitted on 27 Sep 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Résumé: La structure de Jebel Ech sel Cheid est situé dans la province salifère du Nord de la Tunisie et se trouve au Sud-est du site archéologique Dogga / Téboursouk. Le *rifting* a commencé depuis la période triasique et s'est poursuivi au cours du Crétacé. Au début du Crétacé, ces structures ont abouti au "diapirisme" et à l'extrusion du sel dans le bassin sédimentaire. Dans les deux flancs du Jebel Ech Cheid, nous avons observé des preuves de la manifestation de la tectonique synsédimentaires tel que : failles normales sellé dans les dépôts albiennes, slumps, olistolithes, remaniements du matériel salifères dans les sédiments barrémiennes et albiennes.... Dans la période Jurassique/Crétacé inférieur la subsidence est importante et elle est lié principalement à l'amorce des mouvements du salifère triasique dans la région du Jebel Ech Cheid. Par la suite, l'épisode extensive majeur est installée depuis l'Aptien jusqu'au Sénonien inférieur. L'architecture du bassin sédimentaire est ordonnancée par des systèmes de failles héritées identifié par l'intermédiaire de profiles sismiques : il s'agit d'un système de *rollover* synthétique et antithétiques dans le bassin méridionale du corps salifère associé avec le mouvement de la failles de Téboursouk dans le flanc septentrionale.L'architecture du bassin sédimentaire construite aux cours du Mésozoïque été le principale facteur responsable à la naissance de la structure du Jebel Ech Cheid. Ensuite, la phase de compression majeure a été provoquée vers la fin du Crétacé supérieur et atteint son paroxysme à l'Eocène supérieur. Ainsi au cours de l'Oligocène il y a une période d'étirement. Enfin, les mouvements du salifère ont été influencés par les plissements tortoniennes et quaternaires. La délamination et les plissements des sédiments de couverture du matériel salifère a facilité le développement des ailes de sel. La structure salifère du Jebel Ech Cheid a été soumise à des forces compressives asymétriques édifiant des chevauchements sur les bordures, éventuellement renforcé par la gravité en raison de l'orientation des grandes failles normales héritées (NE-SW) et le rôle de la direction principale de compression (NW-SE). Par conséquent, la combinaison des mouvements chevauchement/décrochement dextre a donné naissance à une structure en queue de cheval bien visible dans le bassin de Gafour durant l'épisode du Quaternaire. Ainsi, nous considérons le corps salifère du Jebel Ech Cheid comme un dôme de sel avec des extrusions pulsatiles de sel à l'image d'un «glacier» de sel. Dans une période initiale à l'Aptien supérieur les abords de la structure sont à 451m et le taux d'extrusion de la masse de sel sur le fond de la mer a été calculée avec la méthode de Talbot est de l'ordre de 55,2 mm an^{-1}. Il est également plus de 400 fois plus rapide que la vitesse de sédimentation la plus rapide des sédiments de couverture terminé en moyenne vers les 9 Ma du Barrémien/Aptien. Le dôme de sel a été ensuite enraciné et il a évolué vers une structure complexe qui a été déracinée après les plissements tertiaires et quaternaires.

Au Nord de la Tunisie, près de Testour/Slouguia, nous avons conduit de nouvelles observations et révision biostratigraphique. À la lumière de ces apports, il est possible de mieux interpréter la relation entre le sel triasique et les séries mésozoïques encaissantes (T.M.). Auprès de la limite (T.M.), le matériel salifère se trouve remanié dans la série marno-argileuse de l'Albien inférieur. Dans tout le secteur, nous avons noté la quasi-absence du Jurassique. Nous proposons d'interpréter la mise en place du sel triasique de la structure de Chitana-Ed Djebes, d'une manière gravitationnelle dans une marge passive à l'Albien, à l'image des corps salifères de la province salifère du Golf Coast du Mexique. Un schéma rétro-tectonique de la structure salifère Chitana-Ed Djebs montre que cette mise en place s'est effectuée sur une paléo-pente sous-marine. En outre, on établit les indices de l'amorce de l'inversion tectonique post Campanien et son paroxysme de l'Éocène moyen à supérieur. Cette dernière est clairement fossilisée par la discordance de l'Eocène moyen-Lutétien sur les séries albiennes.

Abstract: The salt structure of Jebel Ech Cheid is located in the salt province of Tunisia and lies to the south east of the archaeological site of Dogga / Teboursouk. The Jurassic to Cretaceous North Tunisian Salt Province evolved above the Triassic thick salts. Extension started from the late Triassic to early Cretaceous and resulted in the development of salt structures complex system, which in early Cretaceous culminated in "diapirism" and salt extrusion onto the basin floor. Within both basin flanks of Jebel Ech Cheid salt body, we observed syn-sedimentary evidences of early Albian normal faults, chaotic folds, olistoliths and reworked salt material in the lower Cretaceous sediment.... Jurassic and early Cretaceous subsidence were related to the relatively minor salt movements in the Jebel Ech Cheid area, subsequently major extensive episode and salt movements observed in Jebel Ech Cheid area was between middle Cretaceous to early Senonian times. The sedimentary basin architecture is mainly structured by inherited normal faults system set well recognised in seismic profiles: it is a synthetic and antithetic rollovers system in the southern part, combined with Teboursouk fault system in the North. The Mesozoic built was the first factor responsible to the evolution of the sedimentary basin and the birth of the salt body of Jebel Ech Cheid. The next compressed major phase was caused by the late Cretaceous to upper Eocene positive inversion. So, in the Oligocene time there was a stretching period. Finally, the salt movements were influenced by the Tortonian and quaternary folding. The delamination and folding of the overburden salt cover facilitated the development of the salt wings. Jebel Ech Cheid salt structure has been subject to asymmetric thrusting, possibly enhanced by gravitational gliding due to the orientation of the major inherited NE-SW normal faults and the role of the principal compression direction (NW-SE). Hence, the combination of the overthrusting and right-slip movements gives rise to a horsetail structure in the Gafour basin during Quaternary period. The salt movements of Jebel Ech Cheid were influenced by many tectonics phases. Thus, we consider Jebel Ech Cheid salt body as a salt dome with salt extrusion like salt « glacier ». In the initial period: late Aptian with 451m of freebords and the rate extrusions of the salt mass on the sea floor was calculated with Talbot's logic is 55,2mm y^{-1}.It is also over 400 times faster than the fastest overburden sedimentation rate averaged over the 9 Ma of Barremian/Aptian times. The salt dome was, then, rooted and evolved in a complex structure which was uprooted after the Tertiary/early quaternary folding.

In the northern part of Tunisia and close to Testour/Slouguia new observations and updated biostratigraphy have made it possible to highlight the relation between the Triassic saliferous mass and the surrounding Mesozoic beds (T. M.). Near the (T. M.) boundary, the formations observed consist dominantly of Triassic evaporates reworked in the Early and Late Albian deep-water sedimentary deposits. Throughout the studied area, Jurassic rocks are absent. We propose to interpret the Chitana-Ed Djebs structure originally emplaced as gravitational stretch masses in a passive margin in the same way as the salt bodies of widespread salt province in the Gulf of Mexico. A reconstructed schematic position of the Chitana-Ed Djebs salt body displays a scenario of setting of the salt mass on a submarine paleo-slope. Additionally, the starting clues of the paroxysmal event of the Late Mesozoic tectonic inversion clearly fossilized through the discordance of the Middle Eocene–Early Lutetian limestone on the Albian series.

E-mail : mohamedmontassar.benslama@fst.rnu.tn

M.M.BEN SLAMA

BEN SLAMA, M.M. (2011) : Mécanismes de mise en place du matériel salifère en Tunisie septentrionale : Exemples du Jebel Ech Cheid et des structures voisines.

UNIVERSITE DE TUNIS-EL MANAR II

FACULTE DES SCIENCES DE TUNIS

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

BEN SLAMA M.M.

Digitally signed by BEN SLAMA M.M.
DN: cn=BEN SLAMA M.M., o=F.S.Tunis, ou=U.R.Structural Geology, email=mohamedmontassar.benslama@fst.rnu.tn, c=TN
Date: 2011.09.26 22:53:18 +01'00'

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mohamed Montassar BEN SLAMA

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITE

Mention : Géologie

Mécanismes de mise en place du matériel salifère en Tunisie septentrionale : exemples du Jebel Ech Cheid et des structures voisines

Soutenue publiquement le 06 Juin 2011 devant le jury composé de :

Mr. Fouad ZARGOUNI	**Président**	**Professeur**	***Faculté des Sciences de Tunis***
Mr. Mohamed GHANMI	**Directeur de Thèse**	**Professeur**	***Faculté des Sciences de Tunis***
Mr. Mahmoud DLALA	**Rapporteur**	**Professeur**	***Faculté des Sciences de Tunis***
Mr. Chedly ABBES	**Rapporteur**	**Professeur**	***Faculté des Sciences de Sfax***
Mr. Mohamed BEN YOUSSEF	**Examinateur**	**Professeur**	***C. E. R. T. E.***
Mr. Jean-Marie VILA	**Invité**	**Professeur**	***Honoraire des Universités***

Travaux du Laboratoire de Géologie structurale et appliquée (code UR-99/10-12)

UNIVERSITE DE TUNIS-EL MANAR II
FACULTE DES SCIENCES DE TUNIS
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mohamed Montassar BEN SLAMA

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITE
Mention : Géologie

Mécanismes de mise en place du matériel salifère en Tunisie septentrionale : exemple du Jebel Ech Cheid et des structures voisines

Soutenue publiquement le 06 Juin 2011 devant le jury composé de :

Mr. Fouad ZARGOUNI	Président	Professeur	*Faculté des Sciences de Tunis*
Mr. Mohamed GHANMI	Directeur de Thèse	Professeur	*Faculté des Sciences de Tunis*
Mr. Mahmoud DLALA	Rapporteur	Professeur	*Faculté des Sciences de Tunis*
Mr. Chedly ABBES	Rapporteur	Professeur	*Faculté des Sciences de Sfax*
Mr. Mohamed BEN YOUSSEF	Examinateur	Professeur	*C. E. R. T. E.*
Mr. Jean-Marie VILA	Invité	Professeur	*Honoraire des Universités*

Travaux du Laboratoire de Géologie structurale et appliquée (code UR-99/10-12)

Avant-propos

قال الله سبحانه وتعالى :

«**...وَجَعَلَ فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْهَارًا...**» (القرآن الكريم، سورة الرعد الأية عَدد 3.)

« …Et c'est lui qui a étendu la terre et y a placé montagnes et fleuves…», Chapitre 13, Le tonnerre, verset n°3*in*le Saint Coran avec translittération en caractères latins et traduction des sens en Français, p.320, publié par la Maison du livre Al-Aziz, 2008.

« …And it is He Who spread out the earth and set thereon mountains standing firm and (flowing) rivers…», Part 13, the Thunder, verse n°3 *in*The Holy Qur' ān with English translation of its meanings, Roman transliteration and full Arabic text by Abdullah Yousuf Ali, p.242, publisher : Dar Al-Kitab Al-Aziz, 2005.

قال الله سبحانه وتعالى :

«**أَلَمْ نَجْعَلِ الْأَرْضَ مِهَادًا (6) وَالْجِبَالَ أَوْتَادًا(7)** »(القرآن الكريم، سورة النبأ الأية عَدد6 و 7.)

« N'avons-nous pas fait de la terre une couche ? (6) Et (placé) les montagnes comme des piquets ? (7) »Chapitre78, Lanouvelle, versets n°6 et 7 *in*le Saint Coran avec translittération en caractères latins et traduction des sens en Français, p.835, publié par la Maison du livre Al Aziz, 2008.

« Have we not made the earth as a wide Expanse? (6) And the mountains as pegs? (7) » Part 78, the Great News, verses n°6 and 7 *in*The Holy Qur' ān with English translation of its meanings, Roman transliteration and full Arabic text by Abdullah Yousuf Ali, p.578, publisher: Dar Al-Kitab Al-Aziz, 2005.

قال الله سبحانه وتعالى :

«**وَالْبَحْرِالْمَسْجُور**» (القرآن الكريم، سورة الطور الأية عَدد6.)

« Et par la Mer portée à ébullition » (insinuation sur l'existence des « *MidOceanRidgeBasalt* »,notamment c'est une allusion sur l'activité des plaques tectoniques.) Chapitre52, At-Tūr, verset n°6 *in*le Saint Coran avec translittération en caractères latins et traduction des sens en Français, p.733, publié par la Maison du livre Al Aziz, 2008.

« And by the Ocean filled with swell » (Hint on the existence of «*Mid Ocean Ridge Basalt*», an allusion is especially on the activity of tectonic plates.)Part 52, the Mount, verse n°6 *in*The Holy Qur' ān with English translation of its meanings, Roman transliteration and full Arabic text by Abdullah Yousuf Ali, p.516, publisher : Dar Al-Kitab Al-Aziz, 2005.

If, one day, a people desires to live
Then fate will answer their call.
And their night will then begin to fade,
And their chains break and fall

إذا الشعب يوما أراد الحياة
فلا بدَ أن يستجيب القدر
ولابدَ لليل أن ينجلي
ولابدَ للقيد أن ينكسر

Si, un jour, un peuple veut vivre
Ensuite, le destin va répondre à leur appel.
Et leur nuit commence alors à s'estomper,
Et leurs chaînes se briser et tomber

الشاعر التونسي أبو القاسم الشابي
Tunisian poet Abu al-Qasim al-Shabi

Tu cueilles les fruits du palmier de ton grand-père, de l'olivier de ton père et du figuier que tu as planté en terre (Proverbe Tunisien)

تستغلَ نخلة جدَك، و زيتونة بوك و كرمة يدَك (مثل شعبي تونسي)

Je dédie ce travail à mes parents

Ali et Zeineb,

À mes frères *Hcin* et *Borhaneddine,*

À ma femme *Ásma* qui m'a assidument soutenu

et

À mon fils *Tarik*

Remerciements

Ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans l'aide, la compréhension et la patience de ceux qui ont contribué scientifiquement, financièrement, techniquement et moralement à son aboutissement.

Mes remerciements vont en premier lieu à **Monsieur Fouad ZARGOUNI** professeur à la Faculté des Sciences de Tunis qui a bien voulu me faire l'honneur de présider mon jury. Il n'a pas hésité à m'accepter dans l'unité de recherche de Géologie structurale et appliquée.

Je remercie **Monsieur Mohamed GHANMI** professeur à la Faculté des Sciences de Tunis d'avoir accepté d'avoir dirigé passionnément le déroulement de la thèse. Au fil des jours, à l'unité s'est nouée entre nous une solide amitié. Qu'il trouve ici l'expression de ma très sincère gratitude. Il a suivi minutieusement la progression de ce travail et l'a enrichi par des critiques et ses suggestions constructifs.

Je remercie **Monsieur Mahmoud DLALA** professeur à la Faculté des Sciences de Tunis d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Il m'a fait bénéficier de ses enseignements fructueux sur la tectonique récente .Je lui suis également reconnaissant pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail.

Je remercie **Monsieur Chedly ABBES** professeur à la Faculté des Sciences de Sfax d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Je lui suis également reconnaissant pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail.

Je tiens à remercier **Monsieur Mohamed BEN YOUSSEF** professeur Directeur Général du Centre Technologique des Eaux qui a bien voulu me faire l'honneur d'examiner ce travail. Il m'avait accepté dans son Laboratoire de biostratigraphie à C.E.R.T.E. Il m'avait orienté et dirigé mes premiers travaux de Recherches. Il m'a fait bénéficier de ses enseignements fructueux en Biostratigraphie et en Lithostratigraphie ; qu'il trouve mes sincères remerciements et ma gratitude.

Je tiens à remercier **Monsieur Jean Marie VILA** professeur Honoraire des Universités de France d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Il m'a fait bénéficier de ses enseignements fructueux sur la tectonique salifère et la cartographie géologique depuis mes premiers travaux de recherches. Je lui suis également reconnaissant pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail.

Je tiens à remercier **Madame Najia ARIDHI OUAZAA** professeur à la Faculté des Sciences de Tunis pour son aide et son soutien, qu'elle trouve ici tout mon respect, mon amitié et ma gratitude.

Je remercie **Monsieur Nassereddine YOUBI** professeur à la Faculté des Sciences de Semlalia à Marrakech qui m'a fait bénéficier de ces enseignements et discussions fructueux sur le terrain en cherchant les roches magmatiques dans divers affleurements triasiques du Nord de la Tunisie ; qu'il trouve mes sincères remerciements et ma gratitude.

Je remercie **Monsieur Christopher TALBOT** professeur à l'Université d'Uppsala qui m'a fait bénéficier de ces enseignements fructueux sur les calculs des taux d'extrusions du sel… et ceci à travers des e-mails ; qu'il trouve mes sincères remerciements et ma gratitude.

Je tiens à remercier mon ami **Monsieur Amara MASROUHI** maître assistant à la Faculté des Sciences de Gabès pour son aide, son soutien et son écoute. Il n'a cessé de m'encourager et de me pousser à avancer, qu'il trouve ici tout mon amour, mon amitié et ma gratitude.

Je tiens à remercier **Madame Samia ARABI KASSAA** maître assistante à la Faculté des Sciences de Tunis pour son aide et son soutien. Elle n'a cessé de m'encourager, qu'elle trouve ici tout mon amour, mon amitié et ma gratitude.

Je tiens à remercier mon ami **Monsieur Mohamed Fadel LADEB** assistant à la Faculté des Sciences de Sfax pour son aide, son soutien et son écoute. Il n'a cessé de m'encourager et de me pousser à avancer, qu'il trouve ici tout mon amour, mon amitié et ma gratitude.

A Gabès, j'ai trouvé l'accueil familial des Messieurs: R. AHMADI, L. EDASSI, M. FALHI, N. MAJDOUB, M. GOUASMIA. Qu'ils trouvent tous mes sincères remerciements et ma gratitude.

Je tiens à remercier les enseignants que j'ai rencontrés durant mon parcours de recherche, Messieurs et Madames: ABDELJAOUAD, S., ADDED, A., AJMI, M., BAKKARI, N., BEL AYOUNI, H., BEL HAJ, N., BEN ISMAIL, K., BEN ISMAIL, M.H., BOUGHDIRI, M., BOUHLAL, S., BOUKADI, N., CHALBI, M., CORDEY,F., DARRGI, F., FERJANI, S.,GAALOUL, N.,GADDARI, M.M., GASMI,M., HAMZA, M.H., HOUMENE, B., HOUMENE, S., INOUBLI, M.H., JALOULI, C., JEDOUI, Y., MABROUK, A., MELKI, F., NAGRA, M.H., OURFILLI, K., RABHI, M., RABIAA M. Ch., RAZGALLAH, S.,SEBEI, A., SEHIMI, N., SLAMA, T., SOUSSI, M., SUISSI, F.,TAYACHE, B., TLIG, S., TURKI. M.M., ZAGHBIB TURKI, D. et ZAIER, A. Qu'ils trouvent tous mes sincères remerciements et ma gratitude.

A l'Entreprise Tunisienne des Activités Pétrolières, j'ai le plaisir de remercier, A. AMRI, Y. BOUAZIZ, N. CHINE et R. M'RAD. Leur hospitalité et leur aide scientifique et matérielle m'ont été fort utile. Je souhaite que mes résultats les justifient.

A L'office National des Mines, j'ai le plaisir de remercier Messieurs : FAKRAOUI, M., FARJALLAH, TH., MAHJOUB, K., MEDDEB, N., MHATHBI, M., MNASRI, F., SAOUDI, L., TAJINI, B. et ZITOUNI, M. Leur hospitalité et leur aide scientifique et matérielle m'ont été fort utile. Je souhaite que mes résultats les justifient.

Je tiens à remercier Mme H. KOUISSI qui m'a toujours encouragé dans le laboratoire de géologie structurale et appliquée.

Je suis redevable à tous les Chercheurs que j'ai rencontré durant mon parcours de recherche et particulièrement : AMAMRIA, S., AMARI, L., AMIRI, A., AMRI, A., ARFAOUI, A., ARFAOUI, S., AYED, A., AYED, S., AZOUZ, H., BALGHAGI, H., BEJAOUI, J.,BEN ALAYA, M., BEN ALI, W.,BEN AMARA, R., BEN BRAHIM, N., BEN FADHEL, M., BEN MEHREZ, F., BEN NSIR, S., BEN OTHMANE, D., BEN OTHMANE, S., BEN SALEM, M.S., BENASSI, R.,BOUAZIZ, I., BOUKHALFA, K.,CHAQUI, A. CHENENNI, I.,DHAHRI, F., EL ARIDI, K., EL ARIDI, S., EL EUCHE, N., EL MAY, M., EL MHAMDI, A., ESSID, M., EZZINE, I., FRIGUI, M., GHANEM, W., GHARBI, M., HACHIMI, H., HAMDI, I., HAMMAMI, A., HARRAB, S., HASNI, W.,HEZZI, I., JAOUED, M., KASSABI, A., KATELANE, R., KAZRI, A., KHEMIRI, S., KHOUNI, R., MAALAOUI, K.,MARCO, I.,MARZOUG, L.,MARZOUGUI, A., MARZOUGUI, W.,MATTOUSSI, H., MEZNI, R., MZALI, H., OTHMANI, M., OUNIS,A.,OUSLATI, W., RIAHI, S., SALLOUHI, H., SEBEI, K., SKANJI, A., SKATNI, N. et ZOUAGHI, T.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à mes amis, Bechir, Walid, Amir, Fahmi, Nizar, Bacem , Bassem, Mehrez, Ellouze et Mr et Mme Mahjoub, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

Enfin je dis merci à tous ceux dont j'ai oublié de citer les noms.

RESUME

La structure de Jebel Ech sel Cheid est situé dans la province salifère du Nord de la Tunisie et se trouve au Sud-est du site archéologique Dogga / Téboursouk. Le *rifting* a commencé depuis la période triasique et s'est poursuivi au cours du Crétacé. Au début du Crétacé, ces structures ont abouti au "diapirisme" et à l'extrusion du sel dans le bassin sédimentaire. Dans les deux flancs du Jebel Ech Cheid, nous avons observé des preuves de la manifestation de la tectonique synsédimentaires telque : failles normales sellé dans les dépôts albiennes, slumps, olistolithes, remaniements du matériel salifères dans les sédiments barrémiennes et albiennes.... Dans la période Jurassique/Crétacé inférieur la subsidence est importante et elle est lié principalement à l'amorce des mouvements du salifère triasique dans la région du Jebel Ech Cheid. Par la suite, l'épisode extensive majeur est installée depuis l'Aptien jusqu'au Sénonien inférieur. L'architecture du bassin sédimentaire est ordonnancée par des systèmes de failles héritées identifié par l'intermédiaire de profiles sismiques : il s'agit d'un système de *rollover* synthétique et antithétiques dans le bassin méridionale du corps salifère associé avec le mouvement de la failles de Téboursouk dans le flanc septentrionale.

L'architecture du bassin sédimentaire construite aux cours du Mésozoïque été le principale facteur responsable à la naissance de la structure du Jebel Ech Cheid. Ensuite, la phase de compression majeure a été provoquée vers la fin du Crétacé supérieur et atteint son paroxysme à l'Eocène supérieur. Ainsi au cours de l'Oligocène il y a une période d'étirement. Enfin, les mouvements du salifère ont été influencés par les plissements tortoniennes et quaternaires. La délamination et les plissements des sédiments de couverture du matériel salifère a facilité le développement des ailes de sel. La structure salifère du Jebel Ech Cheid a été soumise à des forces compressives asymétriques édifiant des chevauchements sur les bordures, éventuellement renforcé par la gravité en raison de l'orientation des grandes failles normales héritées (NE-SW) et le rôle de la direction principale de compression (NW-SE). Par conséquent, la combinaison des mouvements chevauchement/décrochement dextre a donné naissance à une structure en queue de cheval bien visible dans le bassin de Gafour durant l'épisode du Quaternaire. Ainsi, nous considérons le corps salifère du Jebel Ech Cheid comme un dôme de sel avec des extrusions pulsatiles de sel à l'image d'un «glacier» de sel. Dans une période initiale à l'Aptien supérieur les abords de la structure sont à 451m et le taux d'extrusion de la masse de sel sur le fond de la mer a été calculée avec la méthode de Talbot est de l'ordre de 55,2 mm an^{-1}. Il est également plus de 400 fois plus rapide que la vitesse de sédimentation la plus rapide des sédiments de couverture terminé en moyenne vers les 9 Ma du Barrémien/Aptien. Le dôme de sel a été ensuite enraciné et il a évolué vers une structure complexe qui a été déracinée après les plissements tertiaires et quaternaires.

Au Nord de la Tunisie, près de Testour/Slouguia, nous avons conduit de nouvelles observations et révision biostratigraphique. À la lumière de ces apports, il est possible de mieux interpréter la relation entre le sel triasique et les séries mésozoïques encaissantes (T.M.). Auprès de la limite (T.M.), le matériel salifère se trouve remanié dans la série marno-argileuse de l'Albien inférieur. Dans tout le secteur, nous avons noté la quasi-absence du Jurassique. Nous proposons d'interpréter la mise en place du sel triasique de la structure de Chitana-Ed Djebes, d'une manière gravitationnelle dans une marge passive à l'Albien, à l'image des corps salifères de la province salifère du Golf Coast du Mexique. Un schéma rétro-tectonique de la structure salifère Chitana-Ed Djebs montre que cette mise en place s'est effectuée sur une paléo-pente sous-marine. En outre, on établit les indices de l'amorce de l'inversion tectonique post Campanien et son paroxysme de l'Éocène moyen à supérieur. Cette dernière est clairement fossilisée par la discordance de l'Eocène moyen-Lutétien sur les séries albiennes.

ABSTRACT

The salt structure of Jebel Ech Cheid is located in the salt province of Tunisia and lies to the south east of the archaeological site of Dogga / Teboursouk. The Jurassic to Cretaceous North Tunisian Salt Province evolved above the Triassic thick salts. Extension started from the late Triassic to early Cretaceous and resulted in the development of salt structures complex system, which in early Cretaceous culminated in "diapirism" and salt extrusion onto the basin floor. Within both basin flanks of Jebel Ech Cheid salt body, we observed syn-sedimentary evidences of early Albian normal faults, chaotic folds, olistoliths and reworked salt material in the lower Cretaceous sediment.... Jurassic and early Cretaceous subsidence were related to the relatively minor salt movements in the Jebel Ech Cheid area, subsequently major extensive episode and salt movements observed in Jebel Ech Cheid area was between middle Cretaceous to early Senonian times. The sedimentary basin architecture is mainly structured by inherited normal faults system set well recognised in seismic profiles: it is a synthetic and antithetic rollovers system in the southern part, combined with Teboursouk fault system in the North. The Mesozoic built was the first factor responsible to the evolution of the sedimentary basin and the birth of the salt body of Jebel Ech Cheid. The next compressed major phase was caused by the late Cretaceous to upper Eocene positive inversion. So, in the Oligocene time there was a stretching period. Finally, the salt movements were influenced by the Tortonian and quaternary folding. The delamination and folding of the overburden salt cover facilitated the development of the salt wings. Jebel Ech Cheid salt structure has been subject to asymmetric thrusting, possibly enhanced by gravitational gliding due to the orientation of the major inherited NE-SW normal faults and the role of the principal compression direction (NW-SE). Hence, the combination of the overthrusting and right-slip movements gives rise to a horsetail structure in the Gafour basin during Quaternary period. The salt movements of Jebel Ech Cheid were influenced by many tectonics phases. Thus, we consider Jebel Ech Cheid salt body as a salt dome with salt extrusion like salt « glacier ». In the initial period: late Aptian with 451m of freebords and the rate extrusions of the salt mass on the sea floor was calculated with Talbot's logic is 55,2mm y^{-1}.It is also over 400 times faster than the fastest overburden sedimentation rate averaged over the 9 Ma of Barremian/Aptian times. The salt dome was, then, rooted and evolved in a complex structure which was uprooted after the Tertiary/early quaternary folding.

In the northern part of Tunisia and close to Testour/Slouguia new observations and updated biostratigraphy have made it possible to highlight the relation between the Triassic saliferous mass and the surrounding Mesozoic beds (T. M.). Near the (T. M.) boundary, the formations observed consist dominantly of Triassic evaporates reworked in the Early and Late Albian deep-water sedimentary deposits. Throughout the studied area, Jurassic rocks are absent. We propose to interpret the Chitana-Ed Djebs structure originally emplaced as gravitational stretch masses in a passive margin in the same way as the salt bodies of widespread salt province in the Gulf of Mexico. A reconstructed schematic position of the Chitana-Ed Djebs salt body displays a scenario of setting of the salt mass on a submarine paleo-slope. Additionally, the starting clues of the paroxysmal event of the Late Mesozoic tectonic inversion clearly fossilized through the discordance of the Middle Eocene–Early Lutetian limestone on the Albian series.

Table des matières

Table des matières 1

Liste des figures 7

Liste des tableaux 14

Liste des figures annexes 14

CHAPITRE 1 17

1. Introduction générale 18

2. Les structures salifères 18

2.1. Mise en place du matériel salifère 19

2.1.1. Les bassins salifères contenant des corps de sel 19

2.1.1.1. Les appareils salifères à mouvements verticaux du sel 19

2.1.1.2 Les appareils salifères à expanssions latérales 22

2.1.1.3. Les structures à déplacement de couvertures : typologie simplifiée 23

2.1.1.4. Exemples de corps salifères à épanchements latéraux 23

2.1.2. Les bassins salifères sans structures salifères 29

3. Problématique de la thèse 29

4. Cadre de l'étude 30

4.1. Cadre géographique et géologique 30

4.2. Cadre géologique 36

5. Travaux antérieurs effectués dans la zone d'étude 37

5.1. Solignac [1925] 37

5.2. Solignac [1927] 39

5.3. Sainfeld [1952] 39

5.4. V.Perthuisot [1972] 42

5.5. T.Dali [1979a] 43

5.6. K.Daly [1981] 43

5.7. A.W.Baird, Grant, Grocott, Mann, Moody, Sandman et Wright [1989] 43

5.8. H. El Ouardi [1996] 43

5.9. M.Hammami et al [2001] 43

5.10. S.Rebaï [1992,1993] 46

5.11. M.Dlala & S.Rebaï [1994] 47

5.12. M. Dlala [1995] 48

5.13. J.M.Vila et al [1999, 2002] ; M. Ghanmi [2003] ; Masrouhi [2006] 49

5.14. C.J. Talbot [2005] 50

5.15. S.Chabbi [2002] 51

5.16. A.Hammami [2007] 52

5.17. Travaux relatif à la gravimétrie 52

6. Méthodologie 53

CHAPITRE 2 55

2. STRATIGRAPHIE 56

1. Le Trias 56

1.1. Constitution lithologique du Trias 57

1.2. Age du matériel salifère et essai de reconstitution de coupes stratigraphiques dans le Trias 57

1.2.1. Le forage MJTK-L1, 399.5 m 59

1.3 Les roches volcaniques 62

2. Le Jurassique 63

2.1.1. Le Jurassique du secteur d'étude 63

3. Le Crétacé 66

3.1. Coupes lithostratigraphiques représentatives du secteur d'étude 66

3.1.1. Le Barrémien 66

3.1.2. L'Aptien 69

3.1.3. L'Albien 77

3.1.4. Le Cénomanien /Turonien/Coniacien 83

3.1.5. Santonien/Campanien/Maastrichtien 89

4. Les séries cénozoïques 94

4.1. Le Paléogène 94

4.1.1. Le Paléocène 94

4.1.2. L'Éocène 96

4.1.3. L'Oligocène 102

4.2. Le Néogène 104

4.2.1. Les affleurements néogènes dans les secteurs d'étude 107

4.2.1.1. Le Miocène 107

4.2.1.2. Le Plio-Quaternaire 109

5.1. Conclusions 111

5.5.1. La structure du Jebel Ech Cheid : 111

5.5.2. La structure du Jebel Chitana/ed Djebs 112

CHAPITRE 3 114

3. ÉTUDE TECTONIQUE 115

1. La structure de Chitana/ed Djebs 115

1.1. Les éléments structuraux observés : (Fig.3.2**)** 115

1.1.1. Les plis 115

1.1.2. Les failles 118

1.1.2.1. La direction atlasique 118

1.1.2.2. Les failles N-S 120

1.1.2.3. Les failles E-W 120

1.1.2.4. Les failles NW-SE 120

1.1.2.5. Conclusion 121

1.2. Les discordances 121

1.2.1. Discordance de l'Éocène (Fig.2.32) 121

1.2.2. Discordance de l'Oligocène 121

1.2.3. Discordance du Plio-Quaternaire 122

1.3. Le paroxysme de compression Tertiaire au Miocène: 122

2. La structure du Jebel Ech Cheid 122

2.1. Les éléments structuraux observés 123

2.1.1. Les plis 123

2.1.2. Les failles 125

2.2.1. La direction NE/SW (Fig.3.4) 125

2.2.2. La direction méridienne 125

2.2.3. Les failles E-W 125

2.2.4. Les failles NW-SE 125

2.2.5. Conclusion 127

2.2. Les discordances sédimentaires 128

2.2.1. La discordance du Cénomanien 128

2.2.2. La discordance du Santonien 128

2.2.3. La discordance du Campanien 129

2.2.4. La discordance du Maastrichtien 129

2.2.5. La discordance du Paléocène et de l'Éocène 129

2.2.6. La discordance de l'Oligocène 129

2.2.7. La discordance du Mio-Pliocène 129

2.2.8. Conclusions 130

3. Présentations des coupes de synthèse 130

3.1. Au niveau de la structure du Jebel Ech Cheid 130

3.1.1. Coupe géologique au niveau de Ragoubet el Mahjbia/ Henchir el Flouss 130

3.1.2. Coupe géologique Y-Y' (S^i Abd-el-Kader /A^e Edroua) 133

3.1.3. Coupe géologique Z-Z' 135

3.1.4. Coupe géologique W-W' 137

3.1.5. Coupe géologique A-A' 139

3.1.6. Coupe géologique B-B' 143

3.2. Le secteur de Chitana/ed Djebs 146

3.2.1. Coupe au niveau du J. Chitana Y-Y'(Fig.3.25) 146

3.2.2. Coupe géologique au pied nord-ouest du J. ed Djebs X-X'(Fig.3.27) 147

3.2.3. Coupe géologique NW-SE d'Oued Bou Kralfa Z-Z'(Fig.3.28) 147

4. Évolution structurale 150

4.1. La structure du Jebel Ech Cheid 150

CHAPITRE 4 152

4. LES DONNEES GEOPHYSIQUES ET LEUR INTERPRETATION ... 153

1. La gravimétrie 153

2. Analyse et interprétation sismique 157

2.1. La ligne sismique A1 158

2.2. La ligne sismique A2 160

2.3. Conclusion 160

CHAPITRE 5 164

5. ESSAI DE MODELISATION, COMPARAISONS ET DISCUSSIONS 165

1. Synthèse 165

1.1. La région du Jebel Ech Cheid 165

1.2. La région de Chitana/ed Djebs 165

2. Proposition d'un scénario de mise en place de l'architecture actuelle .. 166

2.1. Modèle de drapage et tectonique en radeaux soit « *rollovers system* »dans la région du Jebel Ech Cheid 166

2.2. Chitana/ed Djebs Modèle «*Open toe* » 170

3. Essai de modelélisation de la mobilisation du matériel salifère 171

3.1. La taille potentielle du Jebel Ech Cheid 171

3.2. Calcul des vitesses d'épanchement du matériel salifère et comparaisons 173

3.3. Rèserves au sujet de l'analyse quantitative de la mobilité du matériel triasique 174

4. Conclusion 176

CONCLUSION GENERALE 177

6. CONCLUSION GENERALE 178

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 185

ANNEXES 207

ANNEXE 208

Les données des forages miniers 208

Les colonnes lithostratigraphiques en grande dimension du chapitre2. 225

Illustrations 230

Liste des figures

Fig.1.1 Une des premières interprétations d'un pli-diapir redessinée d'après le schéma original de Posepny [1871]. 20

Fig. 1.2 Le pli diapir au sens de Mrazec [1907] : Magurelle : champs pétrolier de Ploiesti, avant-pays carpathique, Roumanie, *in* Vila [1997]. 20

Fig.1.3 Relation entre les types de structures salifère et l'épaisseur originelle du complexe salifère du Permien d'Allemagne (on note que l'épaisseur de la racine croit en allons de gauche à droite = halosinèse selon Trusheim[1960]. 21

Fig.1.4 Modélisation analogique de la croissance d'un diapir par réaction à l'extension (*Reactive diap*irism*) lors d'une extenssion. Quatre coupes pour des taux d'extension croissants [Vendeville & Jackson,1992] (on note que ce modele suppose l'arrêt de la sédimentation) 21

Fig.1.5 Schémas montant la progression de la « Tectonique en radeau » [Burollet,1975]..... 22

Fig.1.6 Formation d'anticlinaux en carapace de tortue (AI-A4) et formation des structures en carapace de tortue associé à des structures en radeau (B1-B4). Les flèches verticales indiquent la position des dépocentres extensionnels créés par l'échappement de la masse salifère mère vers le haut Jackson et al [1994]. 23

Fig. 1.7 Modèle évolutif d'épanchement gravitaire du sel dans un contexte tectonique d'une marge passive et à l'échelle lithosphérique [Fort *et al.*,2004] , on souligne l'évolution des différents structures salifères sur un substratum fracturé. 24

Fig.1.8 Typologie des structures salifère dans le bassin persique Jackson & Talbot [1994]..... 25

Fig. 1.9 La section a été tracée à partir d'une tranche de modèle à la fin de la déformation (C) a été reconstruit (D) pour montrer à l'ouest (E) et et dans la partie centrale (F) les diapirs pendant la phase d'extension (phase 2) (le sel est représenté en rouge) (voir http://www.beg.utexas.edu/indassoc/agl/animations / AGL98-MM-006/index.html.) [Guglielmo et al.,1998, 2000]. 26

Fig.1.10 Exemples naturels de marges passives contenant des dépôts salifères illustrant les principaux domaines cinématiques. Dessins au trait schématique des sections sismiques (a) Angola offshore (b, c) Canada atlantique (d) au large du Maroc et (e, f) au large du Brésil; la profondeur est en secondes/temps double (*seconds two-way time*) d'après [Krézsek et al.,2007]..... 27

Fig.1.11 Tableau récapitulative des mouvements cinématiques des masses de sel dans les bassins sédimentaires figurés dans différents contexte tectoniques, redessiné d'après [Letouzey et Cramez 1988]..... 28

Fig.1.12 Carroyage des feuilles topographiques au 1 :50 000ème de la Tunisie septentrionale : les cadres colorés représentent les feuilles 26 : O.Zargua, 27 : Medjez el Bab, 33 : Téboursouk et 40 : Gafour..... 31

Fig.1.13 Carte de localisation du matériel salifère en gris de la région de Slouguia/Testour 32

Fig.1.14 Domaines structuraux de la Tunisie [Ghanmi,2003]..... 33

Fig.1.15 Carte de localisation des lieux-ditsde la région du Jebel Ech Cheid (les encadrés 1 à 6 cernent les zones clés)..... 34

Fig.1.16 Schéma géologique simplifié de la Tunisie du Nord (d'après carte 500 000 de la Tunisie , la carte 500 000 de l'Est Algérien et Masrouhi *et al* [2007]) 36

Fig.1.17 Coupe géologique aux environs de la structure de Chitana/ed Djebs [Solignac,1925]..... 38

Fig.1.18 Coupe générale schématique NNW-SSE passant par Jebel Thibar et Jebel Ech Cheid, Solignac [1927]. 39

Fig.1.19 Carte et coupes géologique du secteur Lakhouat [Sainfeld,1952]. 40

Fig.1.20 Coupes géologiques interprétatives faites dans le secteur, Knana/Oued Siliana et dans le secteur K^{at} Safrad'après Sainfeld [1952]. 41

Fig.1.21 Reconstitution schématique de l'évolution de la structure du Jebel Ech Cheid d'après Perthuisot [1972] ; légende : s : salifère ; ci-j : Jurassique-crétacé inférieur ; cs : Crétacé supérieur ; ec Éocène calcaire ; eo : Éocène supérieur-Oligocène inférieur ; o : Oligocène supérieur (formation à dragées) ; m : Miocène ; 42

Fig.1.22 Evolution structurale du complexe triasique d'après Dali [1979a]..... 44

Fig.1.23 Proposition d'un modèle en rampe et palier du bassin allant du Thibar à Gafour [Baird *et al.*,1989] 45

Fig.1.24 Carte géologique de la région d'el Akhouat . d'après Hammami et al [2001] , 1 : Trias, 2 : Aptien, 3 : Albien-Vraconien, 4: Cénomanien, 5 : Turonien, 6 : Coniacien-Santonien, 7 : Campanien-Maastrichtien, 8 : Lutétien supérieur, 9 : Quaternaire 46

Fig. 1.25 Carte géologique simplifiée et fracturation de la région de Téboursouk d'après S.Rebaï [1993]: 1 : Faille inverse ; 2 : Faille normale ; 3 : Décrochement ; 4 : sites étudiés; 5 : Trias ; 6 : Mésozoïque ; 7 : Néogène ; 8 : Quaternaire. a et b sont les solutions tenseur des contraintes déduite des mesures microtectoniques à dans la station d'Oued el Aleg (a) et la station de Gafour-El Aroussa (b) les mesures sont faites dans les dépôts du Quaternaire du même bassin : (a) faille inverse et (b) faille normal. 47

Fig. 1.26 Schéma structural redessiné de l'extrémité NW du fossé de Gaafour d'après M.Dlala & S. Rebaï [1994].1, Trias; 2, Oligocène; 3, Miocène supérieur; 4, Quaternaire récent; 5, alluvions; I_3, failles normales; I_4, failles inverses..... 48

Fig. 1.27 Extrait redessiné de la carte de zonation de types de déformations au Quaternaire récent et l'Actuel d'après M.Dlala [1995] ; 1- déformation décrochante à décrochante compressive ; 2- déformation compressive à décrochante compressive ; 3- déformation décrochante compressive associées à une déformation distensive locale (fossés d'effondrements) ; déformation essentiellement décrochante à décrochante compressive localisée au niveau des accidents préexistant majeurs. 49

Fig. 1.28 Exemple de reconstitution de la genèse d'un « glacier de sel» sous-marin composite de la Gulf Coast, pris dans le gisement pétrolier de Mickey au large de la Louisiane, redessinée d'après les Fig. 20 et 21 de Fletcher et al [1995] *in* Vila et al [2002]. 50

Fig. 1.29 Schéma structural redessiné de la zone sud-est du village de Gafour d'après S.Chabbi [2002]. 1 : Crétacé supérieur ; 2 : Eocène ; 3 : Faille décrochante ; 4 : Chevauchement ; 5 : Faille normale récente ; 6 : Axe synclinal ; 7 : Axe anticlinal. 51

Fig. 1.30 Modèle de pli passif sur rampe de Krechem el Hamar d'après A.Hammami [2007] 52

Fig.1.31 Echelle géologique utilisée dans les calculs appliqué de la théorie de Talbot et Jarvis [1984] par Walker & Geissman [2009]. 54

Fig.2.1 Esquisse des unités du Trias d'après V.Perthuisot [1972] 58

Fig.2.2 Profil géologique passant par les forages MJTKL1 et MJTKL3 selon Japan & Metal mining [2001]. 59

Fig.2.3 Illustrations montrant le produit de la dissolution de l'halite triasique à l'Oued Mezaz el Beguer au pied du J. Mellaha (photos prises en été) 60

Fig.2.4 Représentation lithologique du forage minier MJTKL1 (forage réexaminé dans ce travail depuis la carothèque de l'O.N.M.) 60

Fig.2.5 Lithostratigraphie du Trias du Jebel Ech Cheid selon F.Kamoun et al. [2001] 61

Fig.2.6 Roches basaltiques : « Ophites » : A : Ophites verte, B : roche verte à remaniement de sédiments probablement d'âge triasique. 62

Fig.2.7 Charte stratigraphique et répartition des faciès en Tunisie septentrionale au cours de l'intervalle Dogger Berriasien, Faciès : (A) calcaires fins à ammonites, « filaments », *Zoophycos* et silex , (B) marno-calcaires à ammonites, « filaments » et *Zoophycos* ; (C) calcaires noirs à « filaments » ; (D) brèches de Bou Kornine ; (E) marnes calcaires siliceuses ; (F) marnes et calcaires noduleux rouges, faciès « ammonitico rosso » ; (G) calcaires argileux ou durs siliceux (« faciès ocellé ») ; (H) séries siliceuses de la formation Jédidi ; (I) calcaires pélagiques à *Saccocoma* ; (J) calcaires lités ou pseudobréchiques à calpionelles ; (K) calcaires subrécifaux de la formation Ressas extrait de F.Cordey et al. [2005] 64

Fig.2.8 A : Vue panoramique montrant le seul affleurement jurassique du Jebel Ech Cheid 65

Fig.2.9 Colonne lithostratigraphique de la région de l'oued el Aouess 67

Fig.2.10 Corrélation des dépôts du Barrémien dans le secteur d'étude et les régions avoisinantes 68

Fig.2.11 Colonne lithostratigraphique au pied nord-ouest du Jebel ed Djebs 69

Fig. 2.12 Les dépôts de l'Aptien de la région de Téboursouk [Perthuisot,1978b, Sassi et al.,1991] 70

Fig.2.13 Colonne lithostratigraphique de l'Aptien de l'oued Merire. 73

Fig. 2.14 (A) : Colonne lithostratigraphique du forage MJTK-C1 (ré-échantillonné et daté) et (B) : Colonne lithostratigraphique du forage SA4 (d'après un rapport inédit de l'O.N.M.) 74

Fig.2.15 Corrélation lithostratigraphique des séries aptiennes 76

Fig.2.16 Colonne lithostratigraphique de l'Albien au niveau de la colline du Jebel Sene ed Djemel 77

Fig. 2.17(A) : Colonne lithostratigraphique du forage MJTK-L5 et (B) : Colonne lithostratigraphique du forage MJTK-L2 ((ré-échantillonnées et datés) 80

Fig.2.18 Colonne lithostratigraphique de la série albienne de la région de K^{at} Mejenba. 81

Fig.2.19 Corrélation lithostratigraphique des séries albiennes aux environs de la structure du Jebel Ech Cheid 82

Fig. 2.20(A) : Colonne lithostratigraphique du Cénomanien au niveau de l'oued Sene Ed Jemel ; (B) : Colonne lithostratigraphique du Turonien-Coniacien au niveau de l'oued el Beji 84

Fig.2.21 Colonne lithostratigraphique de la série du Cénomanien/Turonien/Coniacien du Jebel el Kerba..... 87

Fig .2.22 Corrélation des séries du Cénomanien/Turonien/Coniacien dans le secteur du Jebel Ech Cheid et quelques forages pétroliers et miniers 88

Fig.2.23 Colonne lithostratigraphique du Santonien/Campanien/Maastrichtien au niveau du Jebel Chitana . 89

Fig.2.24 Colonne lithostratigraphique de la série du Santonien/Campanien/Maastrichtien de l'oued el Baida 90

Les séries du Santonien/Campanien/Maastrichtien affleurent dans plusieurs endroits telque (Fig.2.25) :..... 91

Fig.2.26 Corrélation des séries du Sénonien supérieur dans la région du Jebel Ech Cheid 93

Fig.2.27 Colonne lithostratigraphique du Paléocène à l'Est du Jebel Sene ed Jemel..... 94

Fig.2.28 Colonne lithostratigraphique du Paléocène du rond-point Siliana/Gafour/el Krib 95

Fig.2.29Colonne lithostratigraphique de l'Éocène du Jebel Chitana 97

Fig.2.30 Colonne lithostratigraphique de la série Eocène au rond-point Siliana/Gafour/El Kerib 99

Fig.2.31 Localisation de la coupe lithostratigraphique de la coupe de l'Éocène du rond-point Siliana/Gafour/el Krib 99

Fig.2.32 Corrélation latérale des formations paléocènes et éocènes dans les zones d'études (pour la localisation des coupes faites dans la région de Slouguia voir (Fig.1.13)) A : Jebel Cheid, B : Jebel Chitana/ed Djebs..... 101

Fig.2.33 Colonne lithostratigraphique synthétique de l'Oligocène dans le secteur Chitana/ed Djebs..... 102

Fig.2.34 Colonne lithostratigraphique synthétique de l'Oligocène de la région du Jebel Ech Cheid 103

Fig.2.35 Corrélations des séries néogènes dans la région de Medjez el Bab. OA : Oligo-Aquitanien ; B : Burdigalien ; L : Langhien ; S : Serravalien ; H : Formation d'Hakima ; OM: Formation de l'Oued Meleh ;K: Formation de Kéchabta ; OB :Formation de l'Oued Bel Khedim ; PQ : Plio-Quaternaire; D : Discordance majeure [El Ouardi & Turki,2000]. 106

Fig. 2.36 Photo d'un morceau de bois fossile aux seins de la série Miocène au bord Sud de la structure du J. Ech Cheid..... 108

Fig.2.37 Colonne lithostratigraphique de la série Néogène affleurant au niveau de la région de Draa Kantra au nord-est de la masse principale du Jebel Ech Cheid [Perthuisot,1978b]..... 108

Fig. 2.38 Prises de vue des zones clés de failles inverses et normales du Quaternaire. a et b chevauchement du Trias sur des dépôts quaternaires d'oued En Nahal (flanc sud du J. Ech Cheid) ; c : chevauchement du Trias sur des sédiments quaternaires à l'oued el Ghrof ; d : faille normale aux seins des dépôts quaternaires (a,b reprisent de vue faites par [Dali,1979a] ; d : prise de vue faite par S.Rebaï [1992] d'une faille normale au seins des dépôts quaternaires. 110

Fig. 3.1 Carte de localisation de la zone du J. Ech Cheid et Chitana/ed Djebs et des appareils qui les entourent 116

Fig.3.2 Carte géologique de la région Chitana-ed Djebs[Ben Slama et al.,2009]..... 117

Fig.3.3 Carte géologique de la zone Chitana/ed Djebs et régions voisines [Solignac,1925]..... 119

Fig.3.4 Schéma structural simplifié du secteur du J. Ech Cheid et des zones environnantes (pour plus de détail voir : Fig. 3.1, Fig.4.5, Fig.4.6, et Fig.annexe.27)..... 124

Fig. 3.5 Modèle de formation d'une structure en queue de cheval au Sud de la structure du J. Ech Cheid adapté d'après Ingersoll [1988]..... 127

Fig.3.6 Coupe géologique au niveau de Rag^{bet} el Mahjbia/ H^{ire} el Flouss où X-X'(a, b, c, d voir (Fig. 3.8)) 131

Fig.3.7 Carte géologique du secteur Nord orientale du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (X-X')(légende(Fig.3.9)) 131

Fig. 3.8 Photos prises au niveau de la Fig.3.6 ; a : contact supérieur Aptien/Trias ; b : contact inférieur Trias/Aptien ; d ; charnière de l'anticlinale à cœur d'âge Campanien ; 1 : glauconies ; 2 : tracé virtuel de la faille cartographiable 132

Fig.3.9 Légende commune des cartes géologiques exécutées dans la région du Jebel Ech Cheid..... 133

Fig.3.10Coupe géologique Y-Y' 134

Fig.3.11 Carte géologique de la partie « mâchoire d'alligator» et localisation de la coupe (Y-Y') (légende (Fig.3.9))..... 134

Fig. 3.12 Photos prises au niveau de la Fig.3.10 ; a : contact supérieur Campanien/Trias ; b : Trias\Santonien. 135

Fig.3.13 Coupe géologique Z Z'..... 136

Fig.3.14Carte géologique de la partie médiane de la structure du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (Z-Z') (légende (Fig.3.9))..... 136

Fig. 3.15 Photos prises sur la partie NW de la coupe ZZ' ; 1 : Albien ; 2 : plan de faille ; 3 : Cénomanien ; 4 : Chevauchement Trias/Barrémien 136

Fig. 3.16 Photo d'une petite faille normale synsédimentaire (voir position (Fig.3.17))..... 138

Fig.3.17 Coupe géologique W W' 138

Fig.3.18 Carte géologique de la partie médiane de la structure du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (W-W') (légende (Fig.3.9))..... 138

Fig.3.19 Carte géologique de la partie centrale de la structure du Jebel Ech Cheid et la localisation de la coupe (A-A')(légende(Fig.3.9))..... 140

Fig.3.20 Coupe géologique A A'..... 140

Fig. 3.21 Photos prises au niveau de la (Fig.3.20) et dans ses prolongements latéraux ; a : côté sud, couches cénomaniennes renversés ; b : côte nord, vue panoramique du prolongement latéral de la coupe géologique AA' vers le Sud-ouest montrant l'interstratification du Trias entre 2 séries du Crétacé .. ; c et c' : Trias interstratifié dans des séries du Crétacé , non loin de la photo b ; e : discordance de la série Quaternaire sur l'Oligocène ; e' : montre l'épaisseur de la croute Quaternaire ; f : vue panoramique à proximité de l'oued Aleg (prolongement vers le Nord-est de la coupe géologique AA') : il s'agit d'une discordance angulaire du Quaternaire sur l'Oligocène ; g et g' : photos montrant du Trias dissocié dans la série barrémienne (Nord-est oued el Aleg) ; h : petite faille normale synsédimentaire (Oligocène). 141

Fig.3.22 Carte géologique de la partie méridionale de la structure du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (B-B') (légende (Fig.3.9))..... 144

Fig.3.23 Coupe géologique synthétique BB'..... 144

Fig. 3.24 Photos prises au niveau de la Fig.3.23 ; a : petite faille normale synsédimentaire dans l'Albien ; b : fermeture de l'anticlinal à cœur aptien ; petites failles normales au sein de la série aptienne ; d : les deux géologues sont sur la une série campanienne ; e : remaniement de débris triasiques au sein de banc de calcaire éocène ; f, g et h détail du niveau conglomératique de la base de l'Eocène supérieur riche en débris triasiques. 145

Fig.3.25 Coupe géologique Y-Y' au niveau du Jebel Chitana (le tracé de la coupe est indiqué dans la (Fig.3.2))..... 146

Fig. 3.26 Photo correspondant à la partie SE de la Fig.3.27 147

Fig.3.27Coupe géologique X-X' au pied Nord-ouest du Jebel ed Djebs (le tracé de la coupe est indiqué dans la (Fig.3.2)) 147

Fig.3.28 Coupe géologique Z-Z 'effectué au Sud du Jebel Sene ed Jemel 148

Fig. 3.29 Photos prises au niveau de la Fig.3.28 ; a : vue panoramique du J. Tellet Mabrouka ; 1 et 2: vue de près du contact ravinant Trias/encaissant ; lame du matériel triasique re-sédimenté dans les dépôts de l'Albien et montrant une couverture campanienne ; 3 et 4 détail de la photo b ; c : discordance sédimentaire des dépôts oligocène sur du matériel triasique à proximité d'oued Sene ed Jemel ; d : discordance angulaire des calcaires de l'Eocène moyen à supérieur sur des dépôts albiens. 149

Fig.4.1 Coupe gravimétrique et un modèle de direction NW SE traversant la structure du Jebel Ech Cheid : redessiné d'après I. Hamdi-Nasr et al. [2009]. 154

Fig.4.2 Les stades évolutifs de l'appareil du Jebel Ech Cheid d'après I. Hamdi-Nasr et al. [2009]..... 155

Fig.4.3 Carte gravimétrique de la structure du Jebel Ech Cheid à gauche d'après J.M. Vila et al. [2002], à droite d'après l'O.N.M. 156

Fig.4.4 Localisation des profils sismiques utilisés dans l'interprétation sismique..... 157

Fig.4.5 Coupe géologique dans l'aval de l'oued Aleg..... 158

Fig. 4.6 Vue prise au niveau de la (Fig.4.5) en regardant vers le Nord-ouest. 159

Fig.4.7 Profil sismique B1 interprété dans ce travail 161

Fig.4.8 Profil sismique A1 interprété dans ce travail 162

Fig.4.9 Profil sismique A2 interprété dans ce travail 163

Fig.5.1 Essai de modélisation de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid A : passage latéral d'un *rollover* synthétique à un *rollover* antithétique inspiré de Mauduit & Brun [1998], B : extension synrift avec la création d'un monoclinal de drapage au-dessus d'une faille normale basale, C : cinématique de la future structure du Jebel Ech Cheid en B d'après Jackson & Vendeville, [1994]. 169

Fig.5.2 Restauration hypothétique de l'évolution de la masse triasique pendant l'Albien, inspirée de Talbot [1993] et de Hudec & Jackson [2006]. 170

Fig.5.3 Encadré montrant les équations de calcul du taux d'extrusion de la structure de Qum Kuh en Iran [Talbot & Aftabi,2004] 171

Fig.5.4 Croquis 3D des structures salifères Kuh-e-Namak et Kuh-e-Darang [Talbot & Jarvis,1984] 175

Fig. 6.1 Essai de modélisation de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid A : passage latéral d'un *rollover* synthétique à un *rollover* antithétique inspiré de Mauduit & Brun [1998], B : extension synrift avec la création d'un monoclinal de drapage au-dessus d'une faille normale basale, C : cinématique de la future structure du Jebel Ech Cheid en B d'après Jackson & Vendeville [1994]. 181

Fig.6.2 Scénario de mise en place du « glacier de sel » du J. Ech Cheid d'après les données fournies dans ce travail et inspiré depuis Vila et al [1996]. a : stade de resédimentation aux cours du Barrémien ; b : stade de remobilisation aux cours du Barrémien/Aptien ; c : stade Aptien/Albien ou on assiste au maximum d'épanchement du matériel salifère ; d : état actuelle après les phases compressives tertiaires et quaternaires. 182

Liste des tableaux

Tableau. 2.1 Densité moyenne des roches triasique d'apès Japan & Metal mining [2001]..... 58

Tableau. 2.2 Essai de corrélation des séries néogènes de la Tunisie septentrionale [Bel Haj et al.,1998]..... 106

Tableau. 2.3 Sommaire des contacts « sédimentaires » observé sur terrain dans la région du Jebel Ech Cheid 112

Tableau. 2.4 Sommaire des contacts « sédimentaires » observé sur terrain dans la région de Testour/Slouguia 113

Tableau. 5.1 Données récoltées depuis les cartes isopach, forages et données de terrain. 172

Tableau. 5.2 les différents paramètres utilisés. 173

Tableau. 5.3 Comparaison des vitesses d'épanchement de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid et quelques corps salifère en Tunisie et dans le monde (voir références dans le paragraphe qui suit). 174

Tableau. 6.1 Répartition géographique et chronologiques des épisodes d'épanchement du matériel salifère (J. Ech Cheid). 179

Liste des figures annexes

Fig. annexe. 1 Profil géologique passant par les forages MJTKL2 [Japan & Metal mining,2001] 209

Fig. annexe. 2 Représentation lithostratigraphique du forage MJTKL2..... 210

Fig. annexe. 3 Profile géologique passant par les forages MJTKL5 [Japan & Metal mining,2001] 211

Fig. annexe. 4 Représentation lithostratigraphique du forage MJTKL5..... 212

Fig. annexe. 5 Profil géologique passant par les forages MJTKC1 [Japan & Metal mining,2001]..... 213

Fig. annexe. 6 séries lithostratigraphique du forage MJTK-C1 214

Fig. annexe. 7Profil géologique passant par le forage MJTK-L4 [Japan & Metal mining,2001]..... 215

Fig. annexe. 8 Profil géologique passant par les forages MJTK-C2 [Japan & Metal mining,2001]..... 216

Fig. annexe. 9 Profil géologique passant par le forage MJTK-A1 [Japan & Metal mining,2001] 216

Fig. annexe. 10 Profil géologique passant par les forages SA1 et SA3 (d'après un rapport inédit O.N.M. in [Perthuisot,1978b] 217

Fig. annexe. 11Colonne lithostratigraphique du forage SA1 (d'après un rapport inédit O.N.M. in [Hammami et al.,2001] 218

Fig. annexe. 12 Colonne lithostratigraphique du forage SA2 (d'après un rapport inédit O.N.M.) 219

Fig. annexe. 13 Profile géologique du forage SA4 (d'après un rapport inédit O.N.M. in [Perthuisot,1978b] 220

Fig. annexe. 14 Colonne lithostratigraphique du forage SA4 (d'après un rapport inédit O.N.M.) 221

Fig. annexe. 15Deux interprétations des résultats du sondage SA5 de I'O.N.M. [Perthuisot,1978b]..... 222

Fig. annexe. 16 Colonne lithostratigraphique du forage SA5 (d'après un rapport inédit O.N.M.) 223

Fig. annexe. 17 Carte de localisation des forages MJTK-L1, L2, L3, L4 et L5 224

Fig. annexe. 18 Carte de localisation des forages SA1, SA2, SA3, SA4 et SA5 refaite d'après [Madon & Nouvel,1973] 224

Fig. annexe. 19 Carte de localisation des forages MJTK-C1 et C2 224

Fig. annexe. 20 Carte de localisation des forages MJTK-A1 224

Fig. annexe. 21 Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des séries aptiennes Fig.2.15 p.77 225

Fig. annexe. 22Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des séries albiennes Fig.2.19 p83 227

Fig. annexe. 23Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des dépôts du Cénomanien/Turonien/Coniacien Fig.2.22 p89 228

Fig. annexe. 24Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des dépôts du Sénonien Fig.2.26 p94 229

Fig. annexe. 25 Photo prises dans des endroits-clés ; 1 : remaniement de matériel triasiques dans les marno-calcaires du Barrémien près du Azem Assoud ; 2 : Synclinal à cœur d'Eocène dans l'oued Bou Kralfa ; 3 : petites fractures à jeu normal dans la série albienne à proximité du Jebel Asoued ; 4 : Remaniement de boules grises albiennes micritiques à foraminifères pélagiques dans des sédiments silicoclastiques (oued el Ledema) ; 5 : Remaniement d'éléments triasique dans les calcaires Albien (oued Khémis) ; 6 : Chevauchement à vergence Sud-est affectant la série albienne à proximité de l'oued Siliana au Nord-est de la structure du J. Ech Cheid ; 7 : Faille normale scellée dans les dépôts albiens à proximité de l'oued Siliana au nord-est du J. Ech Cheid ; 8 : Olistrostrome dans la série albienne à l'est du Jebel el Asoud 231

Fig. annexe. 26 Photos prises dans des endroits-clés (suite) ; 9 : Failles normales conjuguées synsédimentaires dans la série turono-coniacienne du Jebel El Akhouat ; 10 : Faille normale scellée dans le Campanien (au Sud-ouest de Gafour) ; 11 : Plan de faille montrant deux générations de stries : la 1ère génération a joué en mouvement vertical et la deuxième en mouvement décrochant (dans la série campanienne) ; 12 : Faille normale scellée dans la série maastrichtienne dans l'oued el Haj Mohammed ; 13 : Chevauchement du Trias sur des sédiments tertiaire (secteur Kat Safra (flanc Sud de la structure salifère) ; 14 : Microplis et formes de glissement gravitaire enregistrés dans les séries triasiques (flanc Sud du Jebel Ech Cheid (secteur Si Abd el Kader) ; 15 : Morceaux de carottes au voisinage de l'emplacement du forage minier MJTKC1 ; 16 : Photo des carottes du forage minier MJTKL5 (l'emplacement des fiches blanches =. l'endroit des échantillons) 234

Fig. annexe. 27 Nouvelle carte géologique du secteur d'étude au 1 : 50 000 (voir planche cartonnée) 234

Fig. annexe. 28 Légende commune des cartes géologiques exécutées dans la région du J. Ech Cheid (voir bristol dans l'enveloppe) 234

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GENERALE

ET ETAT DU DOSSIER

Introduction générale

La marge Sud-téthysienne du Nord-Est du Maghreb, offre des exemples très spectaculaires de structures salifères à épanchement gravitaire synsédimentaire du Crétacé inférieur ou plus tardives. Notre présent travail porte sur deux structures salifères appartenant à la province salifère de la Tunisie du Nord. Il s'agit de la structure du Jebel Ech Cheid et de la structure de Chitana-ed Djebs.

La complexité des structures salifères en Tunisie du Nord, rend difficile l'interprétation structurale en se basant uniquement sur les données de terrain.

On essaye ici d'intégrer plusieurs disciplines de la géologie : biostratigraphie, sédimontologie analyse structurale, cartographie, sismique réflexion, gravimétrie et données de forages miniers et pétroliers.

Après une présentation de l'historique et l'évolution des idées concernant le concept d'halocinèse et les mécanismes de mise en place des masses triasiques, nous avons scindé la thèse en cinq chapitres. Le premier est consacré aux généralités ; dans le deuxième, nous avons détaillé les séries lithostratigraphiques dans différents lieux clés des structures ; le troisième est consacré à l'analyse structurale ; le quatrième chapitre est consacré à l'étude des données géophysique ; dans le cinquième on présente les modèles hypothétiques proposés, un essai de modélisation des structures étudiées et enfin une conclusion générale.

2. Les structures salifères

Évolution des idées, leurs significations, origines et devenirs en rapport avec la superposition des phases tectoniques

La mobilisation des dépôts de sel dans les bassins sédimentaires est surtout conditionnée par les mouvements tectoniques. Les structures salifères décrites dans la littérature ancienne sont essentiellement interprétées comme le résultat de mouvements verticaux. Depuis plus de trois décennies l'idée des épanchements latéraux du sel commence à avoir de l'importance.

2.1.Mise en place du matériel salifère

...extending salt basins typically develop salt structures; non extended salt basins typicaIly do not [Jackson & Vendeville,1994].

La mobilité du matériel salifère forme un ensemble riche en facteurs, marqueurs et signes enregistrée dans les sédiments post-triasiques. En effet, les masses de sel jouent un rôle important dans la structuration des bassins sédimentaires.

Le complexe salifère est considéré comme un facteur moteur dans la structuration des bassins sédimentaires; son importance nous amène à étudier et à comparer les différentes hypothèses de mise en place du matériel salifère.

Vu leurs intérêts académiques, minier et pétrolier, les roches salifères jouent un rôle de lubrifiant dans la genèse des structures géologiques dans les bassins salifères des marges passives et même actives. Selon l'évolution des masses salifères dans les bassins sédimentaires on aboutit à la genèse de plusieurs types de structures salifères tel que les diapirs, les dômes de sel, les semelles de nappes, les dômes de sel-plis, les «glaciers» de sel, ainsi que leur dérivés tel que le sel allochtone, les feuilles de sel, dais de sel ...[Jackson,1995].

2.1.1. Les bassins salifères contenant des corps de sel

2.1.1.1. Les appareils salifères à mouvements verticaux du sel

Les principaux types d'appareils à évolution verticale se sont les diapirs, les dômes et les murs de sel (Fig.1.1, Fig. 1.2, Fig.1.3 et Fig.1.4).

Ville [1856] a été le premier qui a décrit pour la première fois le terme « dôme » et interprète sa mise en place comme résultat d'une intrusion forcée.

Le premier schéma interprétatif d'un pli-diapir a été dessiné par Posepny [1871] (Fig.1.1). La définition du terme « diapir » a été introduite par Mrazec [1907]. Il montre que les diapirs sont le résultat d'un exhaussement en force suivi d'un renversement de leurs couvertures (Fig. 1.2).

La mise en place des dômes de sel a été interprétée comme une évolution uniquement gravitaire et autonome en dehors de toute intervention de la tectonique [Jackson & Vendeville,1994] et ceci à l'image de l'expérience admise en mécanique des fluides appelé «instabilités de Rayleigh-Taylor » c'est le cas des diapirs actifs [Talbot & Jackson,1987].

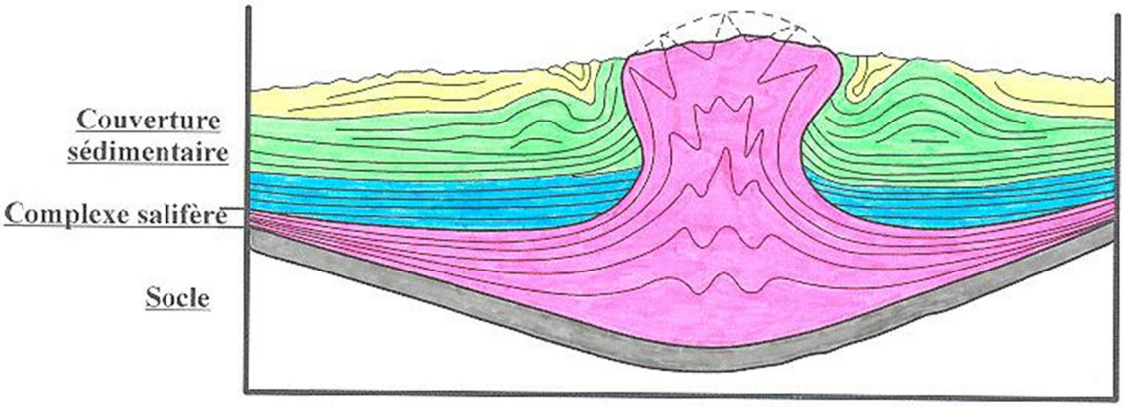


Fig.1.1 Une des premières interprétations d'un pli-diapir redessinée d'après le schéma original de Posepny [1871].

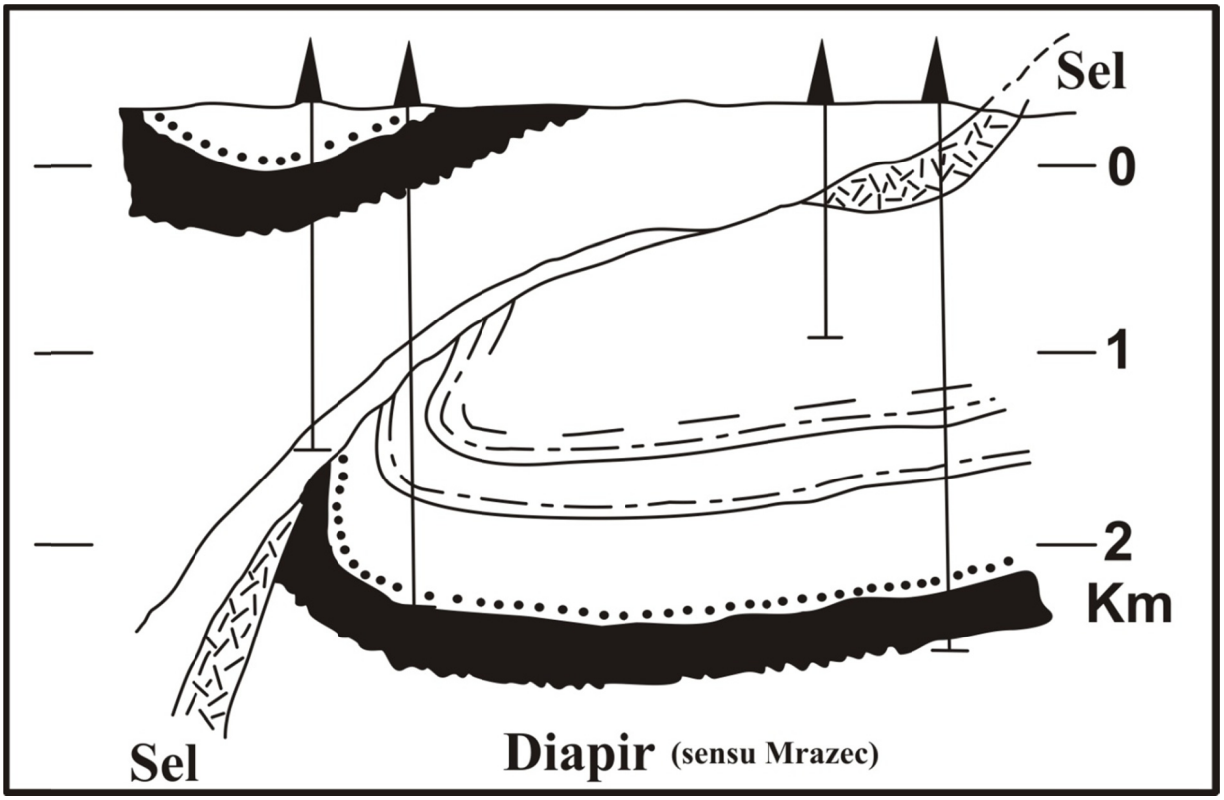


Fig. 1.2 Le pli diapir au sens de Mrazec [1907] : Magurelle : champs pétrolier de Ploiesti, avant-pays carpathique, Roumanie, *in* Vila [1997].

Mrazec [1907] utilisait le terme de diapir pour tout style éjectif dysharmonique et affirmait que le diapirisme ne se manifeste que dans des régions plissées ce qui était le cas en Roumanie. Les études des appareils salifères effectuées par Jackson et al [1990] ; Jackson & Talbot [1991b] ; Vendeville & Jackson [1992] ; Jackson & Vendeville [1994] ; Jackson et al. [1994] dans les dernières décennies ajoutent le terme « diapir » pour nommer les formes en champignons formé en régime extensif appelé « dôme » de sel au sens de [Ziegler,1983, 1989, Baldschuhn *et al.*,1991, Vila,1995, 1997, 2000].

Les diapirs extensifs peuvent évoluer pour donner une forme en champignon. Ce type de formes peut s'épancher latéralement pour donner naissance à un « glacier » de sel [Vendeville & Jackson,1992, Jackson *et al.*,1994, Ghanmi,2003, Ben Slama *et al.*,2006, Ghanmi *et al.*,2006b].

Le mécanisme de mise en place des structures salifères, formées dans un régime extensif génère plusieurs structures et corps salifères notamment les dômes de sel, les « glaciers de sel » et toutes leurs dérivées à épanchements latéraux. Elles ont été étudiées et illustré dans plusieurs provinces salifères à travers le monde [Jackson & Talbot,1991b, Vendeville & Jackson,1992, Jackson et al.,1994] (Fig.1.4 et Fig.1.6).

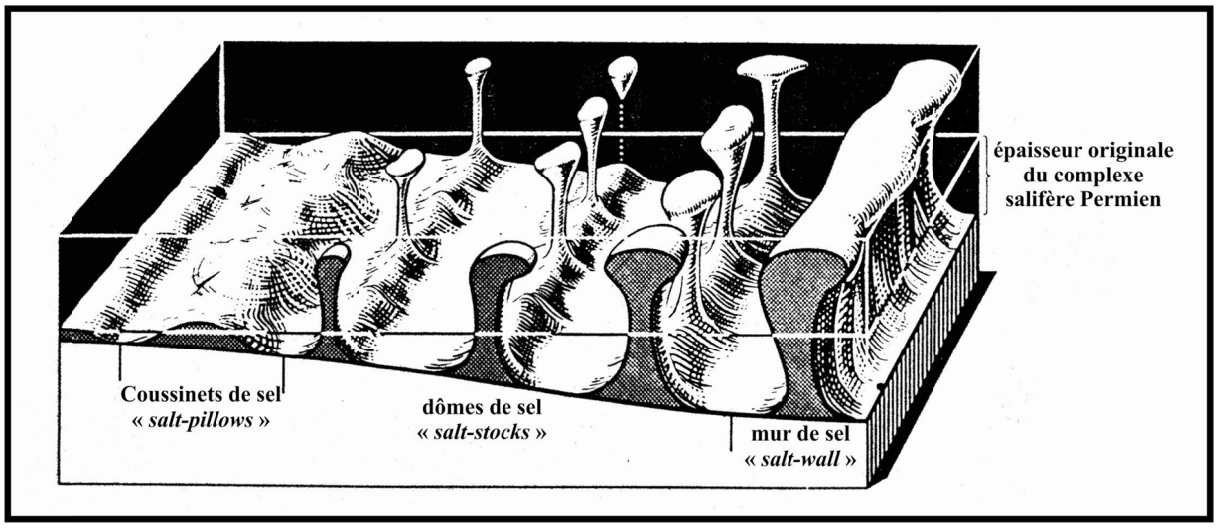


Fig.1.3 Relation entre les types de structures salifère et l'épaisseur originelle du complexe salifère du Permien d'Allemagne (on note que l'épaisseur de la racine croit en allons de gauche à droite = halosinèse selon Trusheim[1960].

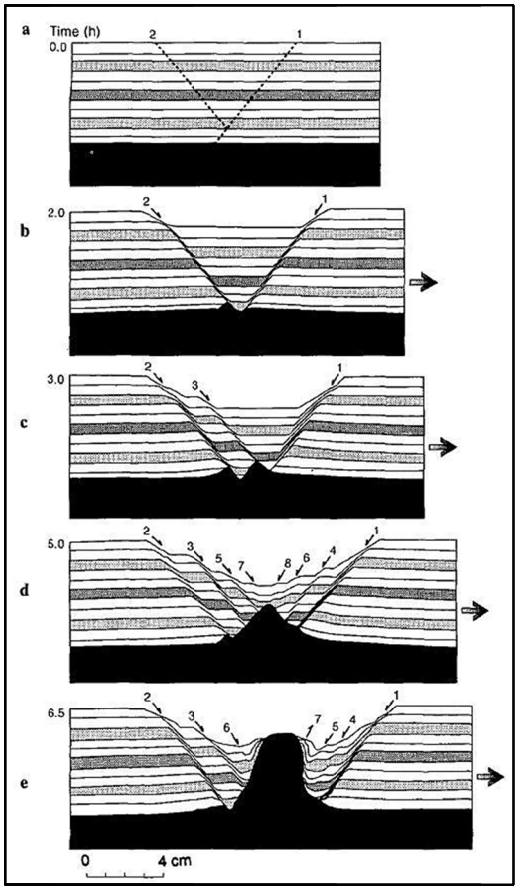


Fig.1.4 Modélisation analogique de la croissance d'un diapir par réaction à l'extension (*Reactive diapirism*) lors d'une extenssion. Quatre coupes pour des taux d'extension croissants [Vendeville & Jackson,1992] (on note que ce modele suppose l'arrêt de la sédimentation)

2.1.1.2 Les appareils salifères à expanssions latérales

L'évolution des techniques d'imagerie sismique, la multiplication des forages pétroliers, le développement de l'informatique et de la modélisation analogique ont permis de découvrir les différentes formes prises par le matériel salifère dans les bassins sédimentaires des marges passives. À savoir les extrusions latérales du sel donnant naissance à une multitude de formes construites par les masses de sel, tel que : les « glaciers » de sel, les sels allochtones, les langues de sel , les dais de sel, les fontaines de sel... en effet, on ne peut pas négliger le rôle promoteur de la tectonique de socle et de couverture dans la dynamique du bassin salifère et ceci dans une marge passive.

Dans la marge passive angolaise a été découvert pour la première fois le rôle moteur et lubrifiant du sel dans l'évolution cinématique de la charge sédimentaire de couverture. « *Nous avons voulu attirer l'attention sur la tectonique en radeaux, véritables nappes glissant*

sur le sel, dans un secteur où aucune compression ne peut intervenir »[Burollet,1975] (Fig.1.5). La mise en évidence de la « tectonique en radeaux » a enrichi les concepts de la tectonique salifère.

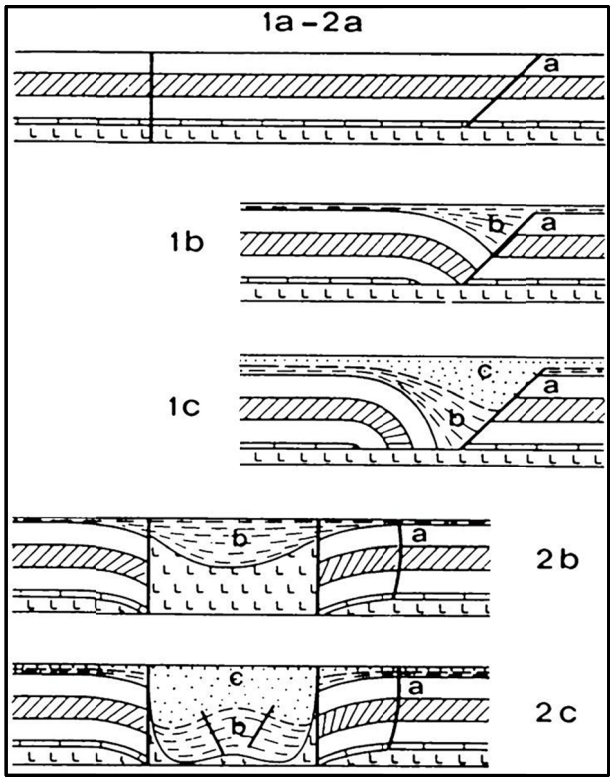


Fig.1.5 Schémas montant la progression de la « Tectonique en radeau » [Burollet,1975]

De plus, la mise en affleurement d'une multitude de formes et de mécanismes de mise en place des appareils salifères dans plusieurs marges passives à dépôts salifères, par exemple,

les carapaces de tortues sont le produit de la tectonique distensive et le glissement est assuré par le complexe salifère (Fig.1.6 et 1.7).

2.1.1.3. Les structures à déplacement de couvertures : typologie simplifiée

Les corps allochtones en tectonique salifère sont généralement des « glaciers » de sel, des *salt canopies* ou des dais de sel, des « feuilles » de sel. Ils se développent généralement à partir des dômes, diapirs de sel et murs de sel.

Une typologie simplifiée a été proposée en Allemagne dans le bassin de Zechstein [Trusheim,1960] (Fig.1.3). Une autre typologie a été développée par Jackson & Talbot [1994] dans le bassin persique (Fig.1.8).

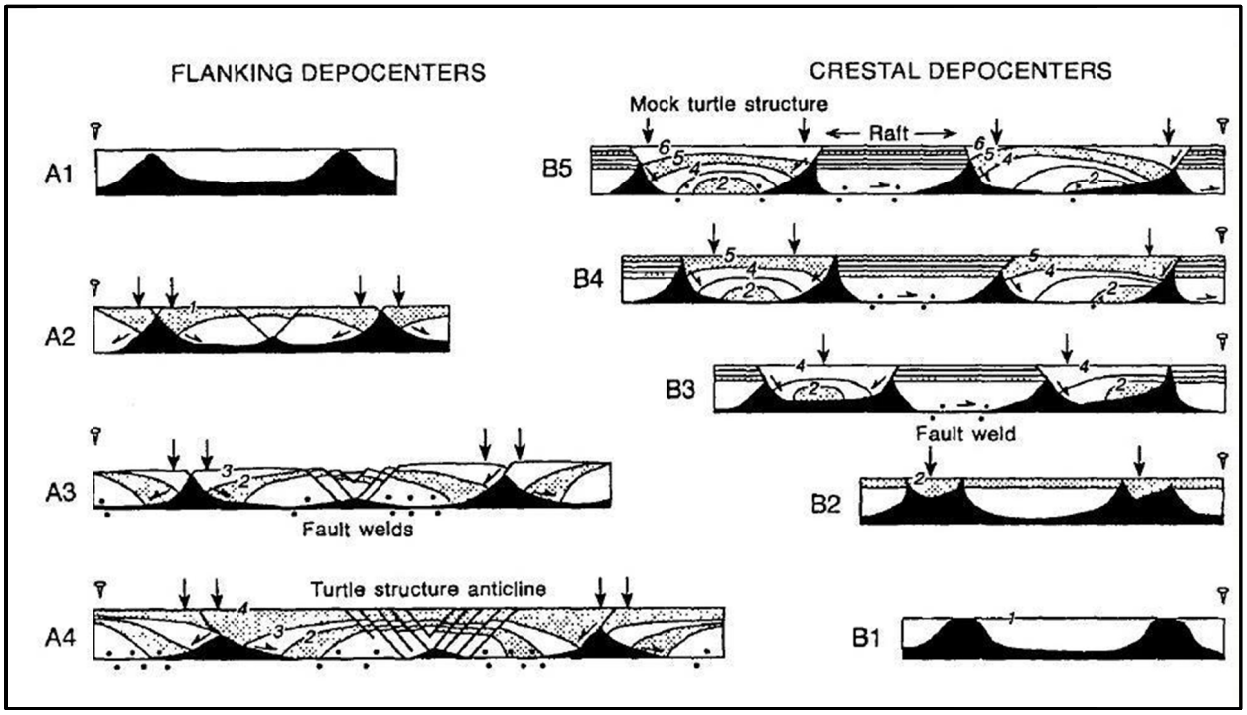


Fig.1.6 Formation d'anticlinaux en carapace de tortue (AI-A4) et formation des structures en carapace de tortue associé à des structures en radeau (B1-B4). Les flèches verticales indiquent la position des dépocentres extensionnels créés par l'échappement de la masse salifère mère vers le haut Jackson et al [1994].

2.1.1.4. Exemples de corps salifères à épanchements latéraux

Le schéma (Fig.1.10) reproduit d'après [Krézsek *et al.*,2007] présente des exemples naturels de marges passives contenant des dépôts salifères illustrant les principaux domaines cinématiques

Dans tous les cas le sel est représenté en noir, et le substratum n"est pas indiqué. La plupart des marges indiquent un stade précoce de la tectonique salifère caractérisée par

l'extension vers amont et un raccourcissement vers le bassin (le plus souvent il s'agit un épaississement de la masse de sel).

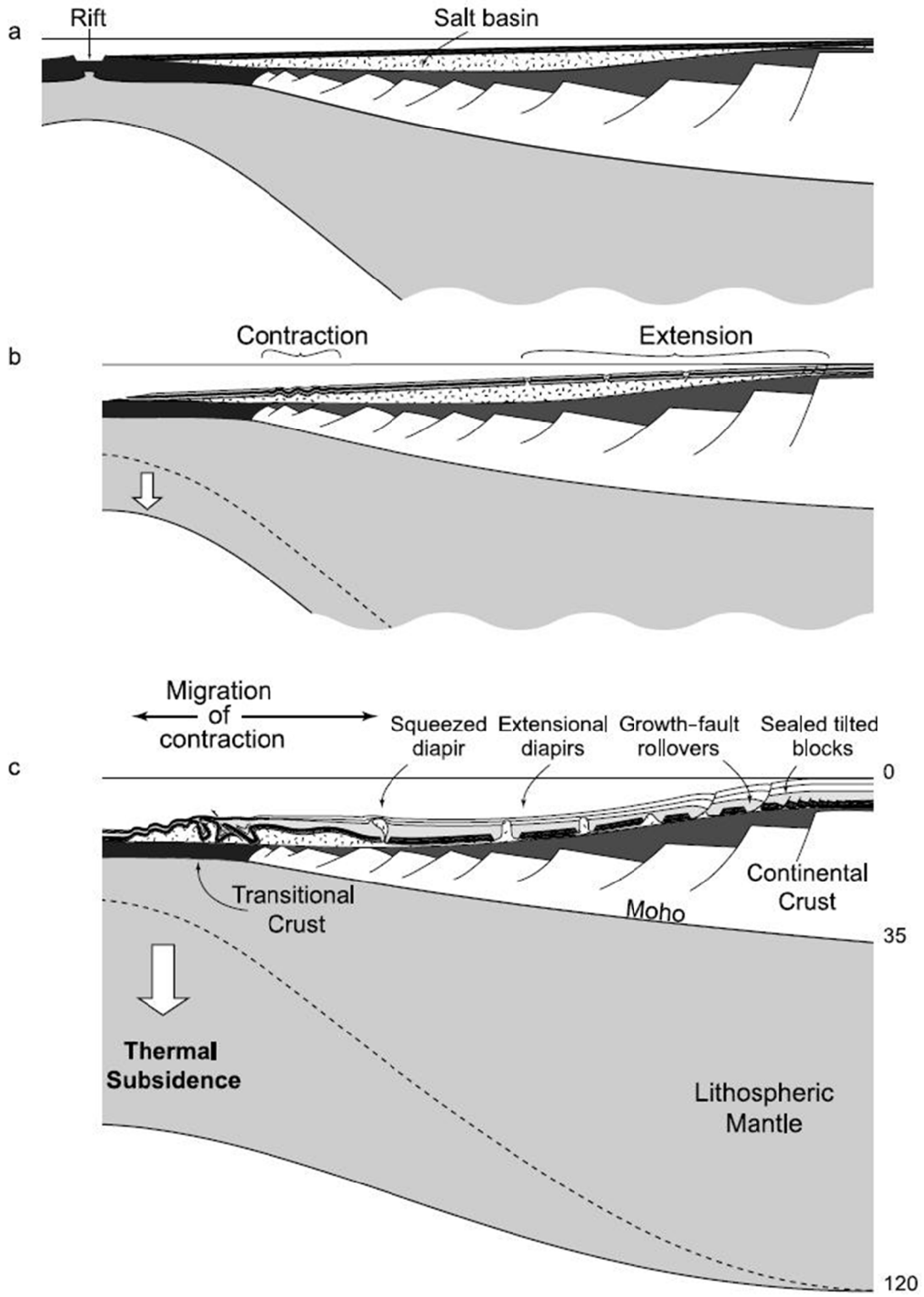


Fig. 1.7 Modèle évolutif d'épanchement gravitaire du sel dans un contexte tectonique d'une marge passive et à l'échelle lithosphérique [Fort *et al.*,2004] , on souligne l'évolution des différents structures salifères sur un substratum fracturé.

Le début de la compression se manifeste par le plissement des couches profondes du bassin, ceci n'est évident que sur les marges d'Angola, du Maroc et du Brésil. Le domaine d'extension est caractérisé essentiellement par des failles de croissance listriques vers le bassin et des *rollover systems* au Congo (a) [Fort et al.,2004], Scotian/Sable (c) [Wade & Maclean,1990] et le bassin du Campos (f) [Guardado *et al.*,1989, Cainelli & Mohriak,1999]. Vers le haut de la pente se présentent des failles de croissance listriques et des *rollover systems* prévalents dans le nord du bassin de Santos (e) [Modica & Brush,2004]. Les diapirs passifs prédominent dans le bassin de Scotian/Shelburne (b) [Keen *et al.*,1991] et le bassin d'Essaouira (d) [Tari & Molnar,2006].

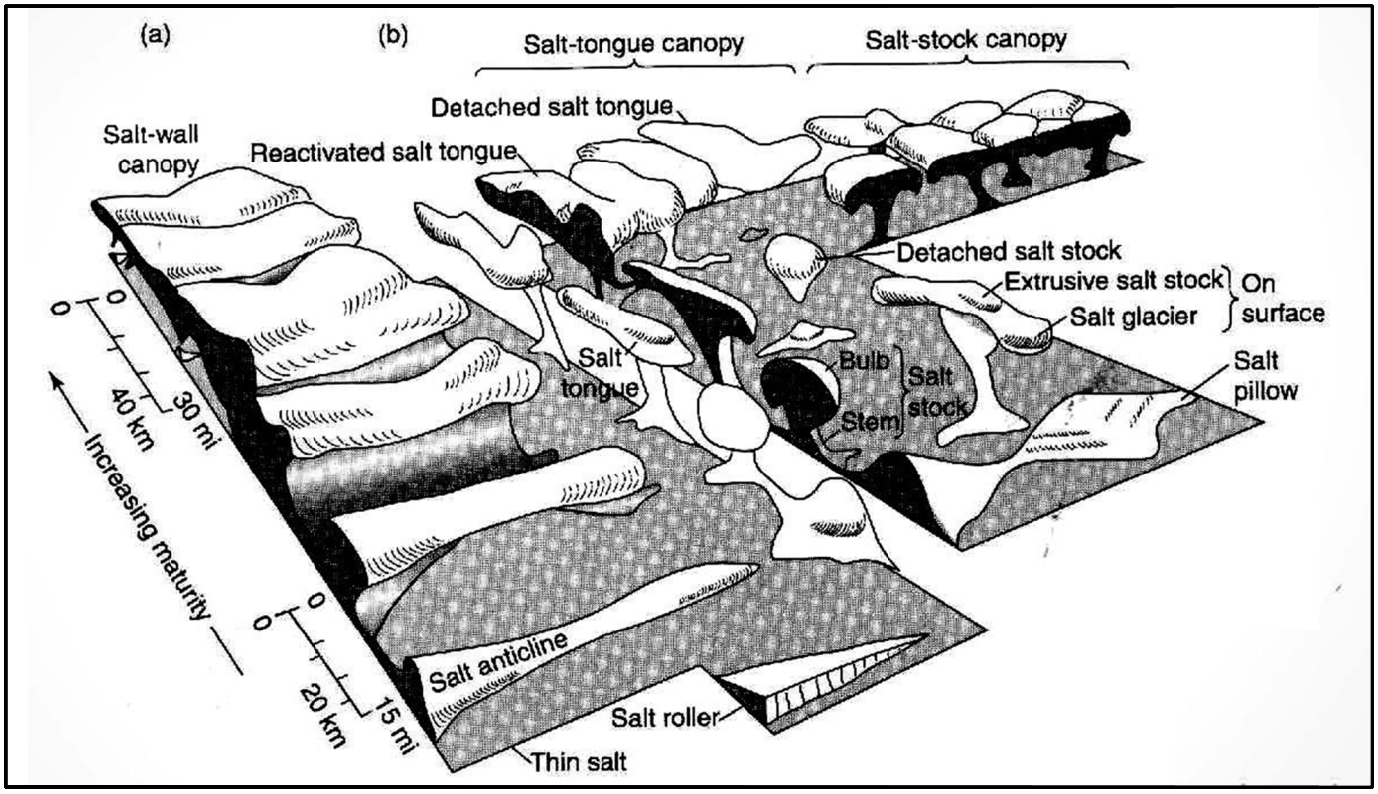


Fig.1.8 Typologie des structures salifère dans le bassin persique Jackson & Talbot [1994].

L'évolution cinématique d'une structure salifère est principalement contrôlée par le taux de sédimentation ainsi que par la tectonique. Un schéma récapitulatif a été proposé par Letouzey et Cramez (1988) ; Il résume l'évolution du matériel ductile dans un bassin sédimentaire que ce soit dans un régime compressif, extensif ou stable (Fig.1.11).

De plus, une animation d'une série de photographies prises lors de la déformation d'un modèle physique qui illustre comment voir l'état initial d'un diapir initié lors de l'extension régionale dans une marge passive et pourrait ensuite être déformée par le raccourcissement régional [Guglielmo *et al.*,1998, 2000] (Fig. 1.9).

Ce scénario a été proposé pour la mer rouge-yemenite [Heaton *et al.*,1996], le bassin de Kawanza [Duval *et al.*,1993], le bassin du Nordkapp [Nilsen *et al.*,1995], et peut être appliquée au bassin de la mer du Nord et à l'aval de la pente du golfe du Mexique [Vendeville & Nilsen,1995].

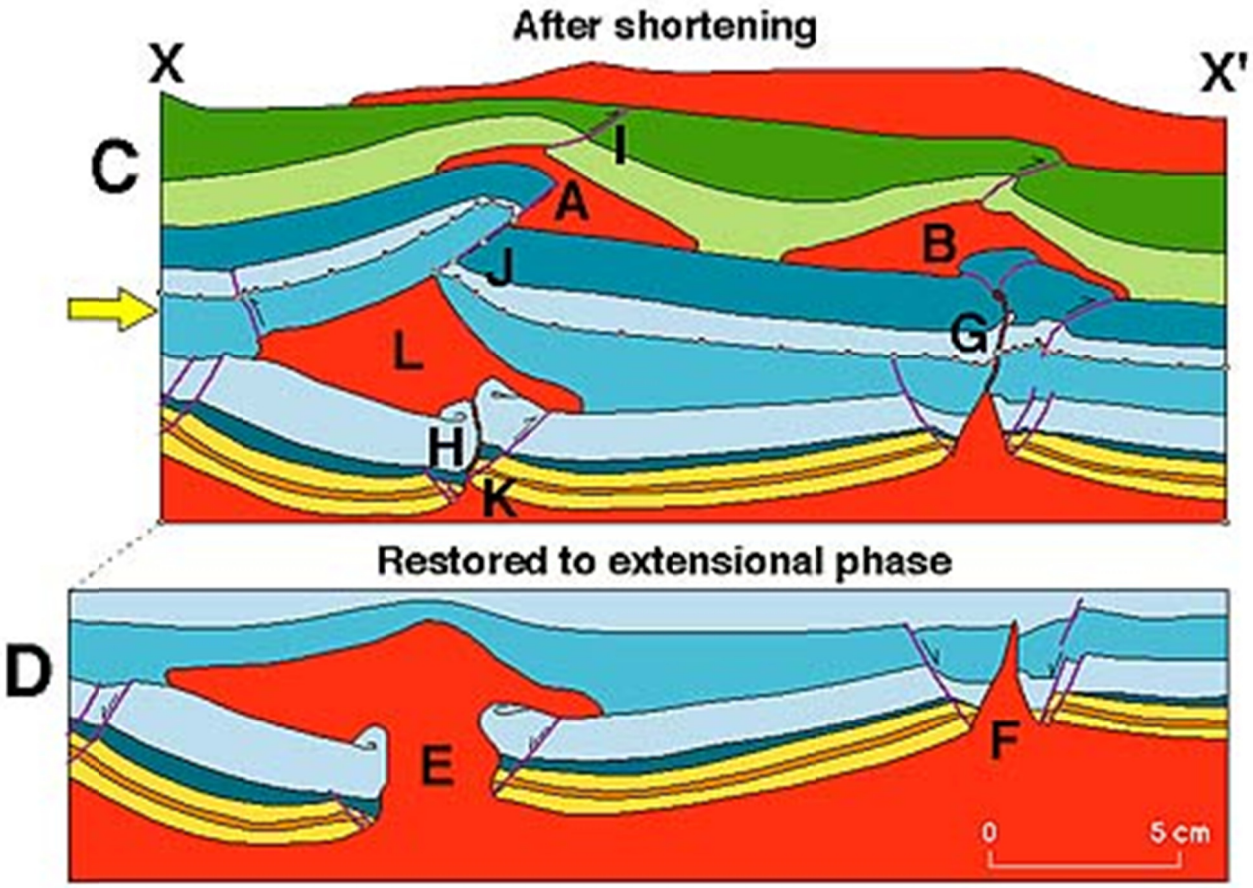


Fig. 1.9 La section a été tracée à partir d'une tranche de modèle à la fin de la déformation (C) a été reconstruit (D) pour montrer à l'ouest (E) et et dans la partie centrale (F) les diapirs pendant la phase d'extension (phase 2) (le sel est représenté en rouge) (voir http://www.beg.utexas.edu/indassoc/agl/animations / AGL98-MM-006/index.html.) [Guglielmo et al.,1998, 2000].

.

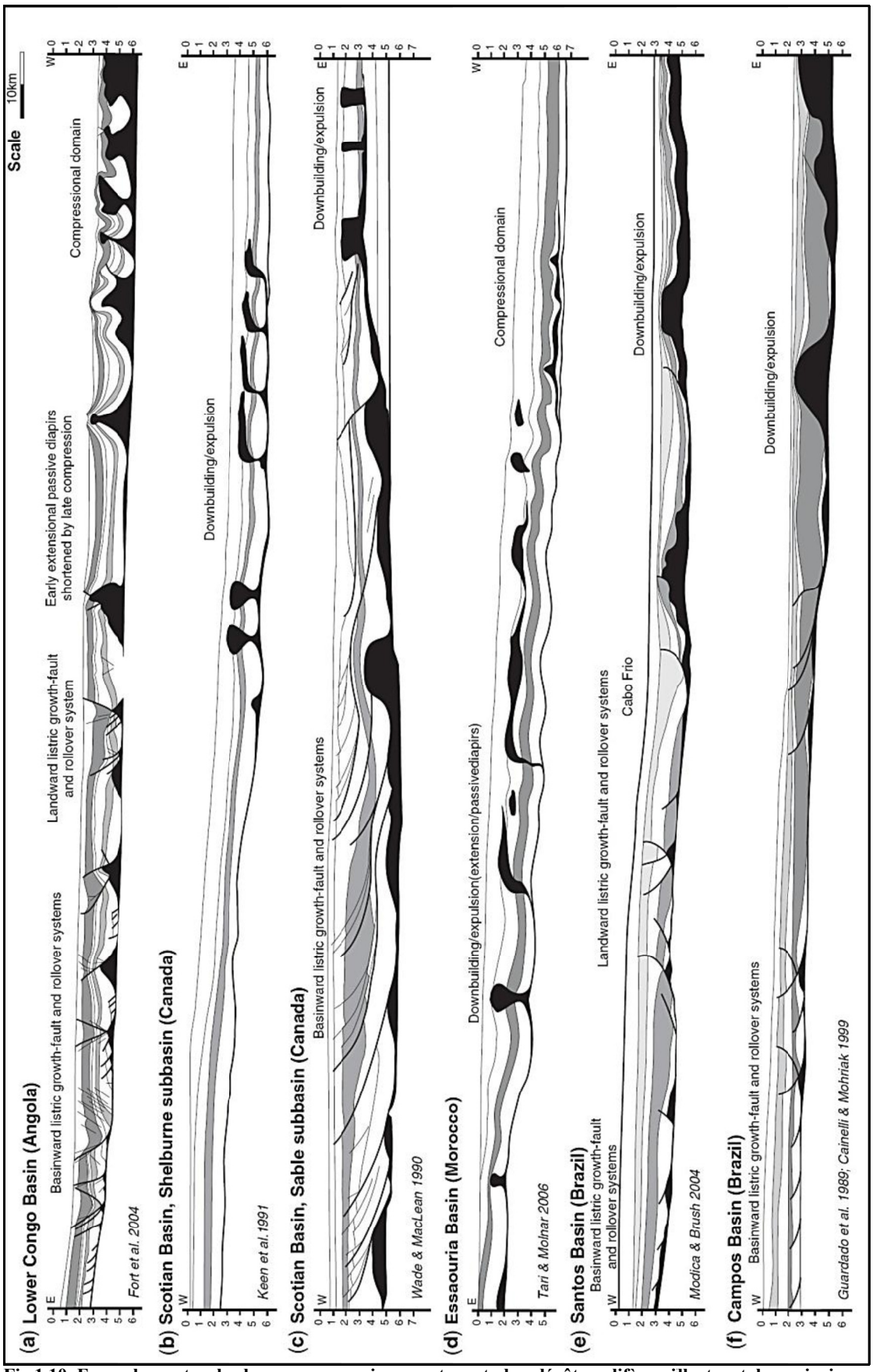


Fig.1.10 Exemples naturels de marges passives contenant des dépôts salifères illustrant les principaux domaines cinématiques. Dessins au trait schématique des sections sismiques (a) Angola offshore (b, c) Canada atlantique (d) au large du Maroc et (e, f) au large du Brésil; la profondeur est en secondes/temps double (*seconds two-way time*) d'après [Krézsek et al.,2007]

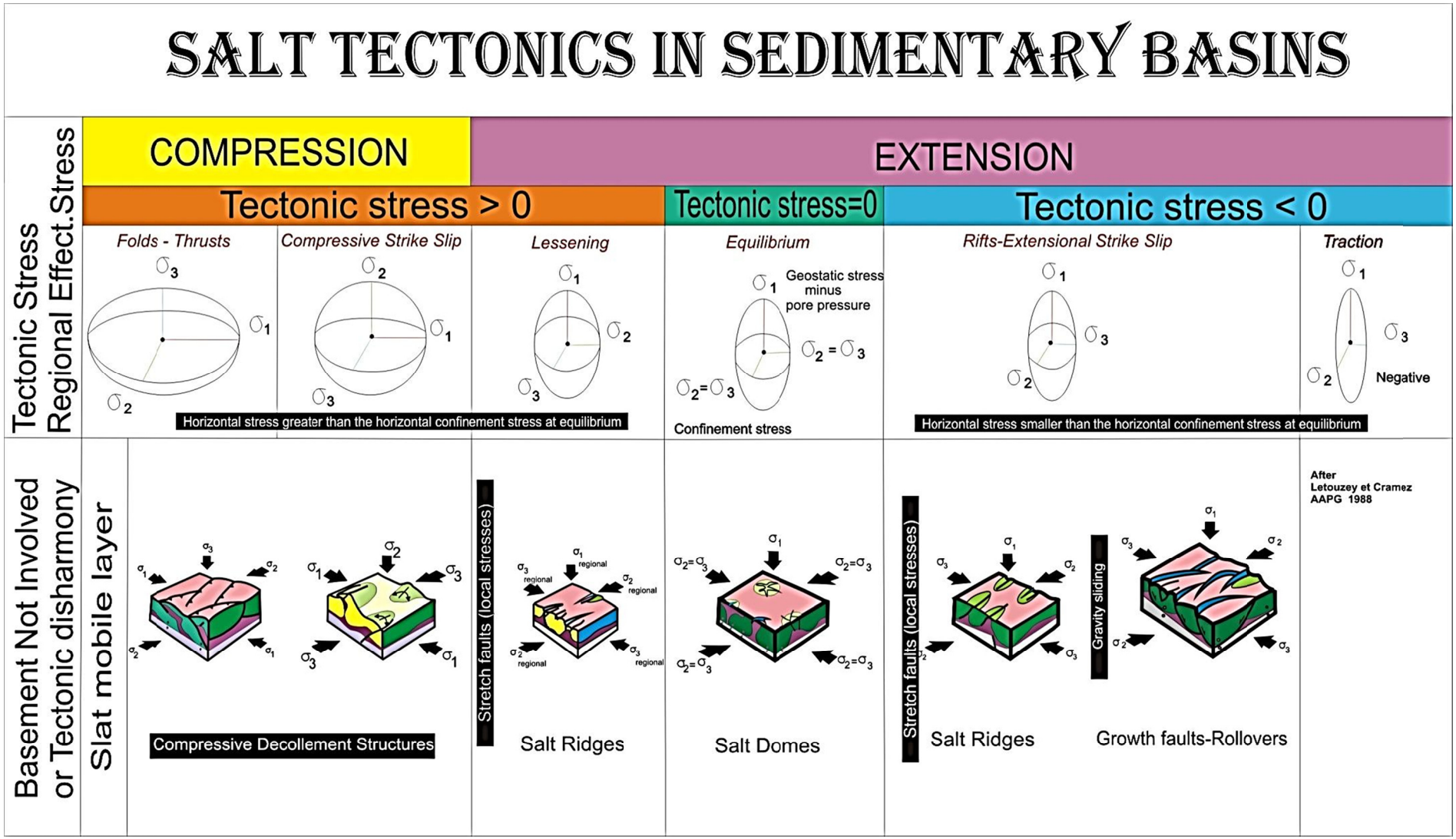


Fig.1.11 Tableau récapitulative des mouvements cinématiques des masses de sel dans les bassins sédimentaires figurés dans différents contexte tectoniques, redessiné d'après [Letouzey et Cramez 1988]

2.1.2. Les bassins salifères sans structures salifères

Il existe plusieurs provinces salifères à travers le monde contenant des dépôts salifères à savoir, les épaisseurs des masses de sel observé constituent le maximum connu [Jackson & Vendeville,1994] alors qu'ils ne comprennent pas des structures salifères, par exemple :

Le bassin de Williston avec 1 km d'épaisseur pour les masses de sel [Peterson,1988], le bassin de Mid Continent (1 km d'épaisseur pour les masses de sel d'âge Permien supérieur et 1 km d'épaisseur pour les masses de sel d'âge Permien inférieur [Johnson *et al.*,1988], le bassin du plateau de Colorado les masses salifères sont d'âge Permien; les bassins dévoniens de Russie (Baltique, Novgorod et Ukraine), le bassin dévonien de l'Ouest Canadien, le bassin de Michigan (0.4 km d'épaisseur des masses de sel d'âge Silurien/Dévonien [Fisher *et al.*,1988], le bassin carbonifère du Spitzberg, les bassins carbonifères de la basse Amazone et de Pedro del Fogo, en Amérique du Sud. La plus part de ces provinces salifères sont continentales. Elles ont les éléments nécessaires pour faire naître les structures salifères.

L'existence de ces bassins salifères sans accumulations anormales de sel nous permet de mettre en cause les théories qui exigeraient que l'halocinèse se développe d'une manière spontanée avec pour seule cause d'un gradient de densité inverse.

En effet, le facteur manquant et qui favorise la formation des structures salifères dans ces provinces : c'est <u>la tectonique transtensive</u> ajouté au facteur principale (pression, température) permettant au matèriel salifère de se transformer en matériel ductile et de s'échapper ultérieurement vers le haut. En revanche, elle est présente dans les marges passives.

3. Problématique de la thèse

Le but de ce travail, est d'abord d'essayer de répondre à la question : quel sont les causes de la mobilité du matériel salifère. L'instabilité des masses salifères résulte-t-elle d'une évolution syn-rift entretenue ou non par divers mécanismes tectoniques extensif provoquant le cheminement d'une tectonique de socle et/ou d'une tectonique de couverture ou bien d'une déformation post-rift pouvant conduire à la formation des structures salifères ? Ceci nous amène à chercher dans la littérature et sur le terrain les enregistrements sédimentaires et tectoniques de déformations syn-rift et post-rift, nous permettant de discerner les meilleures hypothèses concernant les mécanismes et le calendrier de mise en place du matériel salifère. Nous étudierons à travers une nouvelle cartographie au 1/25 000ème, combinée avec les

modèles expérimentaux et les nouvelles découvertes publiées dans la littérature internationale les mécanismes de mise en place des masses salifères et leur importance dans la structuration des bassins sédimentaires depuis leurs premiers mouvements. Pour cela nous avons choisi d'étudier deux structures salifères appartenant à la province salifère du Nord de la Tunisie. Elles-mêmes font partie de la marge passive Sud-téthysienne. Ce qui va ainsi permettre de comparer notre étude à d'autres dans des marges semblables.

4. Cadre de l'étude

4.1.Cadre géographique et géologique

L'étude englobe deux structures salifères il s'agit de la structure de Chitana-Ed Djebs et celle du Jebel Ech Cheid.

La structure de Chitana-Ed Djebs est située de part et d'autre de la route GP5 amenant au Kef, région de Testour-Slouguia, entre les latitudes 459 et 485 et longitudes 362 et 366 en projection Lambert, couvrant une surface d'environ 30 km². Elle correspond à une partie du domaine géographique de la Medjerda. Elle est à cheval entres les feuilles d'Oued Zargua et Medjez el Bab (1 : 50 000) (Fig.1.12).

On peut différencier les monts suivants : Jebel Chitana (160 m), Jebel Rass el Krab (277 m) et Jebel El Aoud (237 m), Argoub el Limam (144 m) Jebel ed Djebs (260 m), Les oueds : oued Chitana, oued El Hadj, oued Rommana, oued El Blidah, oued Bou Kralfa, oued Sene ed Jemel, oued Zbabiss, oued Bou Nabe et le grand oued de la région nommé Medjerda qui découpe le secteur en deux morceaux.

La structure du Jebel Ech Cheid est localisée plus au Sud-ouest de la première structure, aux environs de Téboursouk/Dougga et El Aaroussa/Gaafour/ El Akhouat. Elle est à cheval entre la feuille de Téboursouk et la feuille de Gafour (1 : 50 000) (Fig.1.12).

On distingue les monts suivants K ^{at} Mejenba, Jebel Chetlou, Dj el Kechrid, Dj el Asoued, Dj Laoudj, Jebel el Krarroub, Dj. Mellaha, Argoub el Adama, Jebel Kralled, K^{at} Bazina Serira, K^{at} es Safra, K^{at} Sofra (pb), K^{at} Bazina Kebira, Dj. Echagaga, K^{at}Soda, K^{at} Tlilett, K^{at} el Guella, K^{at} Bezina

La liste des principaux oueds et quelques sources d'eau du Jebel Ech Cheid est la suivante: O. Silana, O. el Khemis, O. el Merir, O. Knana, O. Kralled, O. el Gattous, O. el Haje Mohammed, O. el Guettar , O. el Beida, O. el Djiacha, O. el Adama, O. es Seid , O. el Rhorfe, O. el Berbita, O. Mezaz el Beguer, O. el Melah, O. en Nehel, O. Namouss, O. Lahmar, O. el Magsbai, O. et Trab, O. ed Deboua, O. el Kalb, O. Retem, O. el Ktitir ; O. Djemel, O. el

Aouess, O. Maiou, O. et Tartar, O. Tlilett, O. et Tella, O. Faid Ismail, A^{e} ed Doura, A^{e} Younes, A^{e} Knana, A^{e} el Maksbaia, A^{e} Chetlou, A^{e} Rihana.

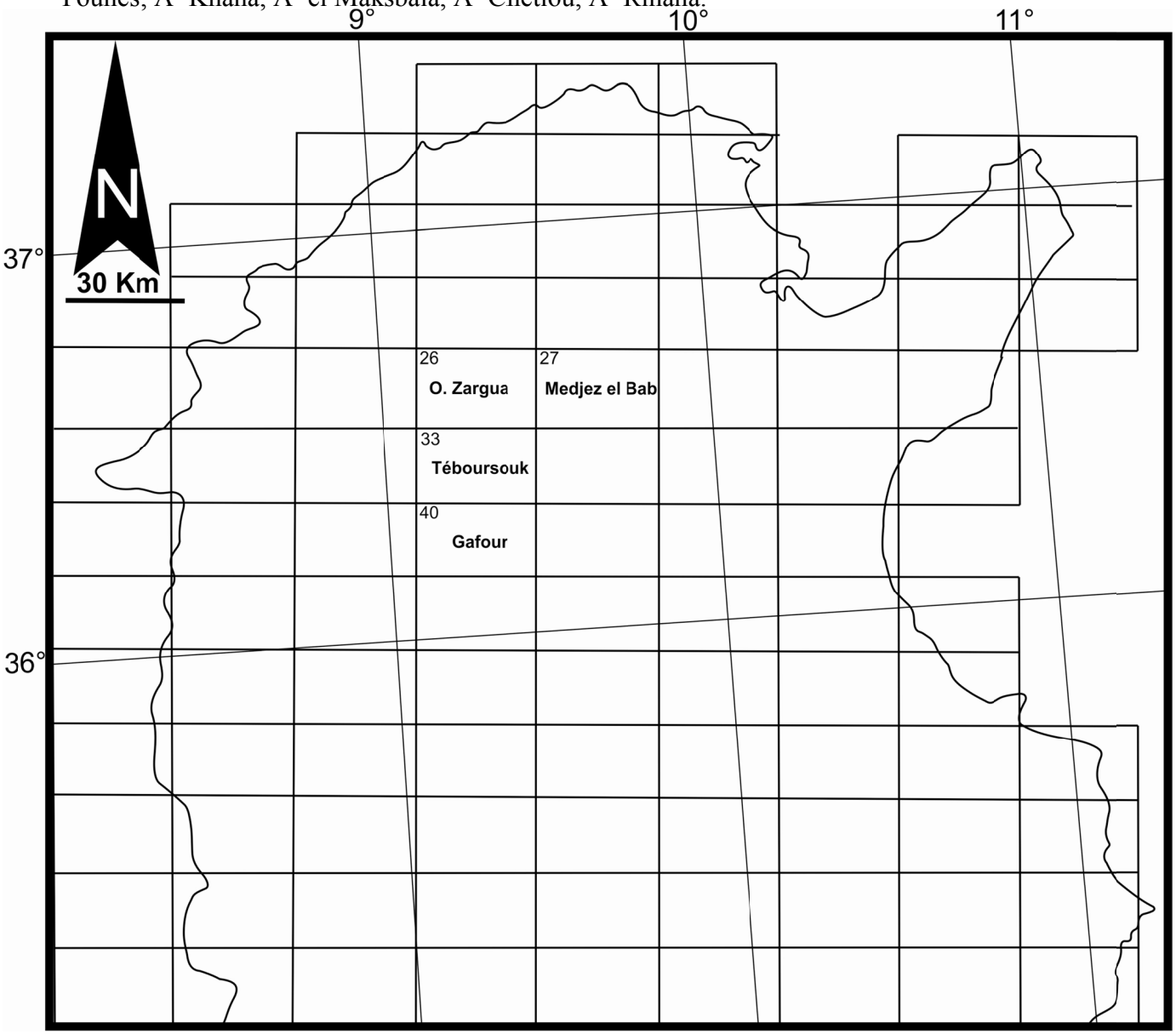


Fig.1.12 Carroyage des feuilles topographiques au 1 :50 000ème de la Tunisie septentrionale : les cadres colorés représentent les feuilles 26 : O.Zargua, 27 : Medjez el Bab, 33 : Téboursouk et 40 : Gafour

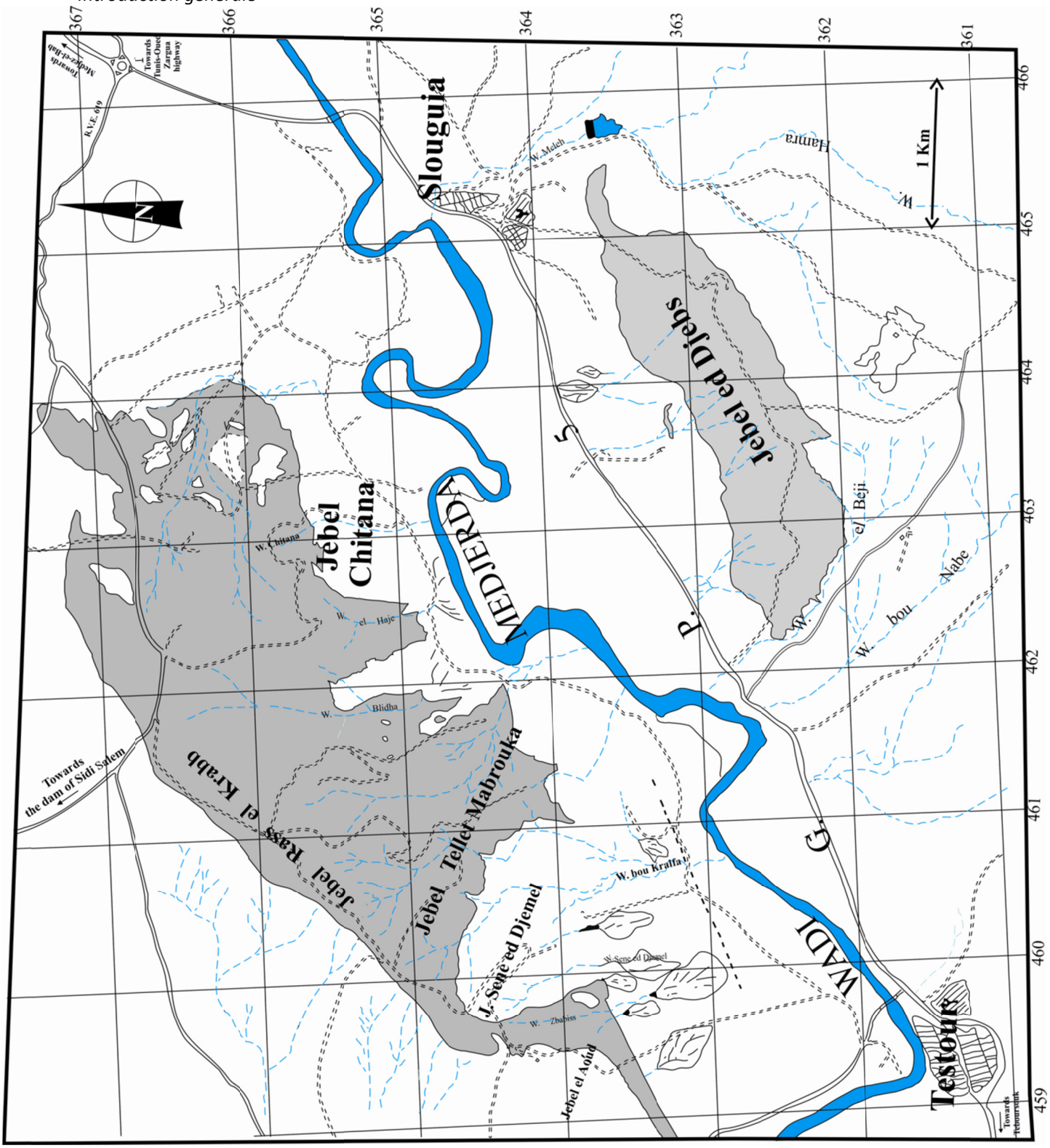


Fig.1.13 Carte de localisation du matériel salifère en gris de la région de Slouguia/Testour

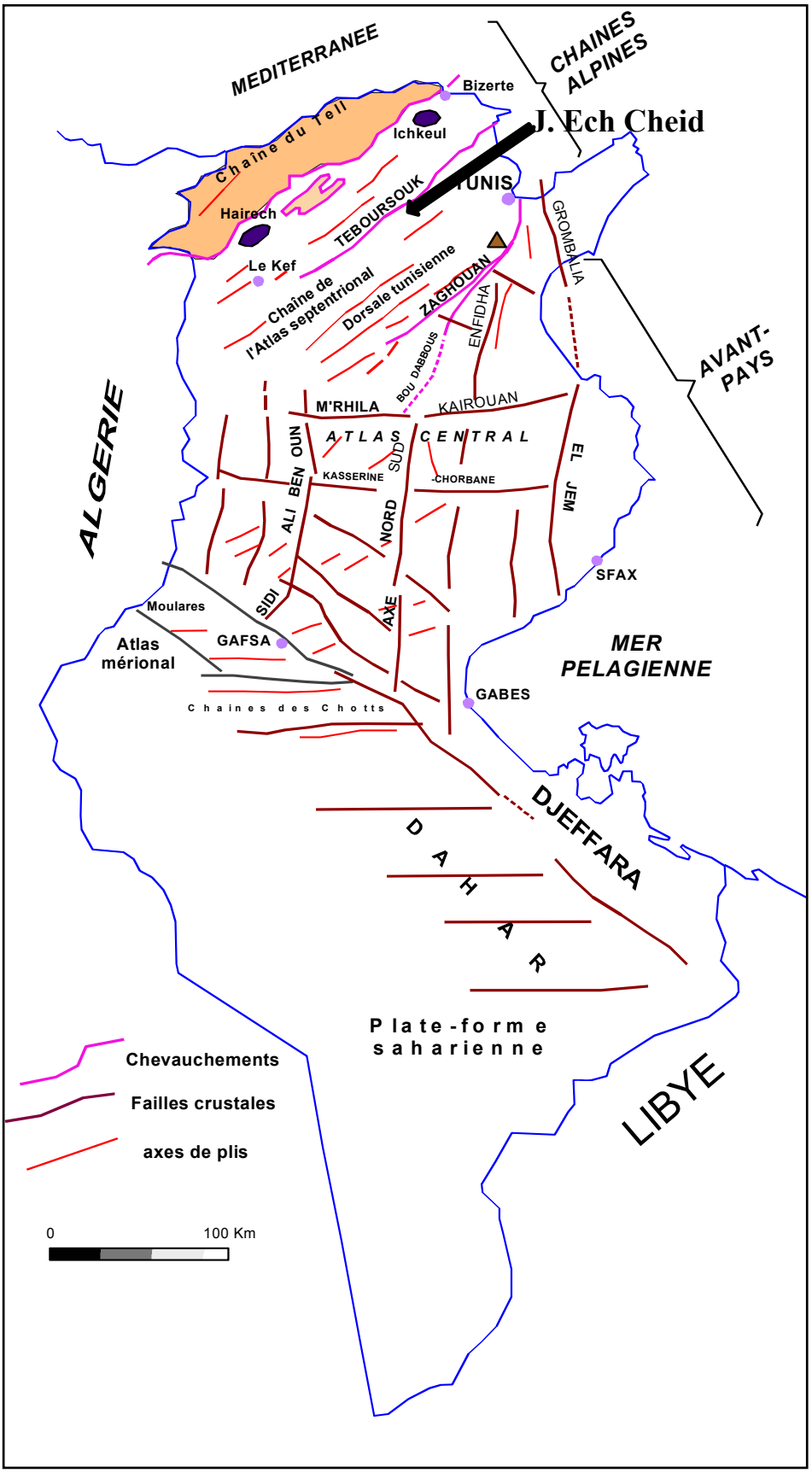


Fig.1.14 Domaines structuraux de la Tunisie [Ghanmi,2003]

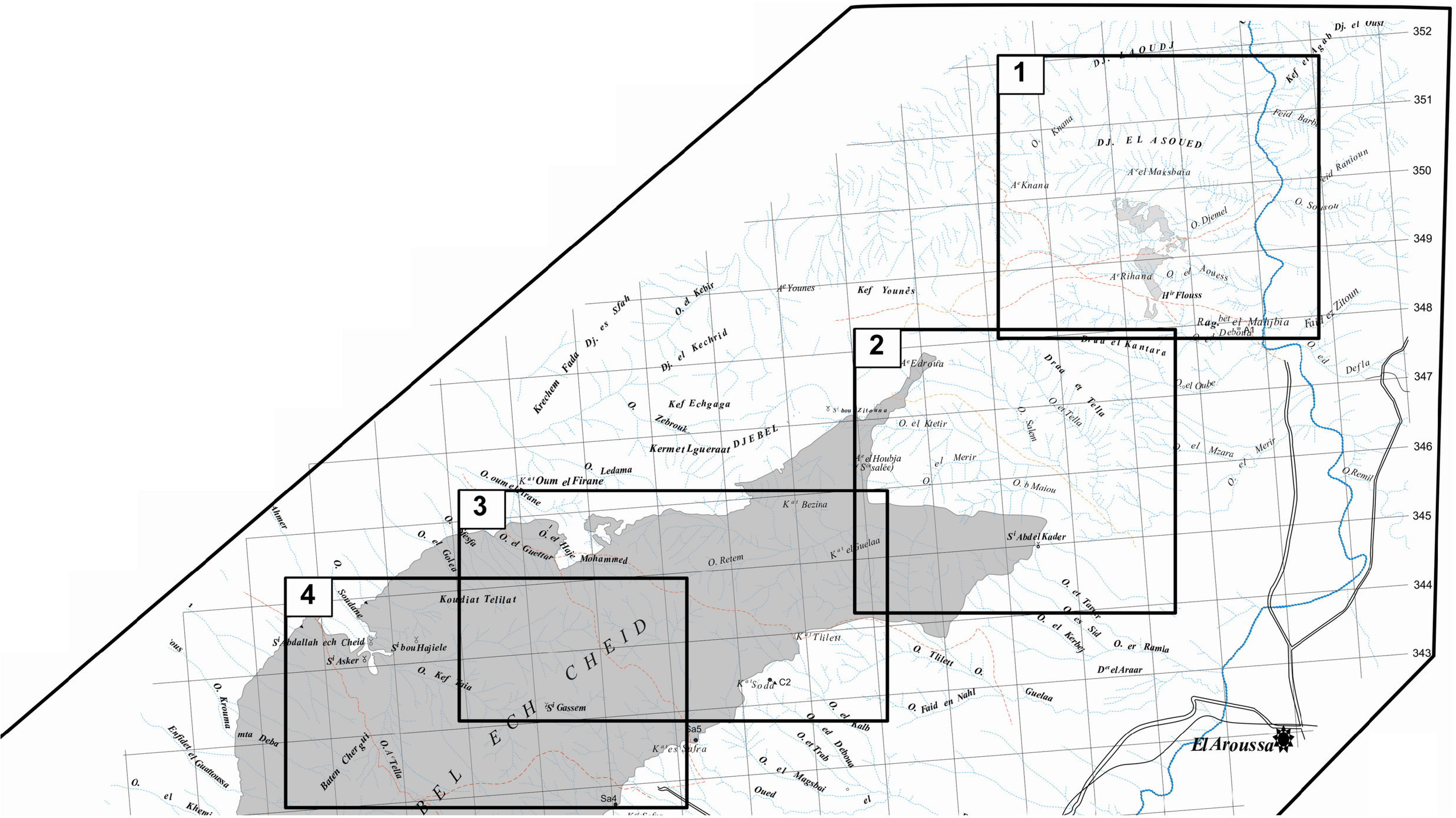
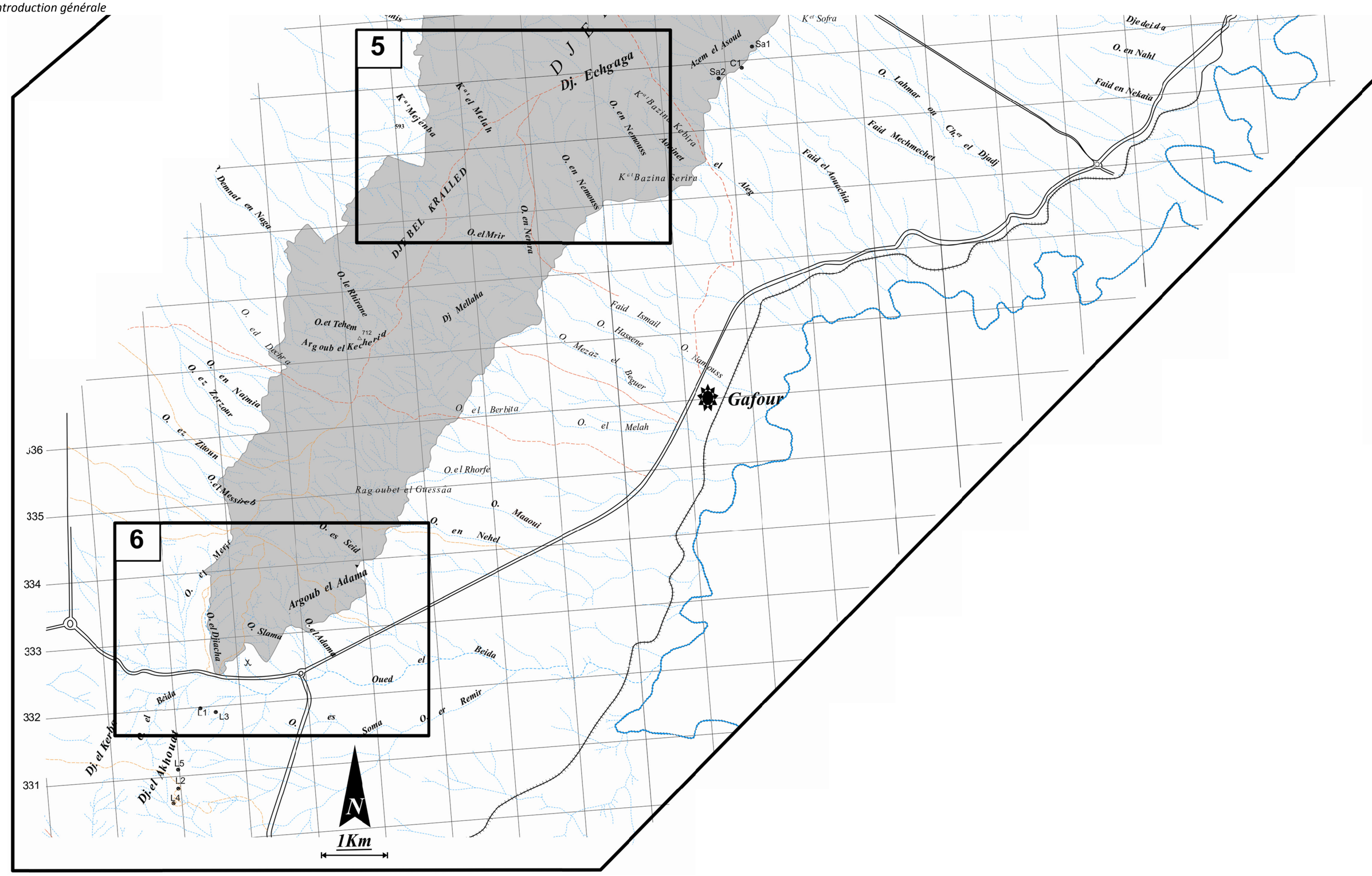


Fig.1.15 Carte de localisation des lieux-ditsde la région du Jebel Ech Cheid (les encadrés 1 à 6 cernent les zones clés)



Suite Fig. 1.13

4.2. Cadre géologique

Les monts de la région de du Jebel Ech Cheid et de la zone de Slouguia/Testour sont inclus dans l'Atlas tunisien du Nord (Fig.1.12, Fig.1.13 et Fig.1.15). Ils appartiennent à la province salifère [Vila,1997, Ghanmi,2003] ou «zone des dômes» ou des «diapirs» [Bolze,1950, Perthuisot,1978b]. Cette dernière est bordée au nord par la zone dite «zone des nappes» [Solignac,1925, 1927, Rouvier,1977], dont l'extension vers le sud a été présisée récement [Masrouhi *et al.*,2007] (Fig.1.16).

La zone d'étude est marquée par l'abondance des synclinaux perchés à cœur tertiaire et des anticlinaux érodés à cœur crétacé.

La zone d'étude est traversée et ou bordée dans sa limite septentrionale par la «cicatrice de Téboursouk» (Fig.1.14) [Jauzein,1967, Vila *et al.*,1999] et dans la partie méridionale est limitée par la partie nord de la «zone des fossés d'effondrements».

La majeure partie de la zone d'étude est marquée par l'abondance des affleurements triasiques. Ces derniers ont des encaissant essentiellement d'âge crétacé inférieur. Les dépocentres sont occupés par des formations tertiaires.

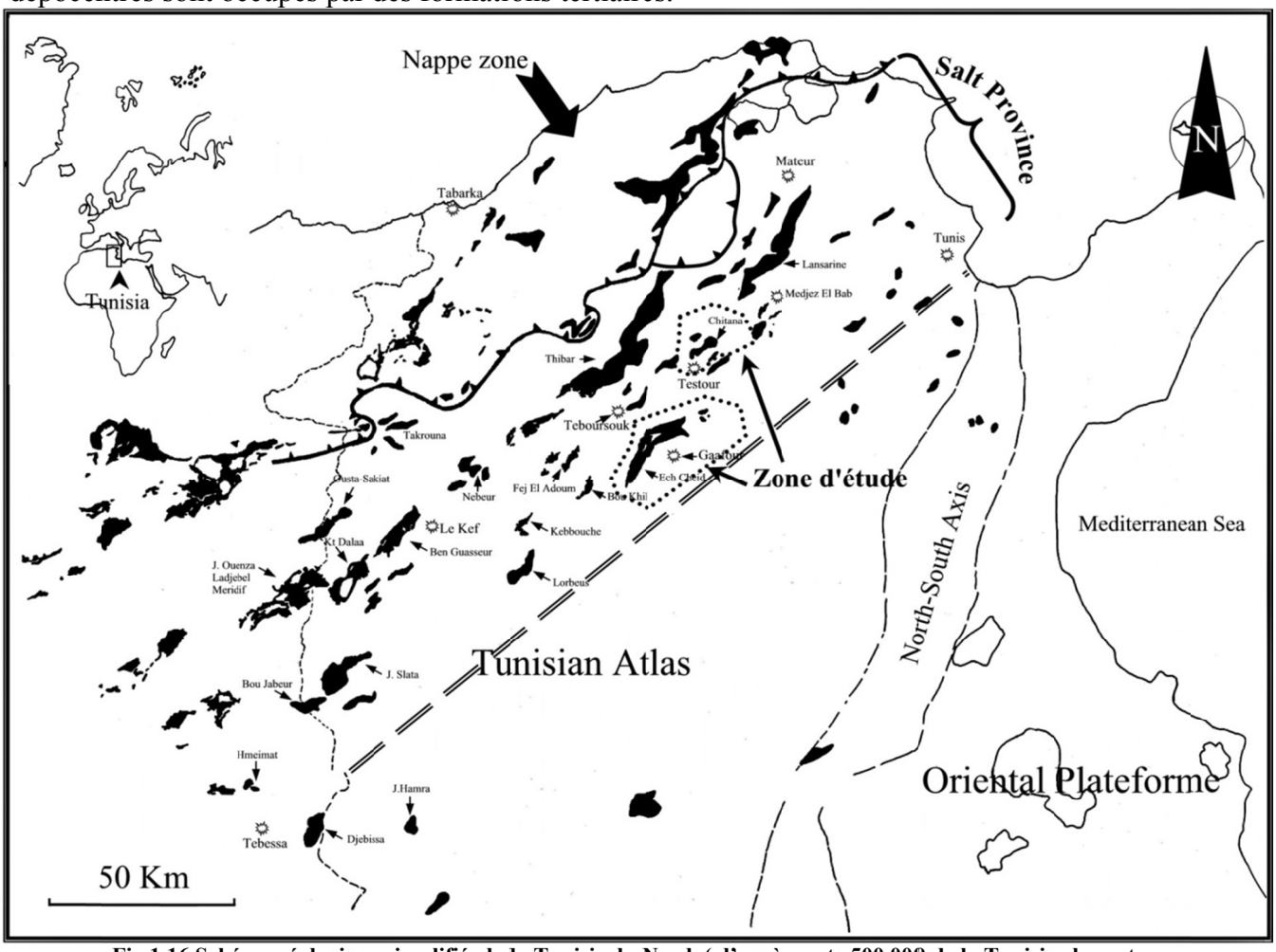


Fig.1.16 Schéma géologique simplifié de la Tunisie du Nord (d'après carte 500 000 de la Tunisie , la carte 500 000 de l'Est Algérien et Masrouhi *et al* [2007])

5. Travaux antérieurs effectués dans la zone d'étude

5.1.Solignac [1925]

Il a dressé la carte géologique 1/50 000 de la région de Slouguia ; il y met en évidence deux types de faciès du Crétacé inférieur et deux types de contacts Trias/séries encaissantes : mécanique et sédimentaire. « *Le Crétacé inférieur se présente sous deux facies bien distincts*. ***Une première*** *série comprend le Néocomien-Barrémien* ; *elle est constituée par des marnes schisteuses noires où verts bouteille alternant avec des quartzites injectés de filonnets de quartz ; les grès et quartzites montrent fréquemment des hiéroglyphes et sont parfois minéralisé en fer et en cuivre. Des calcaires gris où verdâtre très durs terminent la formation qui présente ainsi un flysch typique…la découverte de fossiles typiques du Néocomien (Kilianella pixiptychus, Duvalia dilatata, etc…) confirme l'âge néocomien du flysch. Il est présent au nord de la région de Slouguia (Dj. Oued ez Zerzour et environs)…il joue le rôle d'autochtone par rapport au Trias qui les recouvre.* ***Une seconde*** *série de Crétacé inférieur s'appuie, au contraire, constamment sur le Trias et présente un faciès différent du premier ; elle comprend du Néocomien (marnes grises où blanchâtres et grès), du Barrémien calcaire et marneux, de l'Aptien marneux et marno-calcaires. Elle est rencontrée aux environs du Jebel Ras el Krab…»*[Solignac,1925]. En effet ces deux types de faciès décrits par l'auteur reflètent deux milieux de dépôts différents : le premier à faible tranche d'eau et le second à une tranche d'eau plus importante. Le facies flysch est *autochtone* par apport au Trias et constitue son substratum et le second forme sa couverture ; de plus, ces sédiments sont déposé presque « simultanément » (à l'échelle géologique) avec l'intercalation du Trias. Ceci montre que les extrusions et les épanchements latéraux du complexe triasique ont été faits rapidement (peut être à l'échelle de quelques biozones du Crétacé inférieur).

Les deux catégories de contacts sont représentées sur la coupe Est-ouest (Fig.1.17). Au J. Tellet Mabrouka les flyschs nummulitiques recouvrent le Trias en contact sédimentaire et plus à l'est le complexe triasique est couvert par l'intermédiaire d'un contact sédimentaire avec les séries sénoniennes. Le reste des contacts sont de type mécanique.

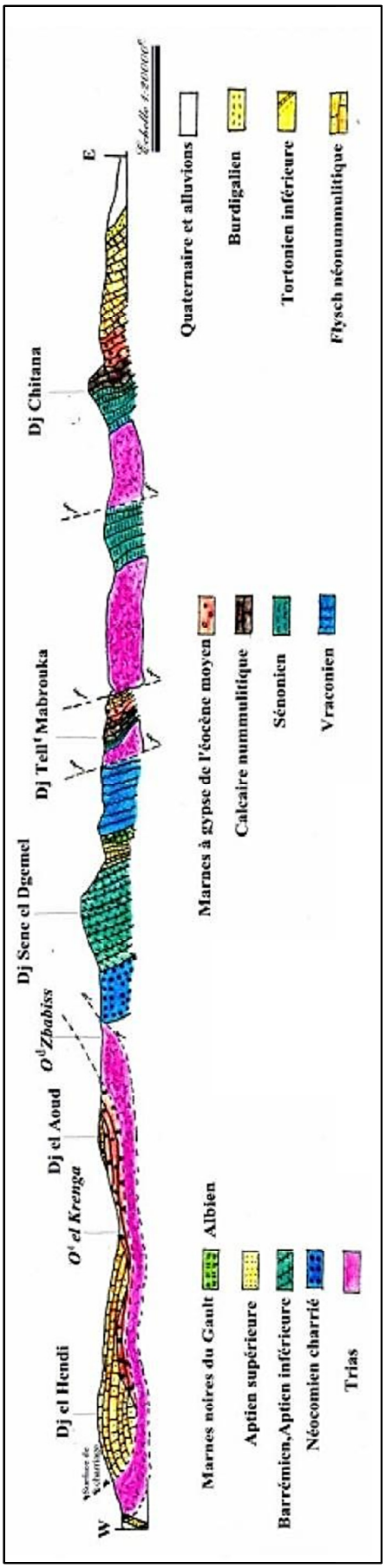


Fig.1.17 Coupe géologique aux environs de la structure de Chitana/ed Djebs [Solignac,1925].

5.2. Solignac [1927]

Il est parmi les premiers géologues qui ont travaillé dans cette zone. La coupe géologique présentée dans sa thèse d'état (Fig.1.18) montre une interprétation diapirique au sens de Mrazec pour la structure du Jebel Ech Cheid.

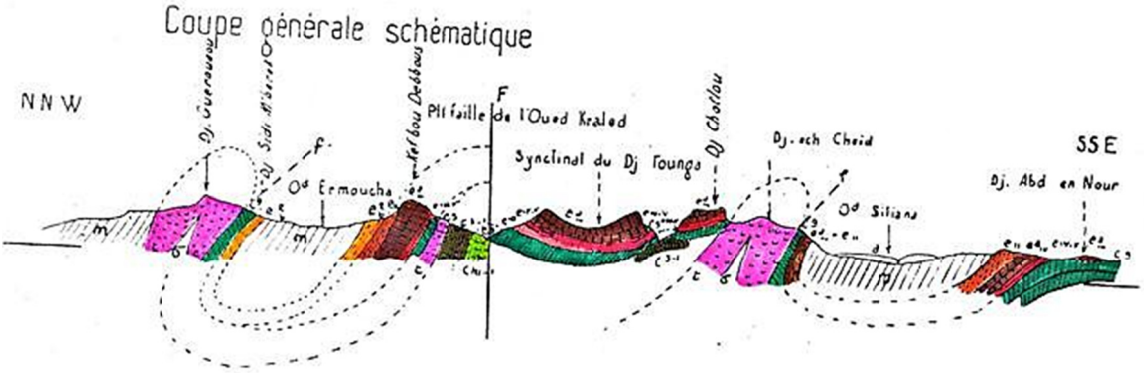
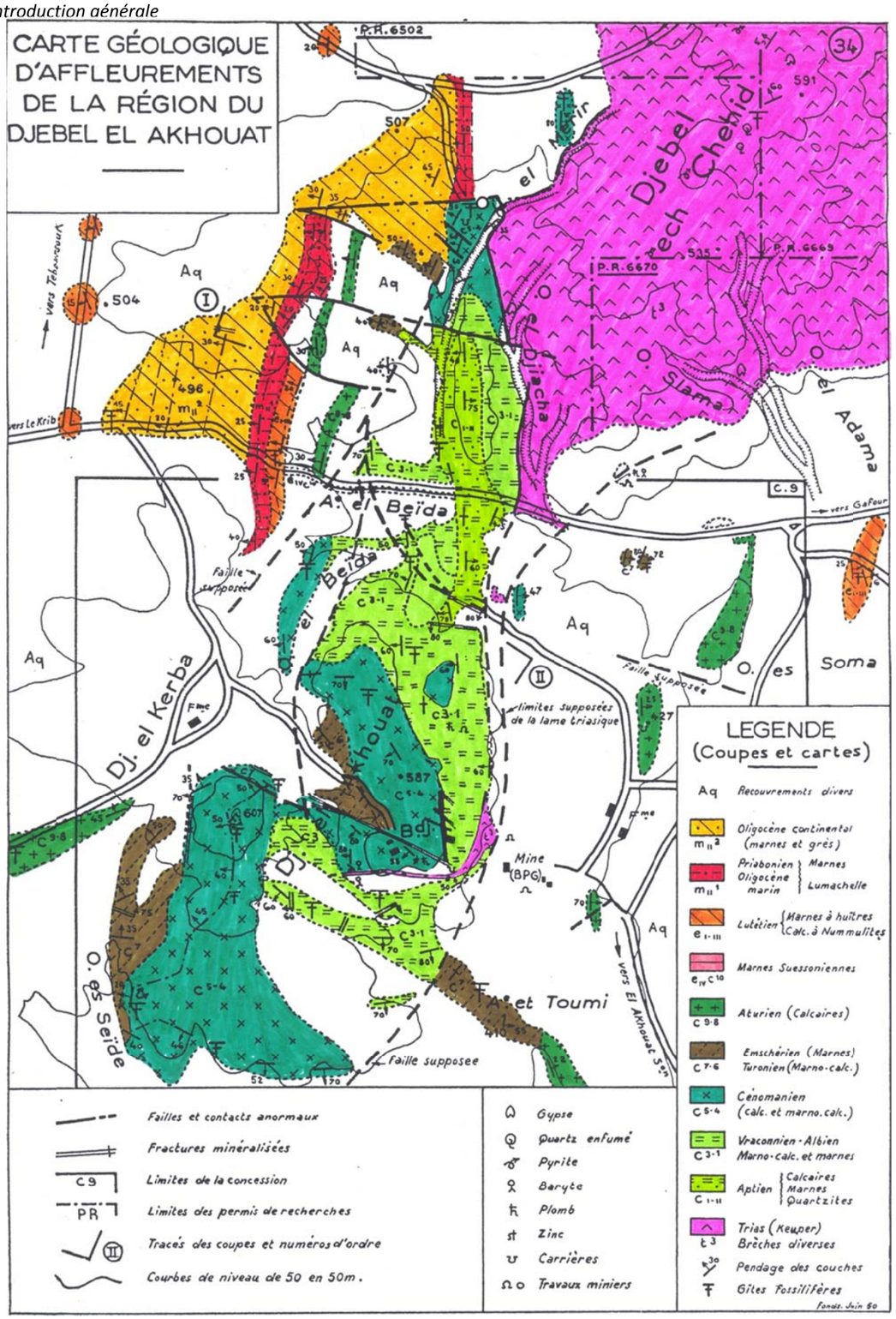


Fig.1.18 Coupe générale schématique NNW-SSE passant par Jebel Thibar et Jebel Ech Cheid, Solignac [1927].

5.3.Sainfeld [1952]

Il a établi trois cartes géologiques dans le secteur d'étude concentré sur les trois principales mines Pb, Zn : El Akhouat, Sidi Ayed, et Rag^{bet} el Mahjebia. A partir de ces coupes géologiques, il propose un scénario de mise en place des roches triasiques en force au sens de Mrazec [1907]. En plus, il a remarqué l'existence d'un anticlinal à cœur aptien affleurant dans l'Oued el Merir dans la zone d'El Akhouat (Fig.1.19).



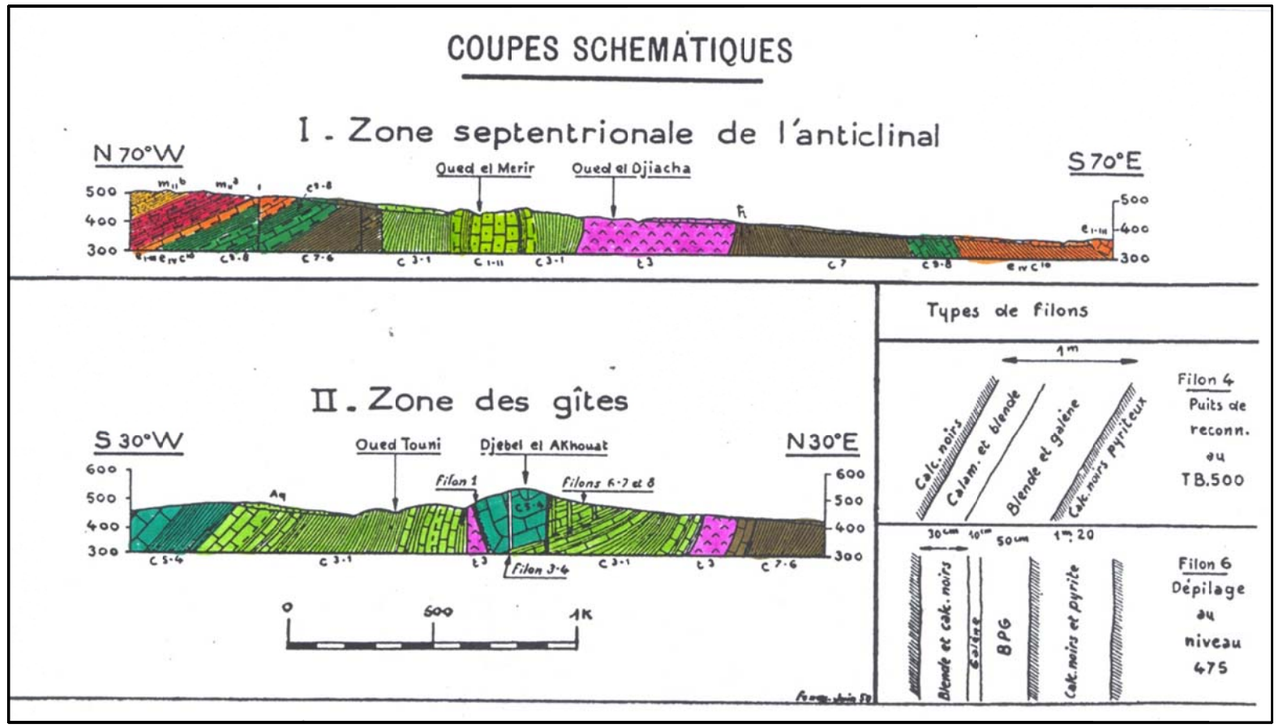


Fig.1.19 Carte et coupes géologique du secteur Lakhouat [Sainfeld,1952].

Il a constaté dans la zone de K^{at} es Safra et Koudiat Soda le renversement des séries crétacées en contact avec le matériel salifère. En outre dans le secteur Knana-oued Siliana (terminaison Nord-est), il note la fermeture anticlinale du pli de Rag^{bet}el Mahjebia. (Fig.1.20).

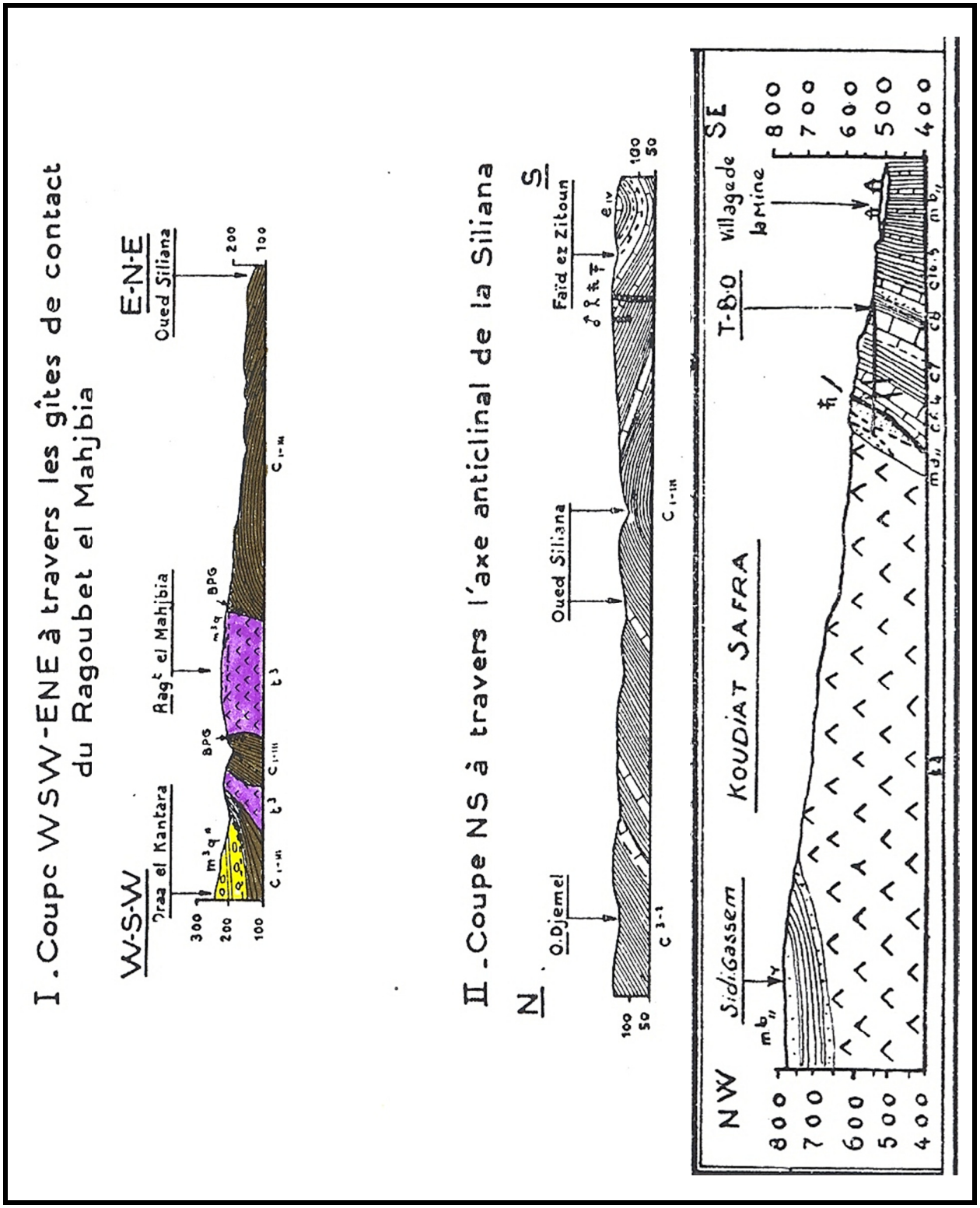


Fig.1.20 Coupes géologiques interprétatives faites dans le secteur, Knana/Oued Siliana et dans le secteur K^{at} Safrad'après Sainfeld [1952].

5.4. V.Perthuisot [1972]

Ila attesté que l'appareil du Jebel Ech Cheid est à noyaux triasiques et à bordures fortement plissées et écaillées à l'heure actuelle. Il a interprété la structure comme un dôme de sel au moins au début de sa mise en place. L'auteur propose une évolution à travers les époques géologiques suivante : (Fig.1.21).

« L'hypothèse la plus satisfaisante est alors celle d'un dôme de sel dont la montée a commencé au cours du Crétacé supérieur et dont l'évolution aurait été compliquée au cours du Néogène par les plissements locaux » [Perthuisot,1972].

- Les premiers mouvements des masses salines sont dus à leurs plasticités et l'action dominante de la gravité au Crétacé moyen avec exhaussement du matériel salifère.
- L'évolution verticale de l'appareil se poursuit pour atteindre la surface au cours du Crétacé supérieur- Éocène.
- Ensuite la structure sera prise par les plissements atlasiques au cours du Néogène.
- Enfin les phénomènes précédents s'exagèrent. Ceci amène l'appareil à une extravasion « diapirique ».

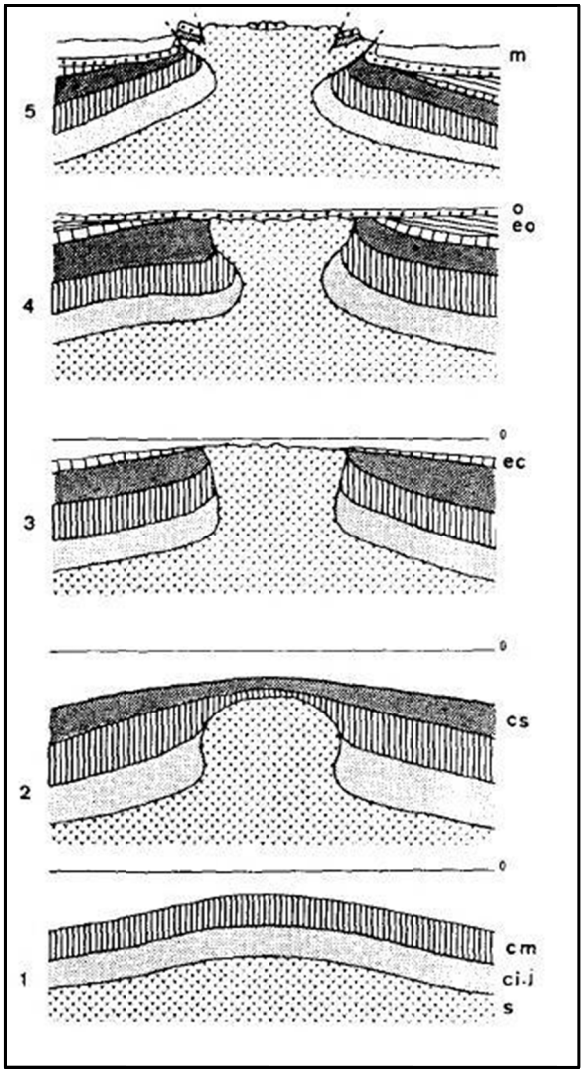


Fig.1.21 Reconstitution schématique de l'évolution de la structure du Jebel Ech Cheid d'après Perthuisot [1972] ; légende : s : salifère ; ci-j : Jurassique-crétacé inférieur ; cs : Crétacé supérieur ; ec Éocène calcaire ; eo : Éocène supérieur-Oligocène inférieur ; o : Oligocène supérieur (formation à dragées) ; m : Miocène ;

Le modèle de dôme de sel [Perthuisot,1972] s'appuie sur des mouvements halo-cinétiques ayant comme moteur principal l'inversion de densité. En revanche, d'après nos analyses bibliographiques à l'échelle du globe [Fisher et al.,1988, Johnson et al.,1988, Peterson,1988, Jackson & Vendeville,1994, Jackson,1995] montrent qu'il ne se développe pas de structures salifères même s'il existe des roches ductiles en profondeur sans le promoteur principal : la tectonique transtensive.

5.5. T.Dali [1979a]

Il a démontré une évolution diapirique au sens de Mrazec de l'appareil du Jebel Ech Cheid. Il illustre dans un schéma évolutif (Fig.1.22) des failles inverses dès le Crétacé inférieur. Ce dernier point est en contradiction avec les données régionales qui traduisent une phase de *rifting* aux cours du Crétacé inférieur [Chikhaoui,1988, Martinez *et al.*,1991, Chikhaoui *et al.*,1998, Vila *et al.*,2002, Ghanmi *et al.*,2006a, Chihaoui,2009]

5.6. K.Daly [1981]

Dans son étude de la région de Slouguia, explique la mise en place du matériel salifère comme une unité allochtone triasique sur l'unité autochtone d'âge crétacé d'Oued Zargua. Il a également interprété l'affleurement du Crétacé au niveau d'Oued Er Rmel région d'el Kef au sein du matériel salifère en fenêtre tectonique sous un Trias supposé allochtone tectoniquement.

5.7.A.W.Baird, Grant, Grocott, Mann, Moody, Sandman et Wright [1989]

Ils présentent un modèle en rampes et paliers (Fig.1.23) dans le secteur d'étude en négligeant le rôle principale des roches évaporitiques triasiques. Ce modèle reste hypothétique en profondeur et il est invalide à proximité de la structure du Jebel Ech Cheid.

5.8. H. El Ouardi [1996]

Il a abordé les structures salifères de Chitana/ed Djebs en s'appuyant essentiellement sur la cartographie ancienne de la carte d'oued Zargua 1/50 000. Il propose une interprétation en dôme de sel des structures salifères étudiées

5.9. M.Hammami et al [2001]

Ils ont élaboré la carte géologique de l'extrémité Sud-ouest de la structure salifère du Jebel Ech Cheid. De point de vu géométrique, ils mettent en évidence l'inter-stratification du matériel salifère (lame du Jebel El Akhouat) dans l'anticlinale à cœur aptien (Fig.1.24).

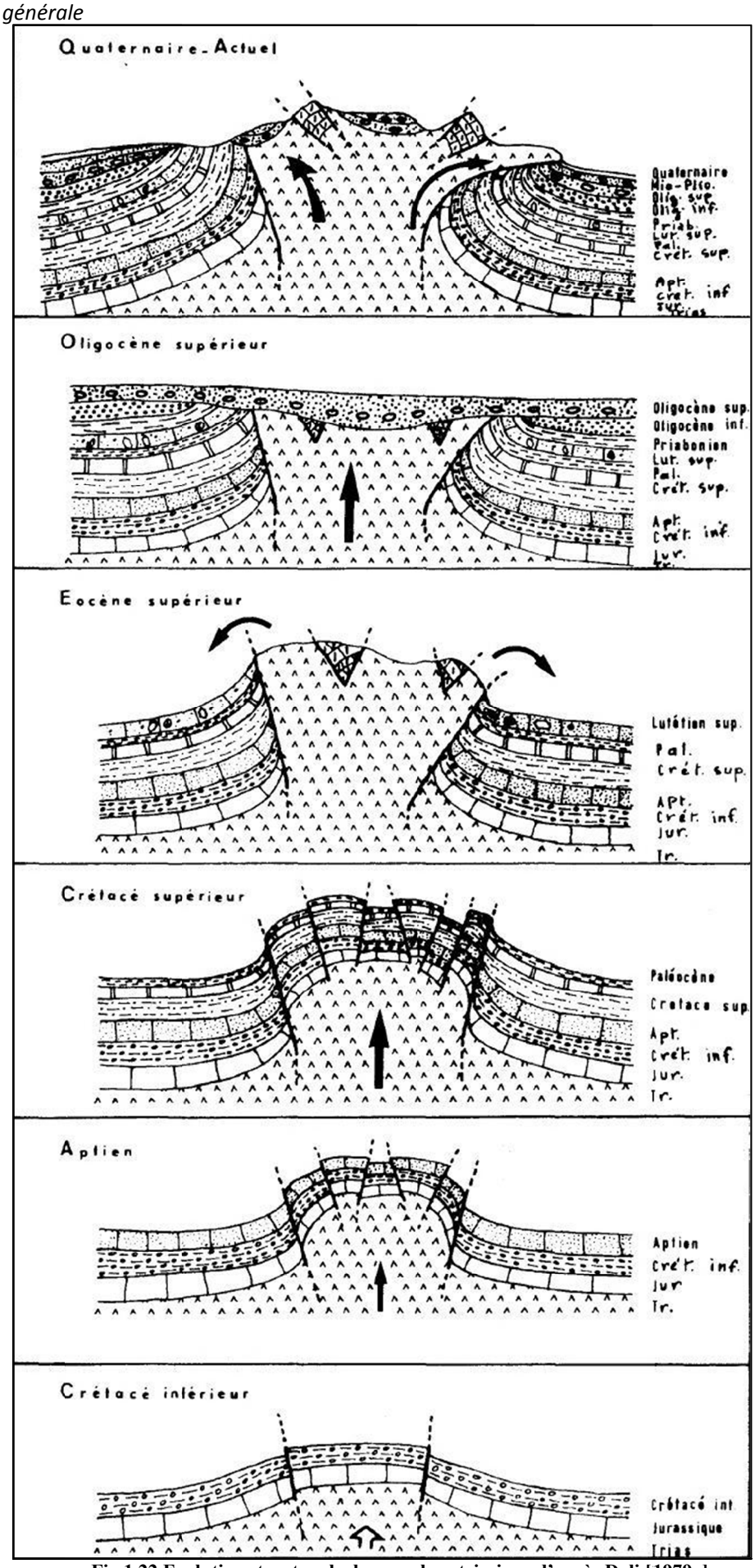


Fig.1.22 Evolution structurale du complexe triasique d'après Dali [1979a].

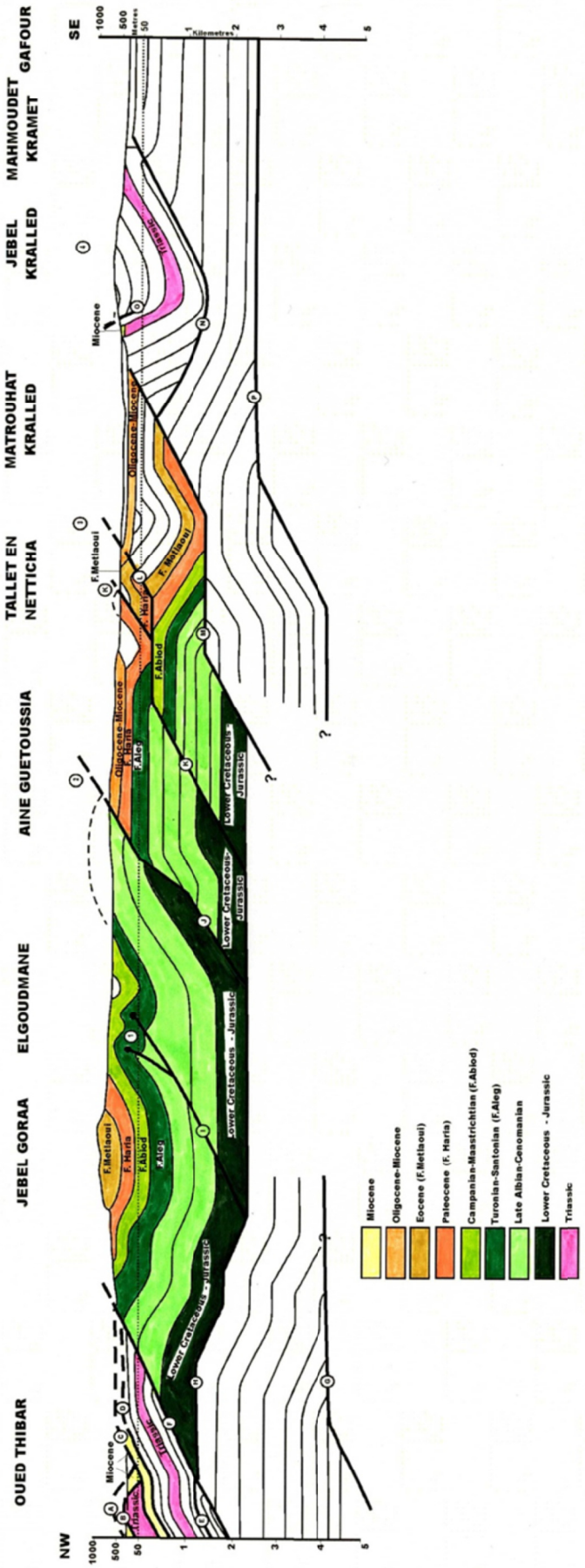


Fig.1.23 Proposition d'un modèle en rampe et palier du bassin allant du Thibar à Gafour [Baird *et al.*,1989]

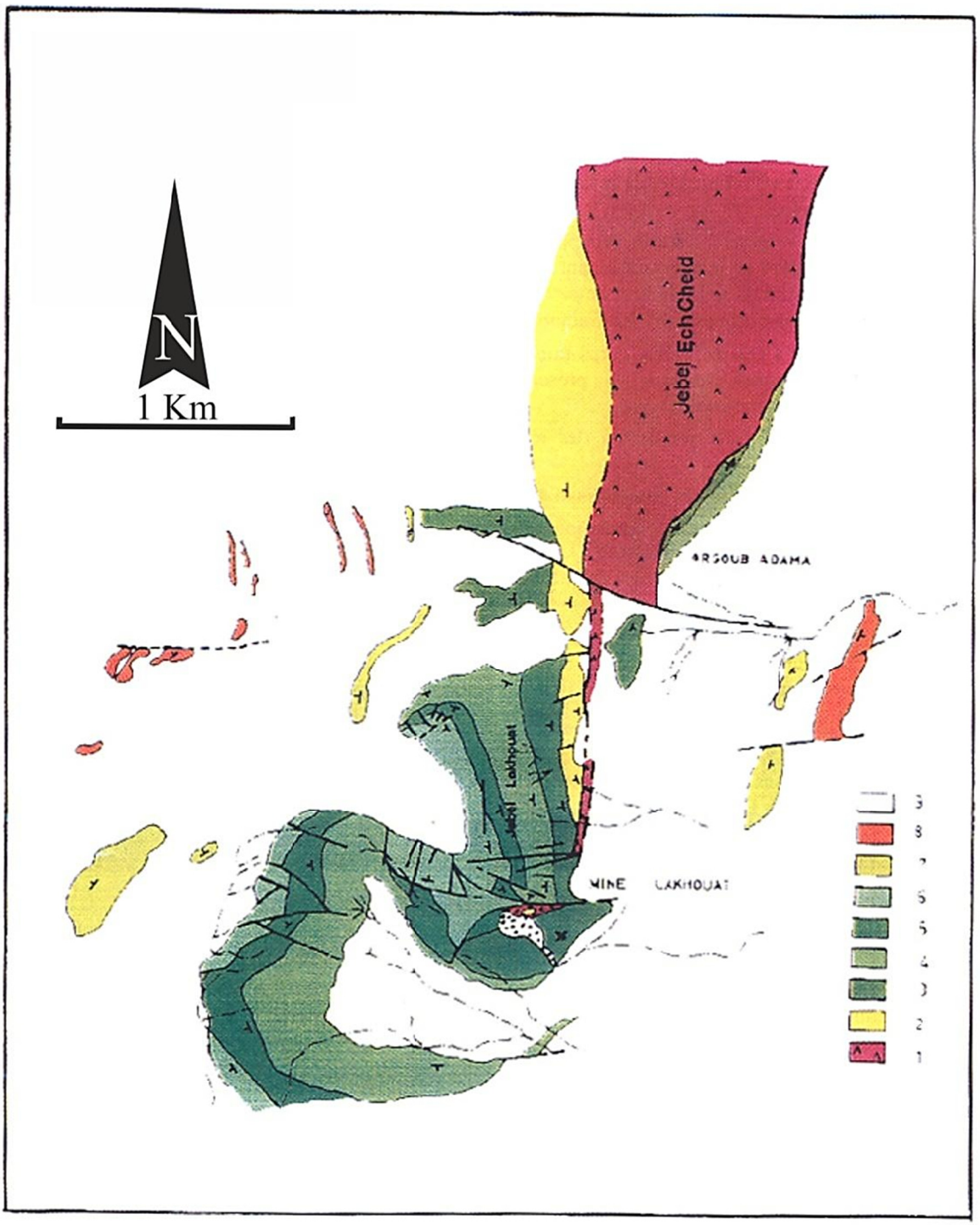


Fig.1.24 Carte géologique de la région d'el Akhouat . d'après Hammami et al [2001] , 1 : Trias, 2 : Aptien, 3 : Albien-Vraconien, 4: Cénomanien, 5 : Turonien, 6 : Coniacien-Santonien, 7 : Campanien-Maastrichtien, 8 : Lutétien supérieur, 9 : Quaternaire

5.10. S.Rebaï [1992,1993]

Son travail dans la province salifère s'appuie sur des données de terrain et il concerne la tectonique récente. Elle a pu mettre en évidence la coexistence de failles normales et inverses dans un même domaine et relativement dans la même période au Quaternaire (Fig. 1.25).

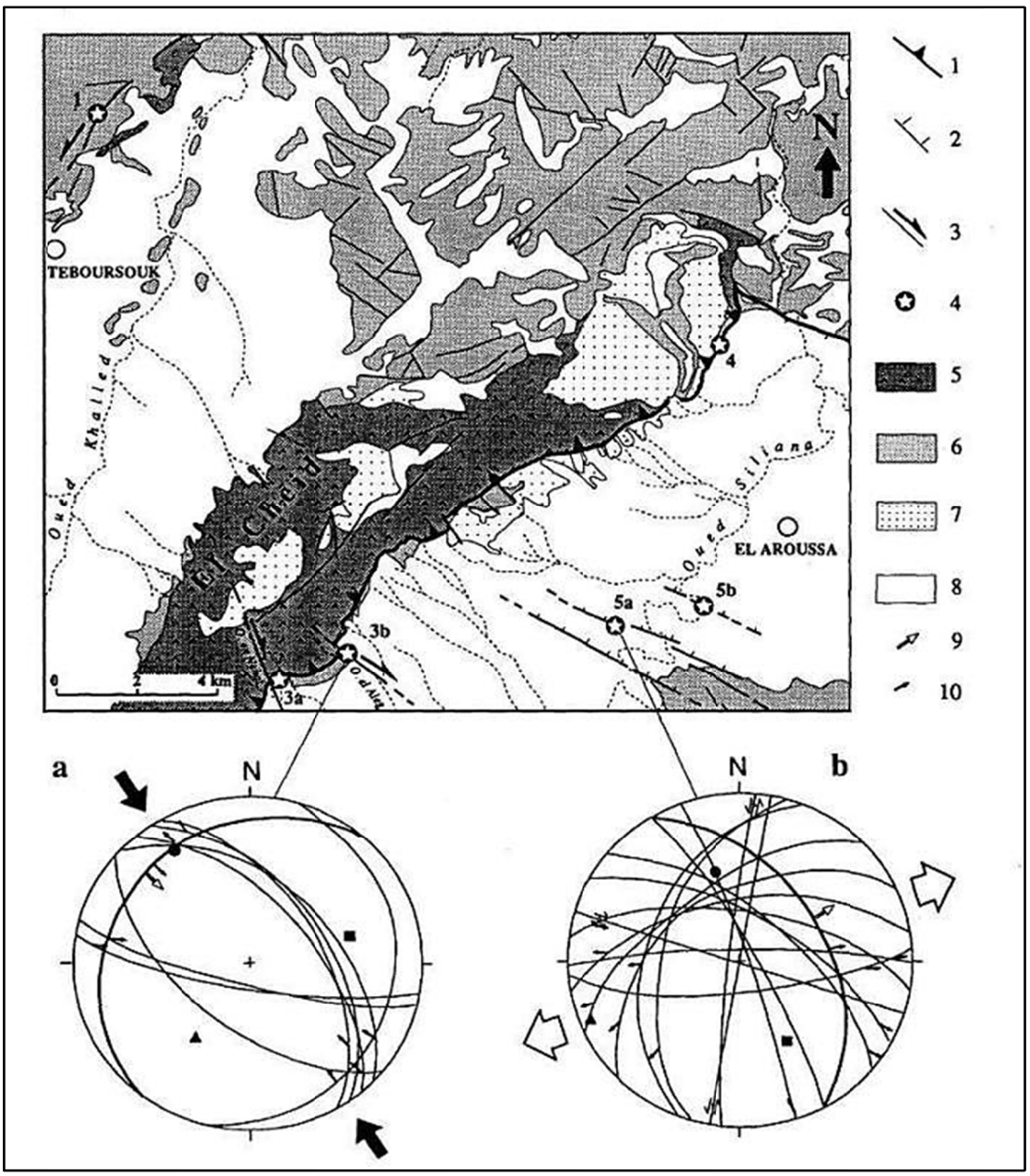


Fig. 1.25 Carte géologique simplifiée et fracturation de la région de Téboursouk d'après S.Rebaï [1993]: 1 : Faille inverse ; 2 : Faille normale ; 3 : Décrochement ; 4 : sites étudiés; 5 : Trias ; 6 : Mésozoïque ; 7 : Néogène ; 8 : Quaternaire. a et b sont les solutions tenseur des contraintes déduite des mesures microtectoniques à dans la station d'Oued el Aleg (a) et la station de Gafour-El Aroussa (b) les mesures sont faites dans les dépôts du Quaternaire du même bassin : (a) faille inverse et (b) faille normal.

5.11. M.Dlala & S.Rebaï [1994]

Les travaux de ces auteurs ont mis en évidence à partir de données de terrain l'existence d'un réseau de failles normales de direction Nord-ouest/Sud-est et à plongements convergent. Elles affectent les séries du Quaternaire dans le bassin de Gafour (Fig. 1.26). Ils ont interprété cette disposition à l'image d'un fossé d'effondrement appelé« fossé de Gafour ». Ce dernier est généré par une série de failles normales observé à proximité de la

station de Sidi Ayed au Sud-ouest et par un autre réseau de failles observé à proximité de la lame salifère de Ragoubet el Mahjebia au Nord-est.

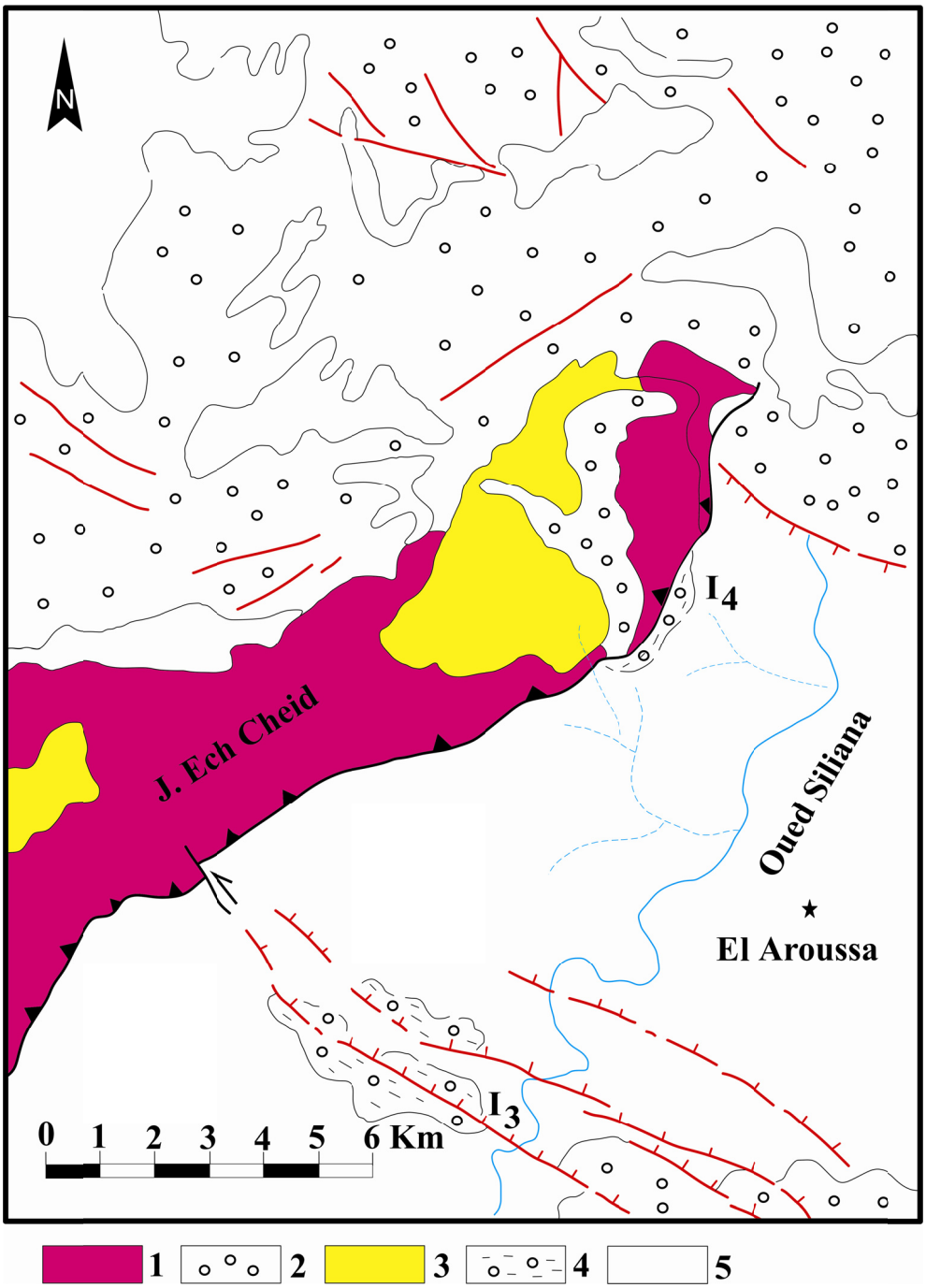


Fig. 1.26 Schéma structural redessiné de l'extrémité NW du fossé de Gaafour d'après M.Dlala & S. Rebaï [1994].1, Trias; 2, Oligocène; 3, Miocène supérieur; 4, Quaternaire récent; 5, alluvions; I_3, failles normales; I_4, failles inverses

5.12. M. Dlala [1995]

L'auteur a établi une carte de synthèse de zonation de types de déformations au Quaternaire récent-Actuel. Notre secteur d'étude fait partie de la zone située à cheval entre la

zone de déformation décrochante à décrochante compressive et la zone de déformation décrochante compressive associées à une déformation distensive locale (Fig. 1.27).

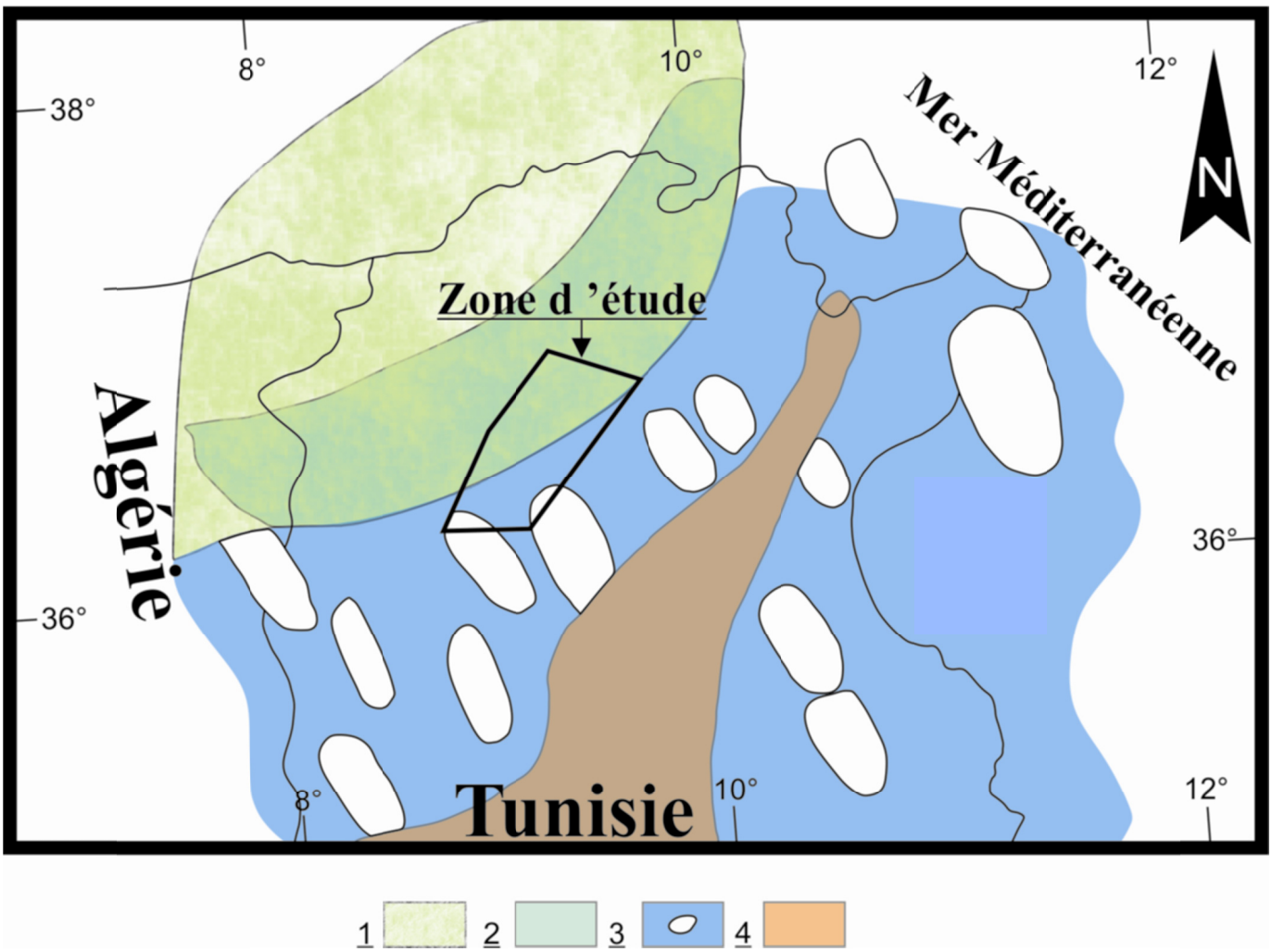


Fig. 1.27 Extrait redessiné de la carte de zonation de types de déformations au Quaternaire récent et l'Actuel d'après M.Dlala [1995] ; 1- déformation décrochante à décrochante compressive ; 2- déformation compressive à décrochante compressive ; 3- déformation décrochante compressive associées à une déformation distensive locale (fossés d'effondrements) ; déformation essentiellement décrochante à décrochante compressive localisée au niveau des accidents préexistant majeurs.

5.13. J.M.Vila et al [1999, 2002] ; M. Ghanmi [2003] ; Masrouhi [2006]

Les auteurs interprètent la mise en place du matériel salifère aux alentours du secteur d'étude à l'image d'un « glacier de sel » (Fig. 1.28): Jebel Mourha, Jebel Fedj el Adoum, Jebel Bou Khil, Jebel Thibar, Jebel Kebouche, Koudiat Sidi... Ces auteurs mettent en évidence que les épanchements du matériel salifère dans différentes époques géologiques s'étalent essentiellement dans l'Aptien, l'Albien inférieur, le Turonien…et ceci est en bon accord avec les phases distensives annoncées dans la littérature régionale que ce soit tectoniques ou magmatiques [Chikhaoui,1988, Martinez et al.,1991, Laridhi–Ouazâa,1994, Souquet *et al.*,1997, Chikhaoui et al.,1998].

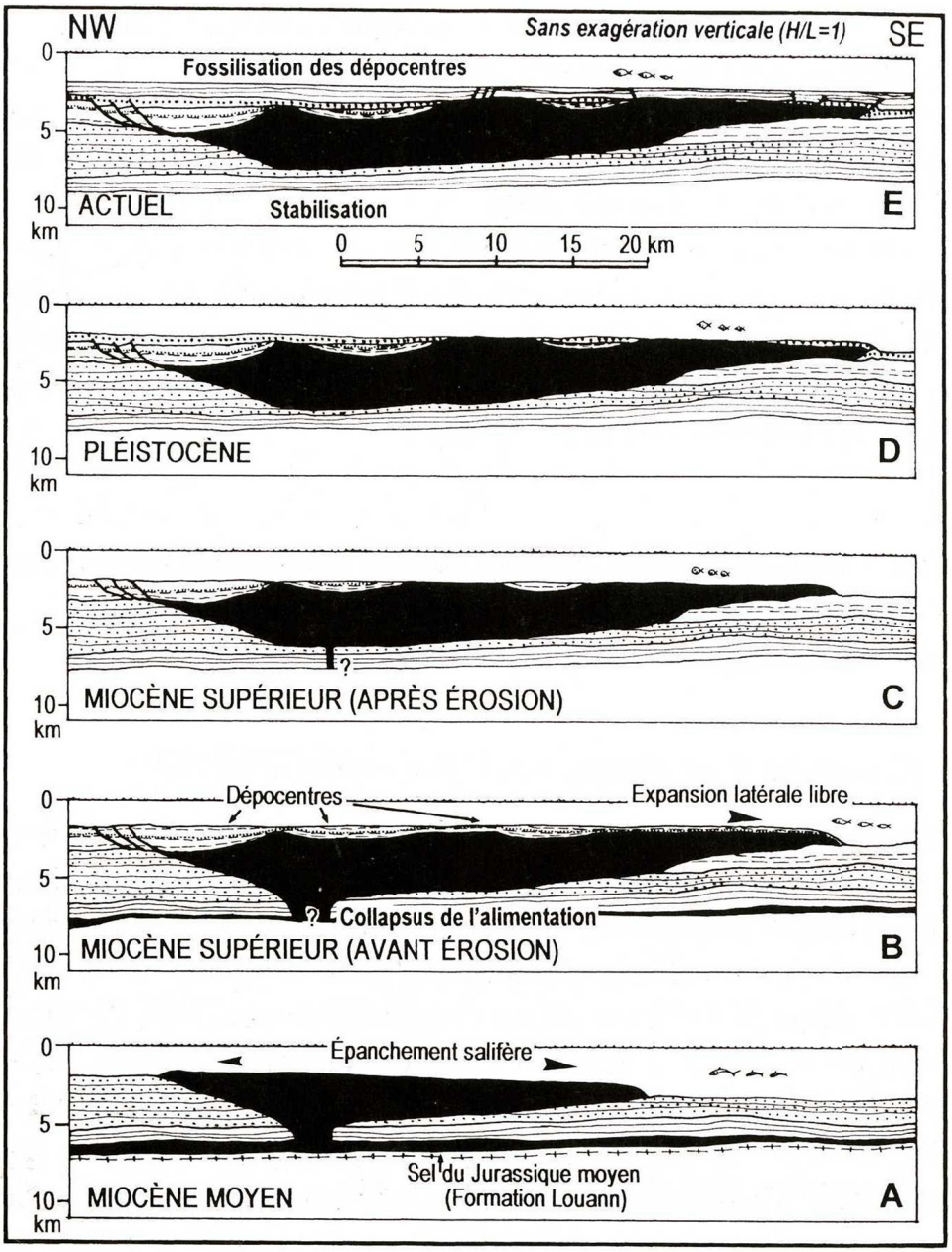


Fig. 1.28 Exemple de reconstitution de la genèse d'un « glacier de sel» sous-marin composite de la Gulf Coast, pris dans le gisement pétrolier de Mickey au large de la Louisiane, redessinée d'après les Fig. 20 et 21 de Fletcher et al [1995] *in* Vila et al [2002].

5.14. C.J. Talbot [2005]

Il a essayé d'appliquer l'hypothèse de Talbot & Jarvis [1984] dans un commentaire critique du travail de C. Jallouli et al [2005] concernant le mode de mise en place de l'appareil salifère de Debadib Ben Gasseur du Kef. D'après les calculs basés sur les données publiées par C. Jallouli et al [2005a,b] ; il suggère que le Trias du Jebel Debadib a peut-être déjà eu «un franc-bord» (débordement) de 450 m à la fin de l'Aptien qui deviendra une longue «lame

de sel » « allochtone » au cours de la sédimentation (plus lente) de l'Albien-Cénomanien. Les modèles dynamiques suggèrent que les taux d'extrusion temporaire sont d'environ 16 mm an^{-1}

5.15. S.Chabbi [2002]

Dans son travail, il a proposé un schéma structural (Fig. 1.29) basé sur des données de terrains et microtectoniques montrant une permutation des axes des contraintes et une perturbation du champ des contraintes au voisinage des accidents majeurs. Dans la série Eocène au niveau de H^{ir} Bel Aziz deux génération de stries une à composante verticale et l'autre à composante verticale. Il atteste une période de subsidence d'âge oligocène manifestée par l'affleurement de failles additives synsédimentaires de direction sensiblement E-W à proximité de l'Argoub Ahrèche.

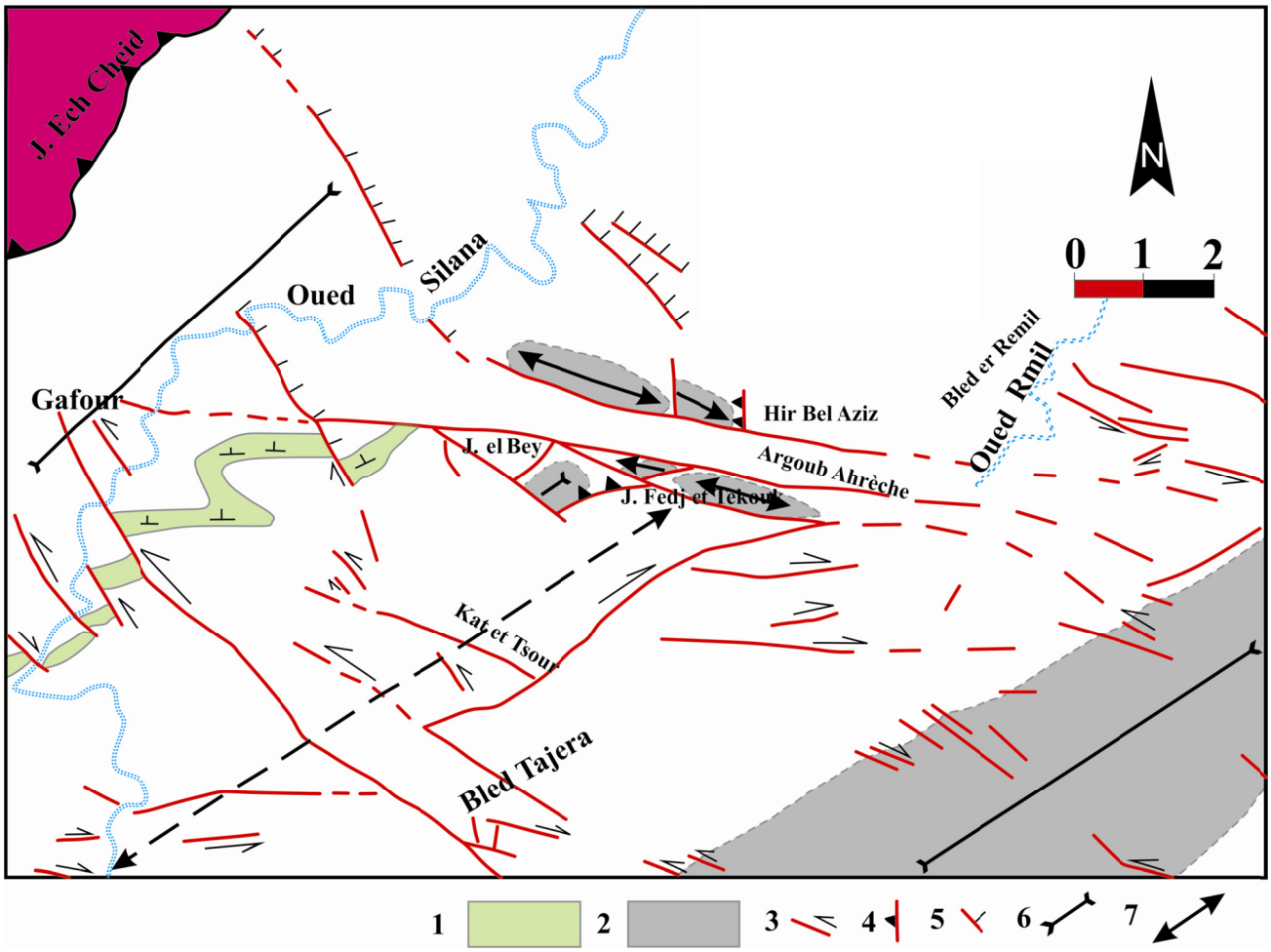


Fig. 1.29 Schéma structural redessiné de la zone sud-est du village de Gafour d'après S.Chabbi [2002]. 1 : Crétacé supérieur ; 2 : Eocène ; 3 : Faille décrochante ; 4 : Chevauchement ; 5 : Faille normale récente ; 6 : Axe synclinal ; 7 : Axe anticlinal.

5.16. A.Hammami [2007]

Dans son travail, elle a essayé de déceler des structures de tectoniques tangentielles: une importante structure anticlinale de direction NE-SW correspondant en surface à l'affleurement de Krechem el Hamar (Fig. 1.30) (au sud-est de Gafour) qui donne l'allure d'une structure de direction NW-SE. Cet anticlinal correspondrait à un pli passif sur rampe. Cette structure est délimitée de son côté Sud par la faille de déchirement de Krechem el Hamar qui le sépare de l'anticlinorium de l'Aksabe. La naissance du pli passif sur rampe a engendré la mise en place d'un synclinal d'avant rampe qui correspond à la structure de Jebel Remil, lui-même chevauche l'anticlinal de Bled Tadjemout. Le mouvement de chevauchement est compliqué par la naissance des rampes latérales de Hinchir Ahmed Brahim et Hinchir Chaïb. Cette structure complique elle-même le synclinal de l'Oued Bou Arada.

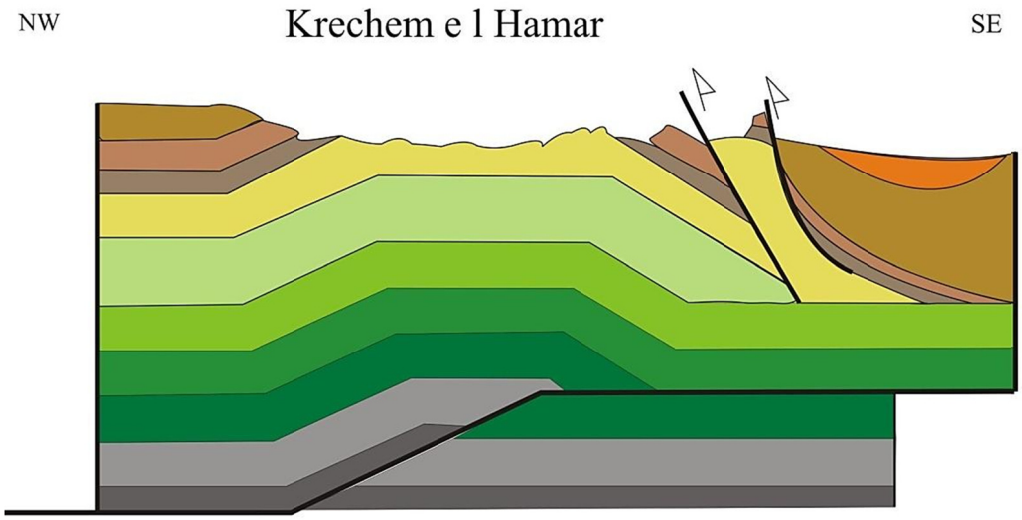


Fig. 1.30 Modèle de pli passif sur rampe de Krechem el Hamar d'après A.Hammami [2007]

5.17. Travaux relatif à la gravimétrie

Plusieurs travaux gravimétriques ont fait l'objet d'études concernnant la structure salifère du Jebel Ech Cheid [Ben Assi *et al.*,2006b, Hachani,2006, Hachani *et al.*,2006, Ben Assi,2009, Hamdi-Nasr *et al.*,2009].

Le matériel triasique du Jebel Ech Cheid est entouré par les dépôts quaternaires qui sont de faible densité ce qui peut constituer un excès de masse au niveau de la tranche

superficielle. L'effet de cette tranche se traduit par une anomalie positive d'amplitude importante [Ben Assi et al.,2006b].

De la même façon [Hachani et al.,2006] ont utilisé l'approche gravimétrique pour mettre en relief des accidents nouveaux dans toute les directions. Cependant, d'après ces nouvelles données exposées, ils ne donnent pas une interprétation cohérente et claire, de plus leurs interprétation est basée seulement sur les données gravimétriques et la carte géologique de [Perthuisot,1978c]. De ce fait ils n'ont pas une chronologie basée sur des données de terrain pour leur interprétation« diapirique » de la structure salifère du Jebel Ech Cheid.

Pareillement [Hamdi-Nasr et al.,2009] ont employé l'approche gravimétrique pour mettre en évidence une structure « diapirique » à réponse positive. Ils utilisaient le schéma rétro-tectonique de Dali[1979] modifié (figure 8 *in* [Hamdi-Nasr et al.,2009]) figurant des failles inverses à l'Aptien. Ces failles inverses nous conduisent à admettre une tectonique compressive aptienne. Dans les régions voisines plusieurs auteurs prouvent le contraire [Chikhaoui,1988, Martinez et al.,1991, Chikhaoui et al.,1998, Vila et al.,1999, Ghanmi *et al.*,2001, Vila et al.,2002].

A proximité de la structure de Chitana/ed Djebs (feuille 1 :50 000 Medjez el Bab) le Jebel Mourra est interprété comme une structure salifère « diapirique » en se basant uniquement sur la gravimétrie [Ben Assi *et al.*,2006a]. Les auteurs proposent une structure « diapirique » à intrusion verticale enracinée avec une réponse positive de l'anomalie de Bouguer de la masse salifère. En revanche une étude structurale a été faite sur la structure du Jebel Mourra [Masrouhi,2006, Masrouhi et al.,2007] mettant en évidence une structure salifère à épanchement horizontal : « glacier de sel » aux cours des époques distensives du Crétacé inférieur.

Par conséquent, nous allons utiliser l'approche gravimétrique intégrée avec d'autres approches en leurs états bruts dans notre interprétation. Cette dernière sera utilisée prudemment dans le chapitre 4.

6. Méthodologie

À fin de résoudre la problématique de la thèse, nous avons adopté une démarche multi-scalaire et pluridisciplinaires qui s'appuie sur :

• la photo-interprétation : Les photographies aériennes grâce à leurs visions stéréoscopiques ont permis l'élaboration de cartes morpho-structurales. Ensuite elles sont validées et complétés sur le terrain. Notons que cette analyse effectuée à l'échelle de 1/25 000

(mission 1974) a été menée conjointement avec les cartes topographique d'échelle 1/ 50 000 (feuilles de Medjez el Bab, Oued Zargua, Téboursouk et Gafour).

• étude géologique de terrain à savoir la cartographie, la stratigraphie, la paléontologie et la tectonique. L'approche géologique du terrain consiste essentiellement à l'analyse des relations stratigraphiques et structurales des séries sédimentaires touchant les masses salifères dans la Tunisie septentrionale. Cette analyse repose sur une cartographie détaillée (secteur par secteur). Des dizaines de coupes lithostratigraphiques et structurales ont été levées. Plus encore, des déterminations microfaunistiques ont été effectuées afin de dater les différentes formations sédimentaires.

De plus, nous avons utilisé la technique d'estimation les taux d'extrusions du matériel salifère et leurs vitesses d'épanchements, en appliquant la théorie de Talbot & Jarvis [1984]. La méthodologie de l'application de la théorie est bien illustrée et appliqué dans le chapitre 4.

Note : les dureés des étages géologiques utilisées dans les calculs de cette théorie sont extraites de Walker & Geissman [2009] (Fig.1.31).

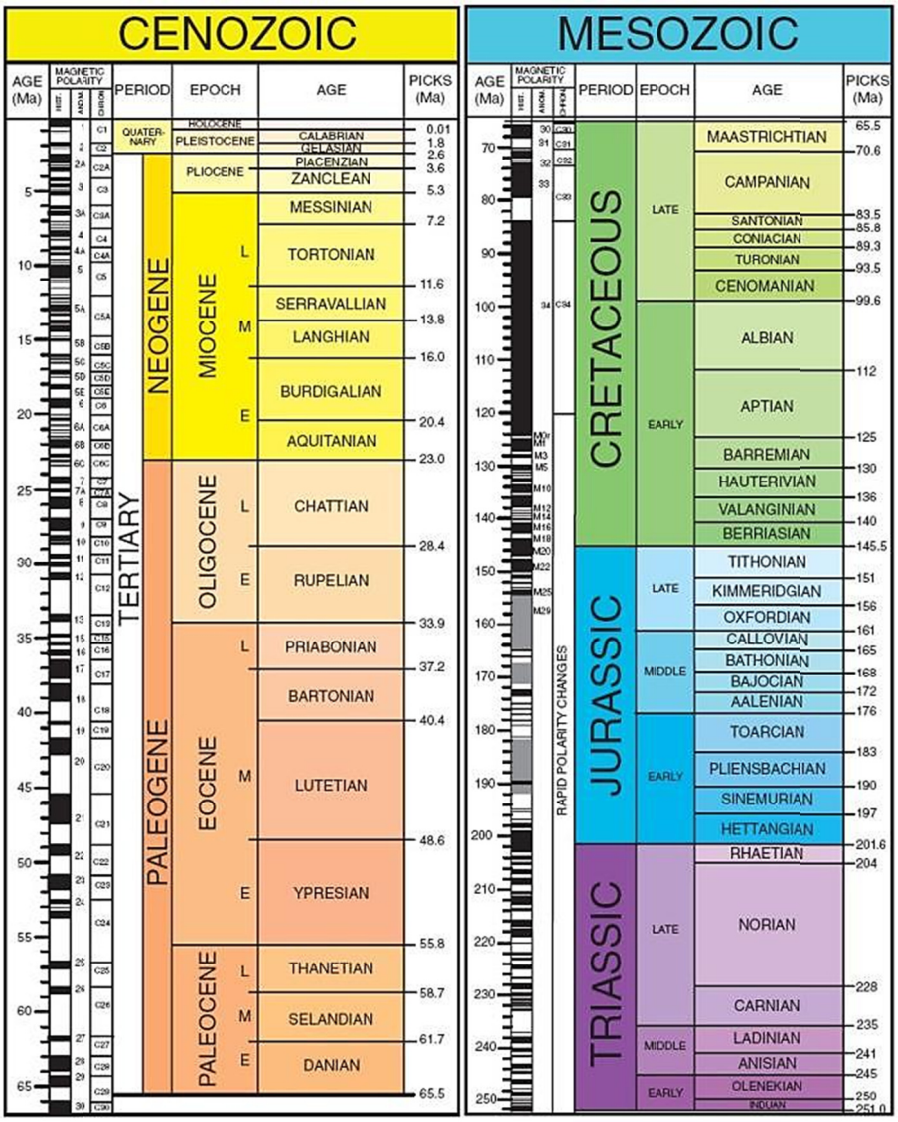


Fig.1.31 Echelle géologique utilisée dans les calculs appliqué de la théorie de Talbot et Jarvis [1984] par Walker & Geissman [2009].

CHAPITRE 2

STRATIGRAPHIE

STRATIGRAPHIE

Ce chapitre est consacré à décrire les éléments de faciès lithologiques identifié dans la zone d'étude. Nous avons pris conscience que le travail cartographique et l'exercice de la géométrie et la superposition des strates des affleurements encaissants du matériel salifère nécessite d'utiliser de bonnes datations pour affiner notre examen des structures salifères étudié et bien cerner la chronologie des mouvements des masses salifères. De plus ce choix est composé par la nature de la sédimentation de type « Sillon Tunisien » [Burollet,1956]. Il est facile d'y confondre de point de vue lithostratigraphique les marno-calcaires de type *black shale* du Crétacé inférieur avec ceux du Crétacé supérieur. En effet, le sillon Tunisien est compartimenté en mini bassins [Salaj & Bajanik,1972, Dlala,1995, Ben Slama,2004] ajoutant l'existences de reliefs sous-marins dus essentiellement à la présence des structures salifères et à l'architecture en en horst et graben dessinant la majeur partie de l'Atlas Tunisien au cours et post Crétacé inférieur [Perthuisot,1978b, Chikhaoui,1988, Ben Ferjani *et al.*,1990, Martinez et al.,1991, Vila *et al.*,1996a, Souquet et al.,1997, Chikhaoui et al.,1998, Bouaziz *et al.*,2002, Vila et al.,2002, Ghanmi,2003, Ghanmi *et al.*,2005, Jallouli *et al.*,2005a, Masrouhi,2006].

1. Le Trias

Le Trias de la marge téthysienne est constitué essentiellement de dépôts lagunaires à lacustres. Ces dépôts sont le produit de la crise Permo-triasique induite essentiellement par : une grande régression contemporaine d'une crise volcanique majeure, avec réchauffement climatique et extinction de la majorité des espèces biologiques...

Il s'agit en fait de formations complexes, renfermant des masses argilo-gypseuses, calcaires, dolomitiques, plus ou moins chaotiques. Dans ces conditions il est difficile, soit impossible de reconstituer la série stratigraphique initiale.

Dans la province salifère (Fig.1.16) du Nord de la Tunisie, les affleurements triasiques sont fréquents. Ils occupent souvent une position anormale. Ils sont soit injectés à la faveur de failles, soulignant les bordures des corps salifères avec leur encaissant, soit en position diapirique renversant leur encaissant, soit en position de dômes de sel, soit glissés à la manière d'un « glacier » dans les sédiments encaissants.

1.1. Constitution lithologique du Trias

Tout d'abord dans la structure du Jebel Ech Cheid [Perthuisot,1972, 1978b] le Trias a été cartographié par unité lithologique, en se basant sur une coupe type faite au Jebel Rhouis en Tunisie centrale [Burollet,1956]. Les différentes unités sont classées comme suit de la plus ancienne à la plus récente:

Ta : gypses et pélites.

Tb : psammites et gypses.

Tc : calcaires et dolomies.

Td : brèches calcaires et calcaires jaunes [Perthuisot,1972], (Fig.2.1).

Le matériel triasique de la structure Chitana/ed Djebs présente les mêmes faciès que ceux du Jebel Ech Cheid. On note l'existence d'une importante masse d'Halite à J. Ech Cheid.

Ce découpage du matériel triasique établi par V. Perthuisot [1978] est utile plus loin dans ce travail pour la reconstitution de l'évolution de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid et Chitana/ed Djebs ainsi que les bassins environnants.

1.2. Age du matériel salifère et essai de reconstitution de coupes stratigraphiques dans le Trias

Les dépôts salifères en Tunisie ont un âge triasique [Pervinquière,1903]. Ils sont essentiellement des dépôts de sebkha.

Les affleurements du complexe triasique occupent une surface importante. Ils se composent de marnes, de grès bariolés et de masses énormes de gypses multicolores. Le gypse triasique de couleur noire. L'existence de sel est attestée par des sources d'eau salée (J. Mellaha, A^{e}el Houbja, oued el Merire, oued el Meleh de Slouguia...). Dans la région el Mallaha dans le flanc Sud du Jebel Ech Cheid, il existe des dépôts de sel provenant de la dissolution de l'halite triasique (Fig.2.3). La densité moyenne de matériel triasique a été réexaminée sur des échantillons représentatifs pris au Jebel Ech Cheid par la Japan & Metal mining [2001] ; nous avons ajouté la densité de l'halite aux autres composants pour avoir une densité moyenne proche de réalité du terrain. Elle est de 2,39 g/cm^3 ; il s'agit d'une moyenne des différentes densités calculé d'après l'examen des échantillons pris du Trias du J. Ech Cheid [Japan & Metal mining,2001] (Tableau. 2.1).

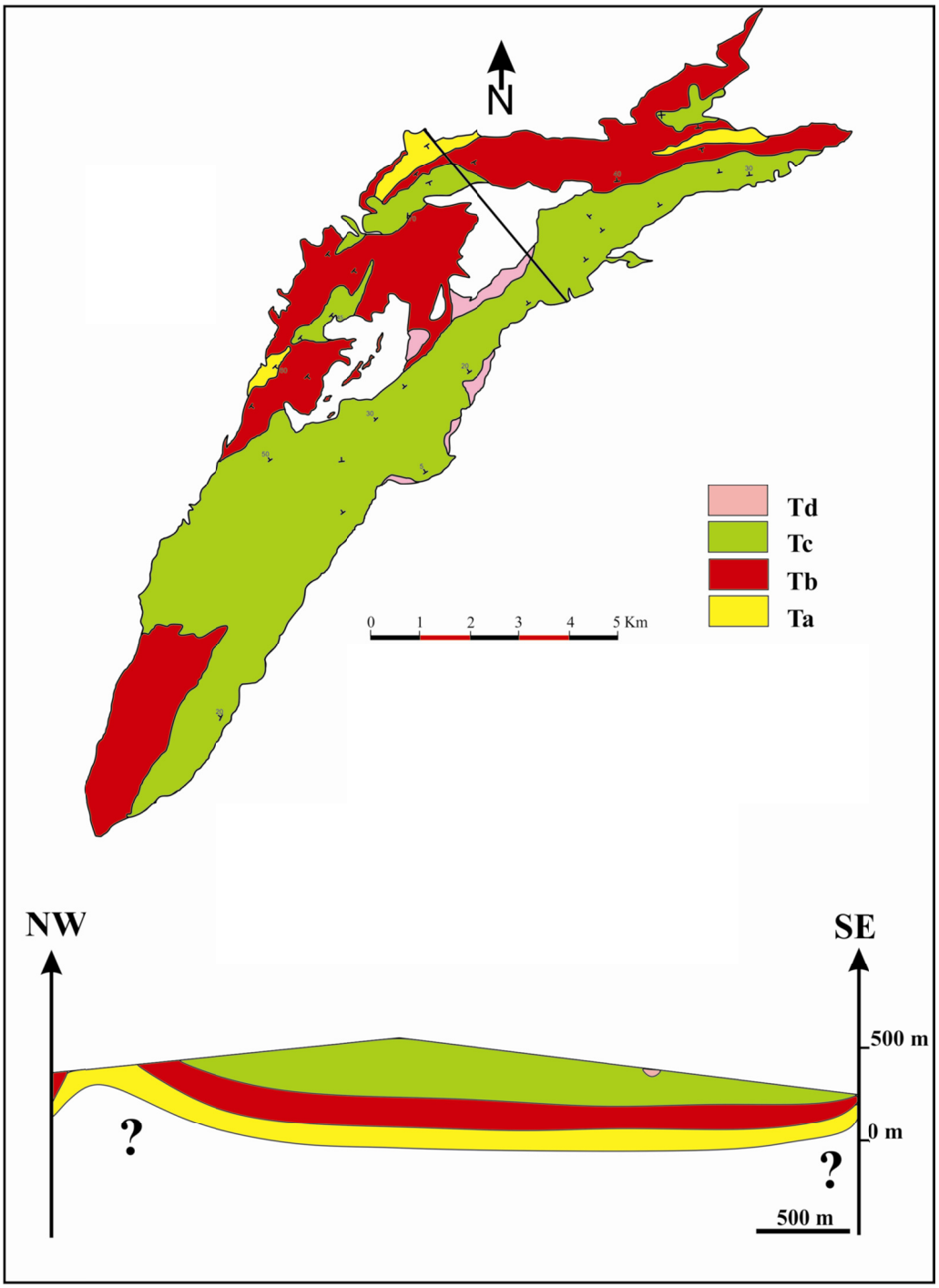


Fig.2.1 Esquisse des unités du Trias d'après V.Perthuisot [1972]

Temps Géologique	Roches	Densité moyenne (g/cm^3)	
Trias	Dolomie	2,77	2,39
	Grès	2,25	
	Argiles		
	Gypses		
	Halite	2,17	

Tableau. 2.1 Densité moyenne des roches triasique d'apès Japan & Metal mining [2001]

1.2.1. Le forage MJTK-L1, 399.5 m

Le profil dessiné par la Japan & Metal mining [2002] (Fig.2.2) montre que le forage MJTK-L1 passe en partie par une formation présumée aptienne. En revanche notre examen des carottes du forage montre qu'il s'agit dans sa totalité du matériel triasique.

Nous avons eu l'occasion d'examiner le forage minier MJTKL1 (Fig.2.4) qui présente de haut en bas 150 mètres de gypses, 180 mètres de marnes et argiles noires triasiques , une série gréseuse d'environ 50 mètres, le forage se termine par une série gypseuse à la base.

La lithologie de ce forage nous permet de faire une corrélation avec des coupes lithostratigraphiques faites par F. Kamoun et al. [1998], F. Kamoun et al. [2001] et D.Mehdi et al.[2009] dans la série triasique. Ceci nous permet d'après les travaux de P.F. Burollet [1973], F. Kamoun et al. [1998], F. Kamoun et al. [2001] et D.Mehdi et al.[2009] d'attribuer la colonne lithostratigraphique du forage MJTKL1 au **Rhétien/ Norien**.

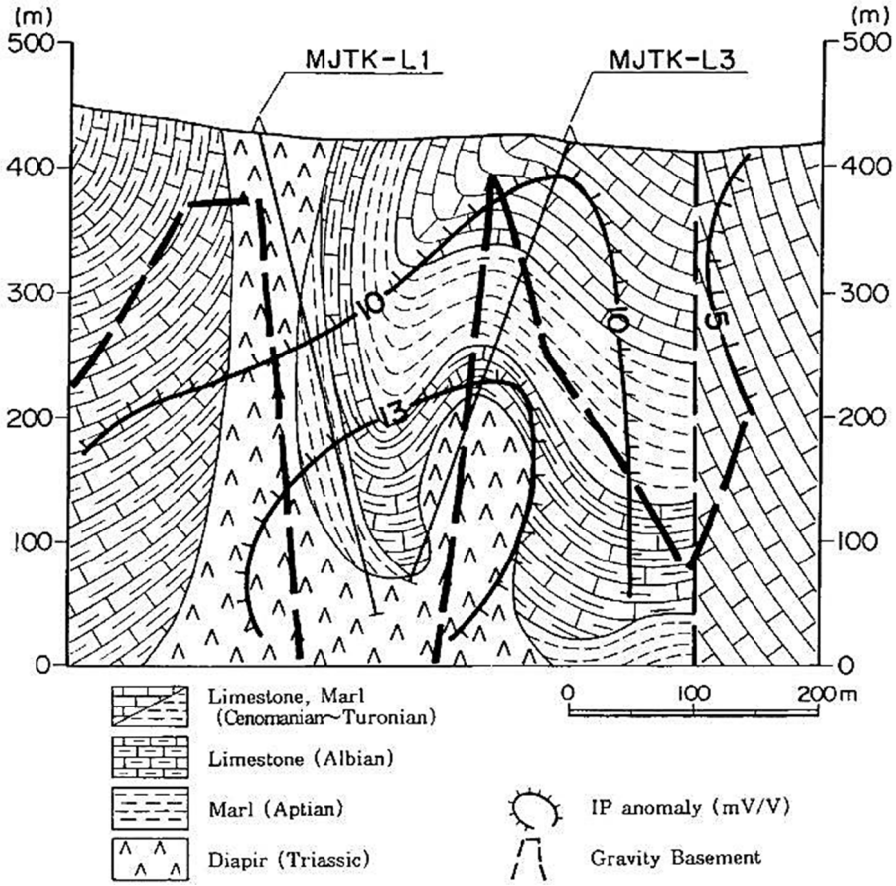


Fig.2.2 Profil géologique passant par les forages MJTKL1 et MJTKL3 selon Japan & Metal mining [2001].

Fig.2.3 Illustrations montrant le produit de la dissolution de l'halite triasique à l'Oued Mezaz el Beguer au pied du J. Mellaha (photos prises en été)

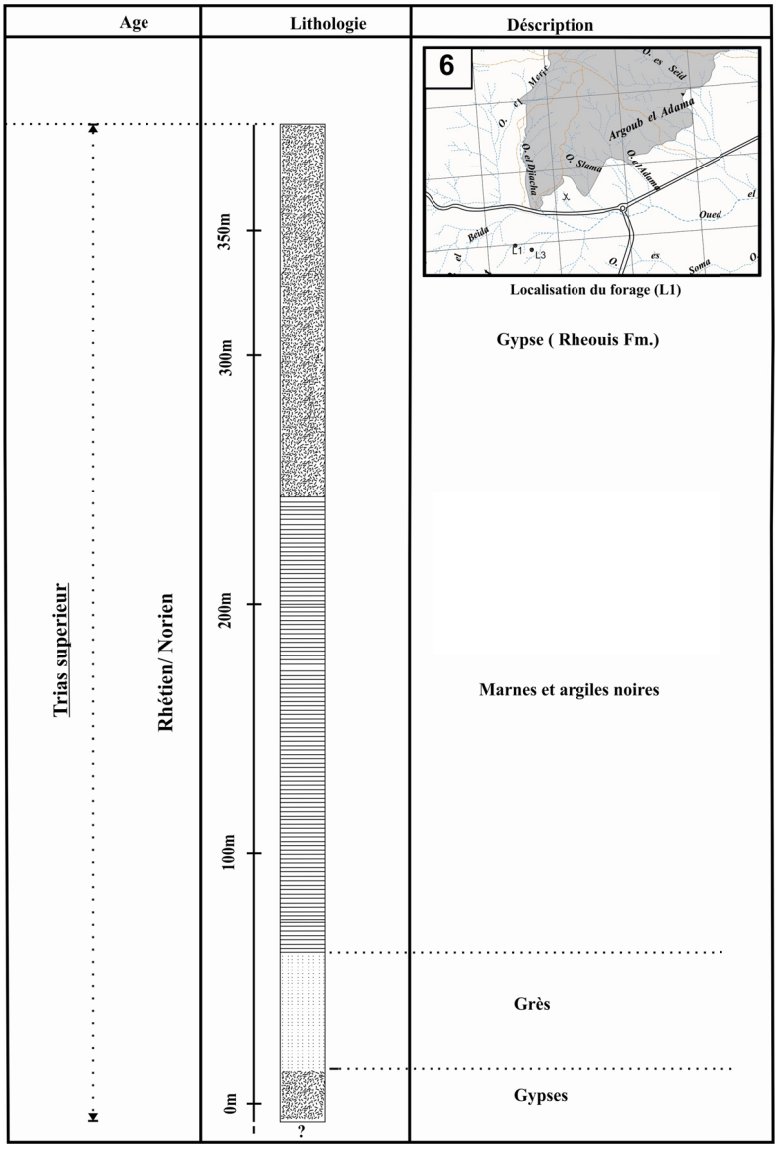


Fig.2.4 Représentation lithologique du forage minier MJTKL1 (forage réexaminé dans ce travail depuis la carothèque de l'O.N.M.)

La corrélation de coupes de terrain de F.Kamoun et al. [2001] et du forage MJTKL1 montre que les dépôts triasiques les plus récents appartiennent au formations Oust et Fkirine (Fig.2.5) qui disparaissent en allant depuis le niveau du Marabout de Sidi Abdallah Cheid au nord-est jusqu'à la terminaison de la masse salifère au sud-ouest (J. El Akhouat).

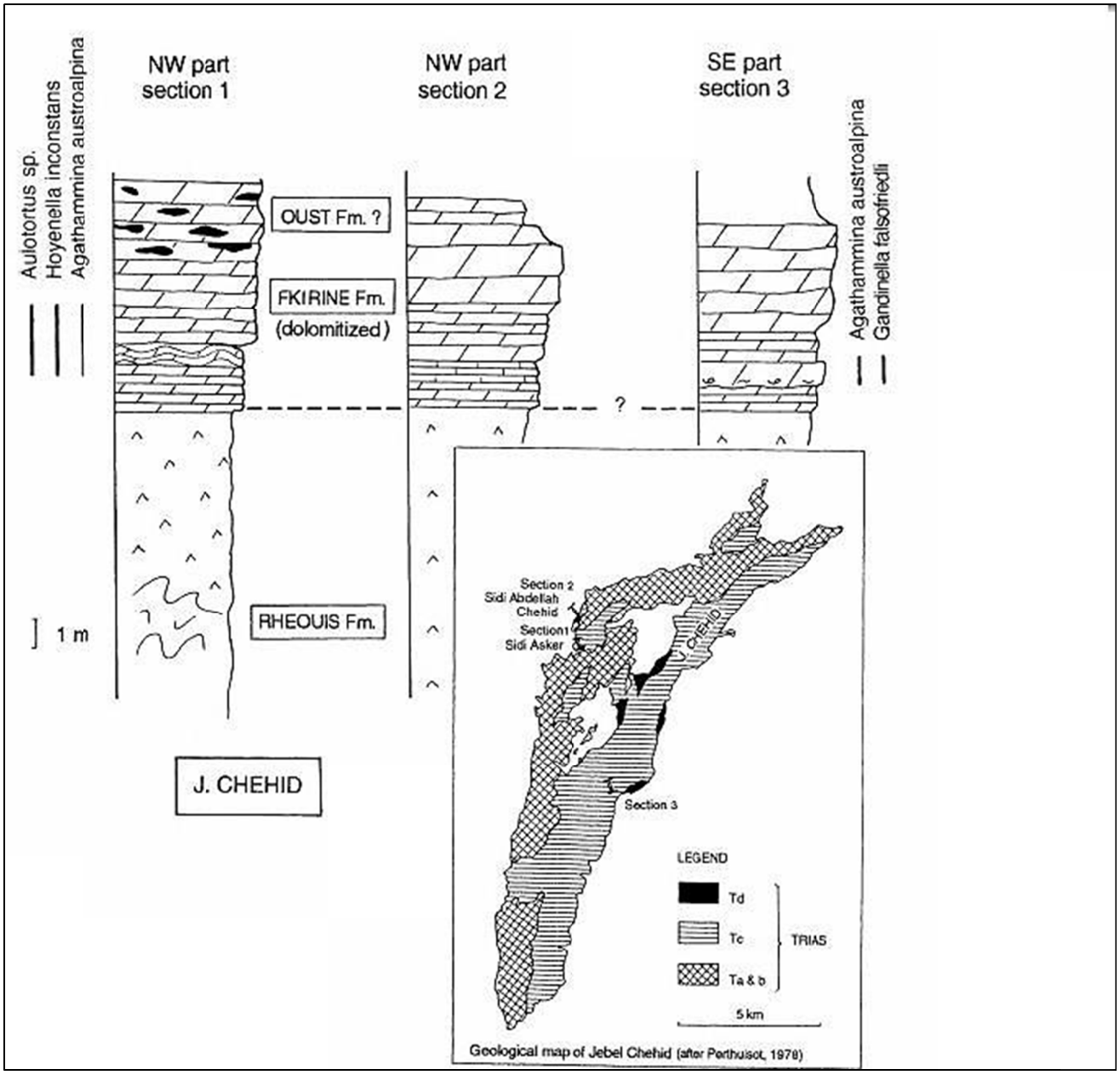


Fig.2.5 Lithostratigraphie du Trias du Jebel Ech Cheid selon F.Kamoun et al. [2001]

1.3 Les roches volcaniques

Les roches volcaniques dans le secteur d'étude sont incluses dans le matériel salifère. Elles sont présentes surtout dans la zone « Azeme Asoued » (voir localisation (Fig.1.15)).

Les roches volcaniques sont essentiellement des « ophites » où des roches basaltiques. Des échantillons représentatifs montrent des remaniements probablement de sédiments triasiques (Fig.2.6 B) c'est ce qu'on appelle : « pépérites » [Skilling *et al.*,2002].

La nature des laves permet d'envisager une mise en place en contexte de *rifting* durant au moins l'époque triasique. Les phases distensives d'âge triasique ont été mises en évidence dans les régions limitrophes [Laridhi–Ouazâa & Dali,1991, Adil *et al.*,1992, Laridhi–Ouazâa,1994].

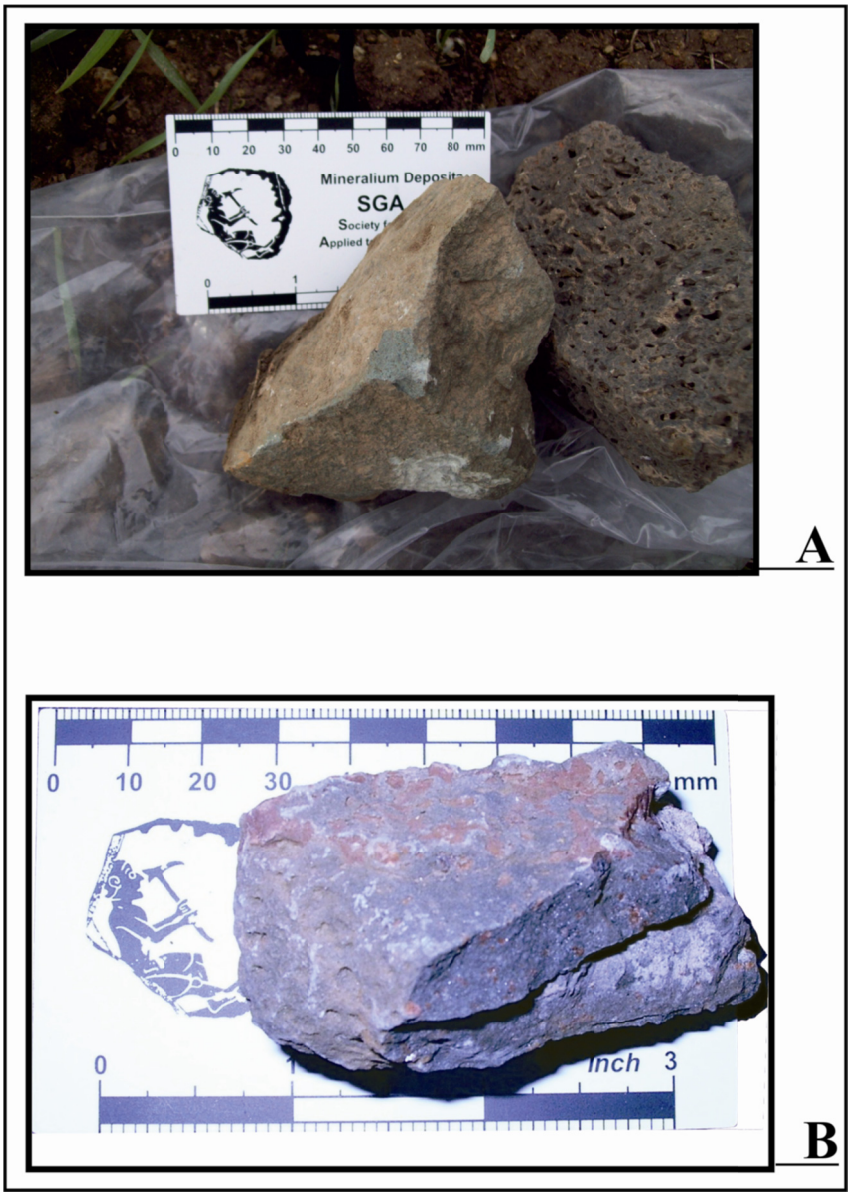


Fig.2.6 Roches basaltiques : « Ophites » : A : Ophites verte, B : roche verte à remaniement de sédiments probablement d'âge triasique.

2. Le Jurassique

Tout d'abord les dépôts jurassiques dans le secteur du Jebel Ech Cheid sont emballés dans le complexe salifère et ne présentent pas les qualités d'un affleurement autochtone, quant à Chitana/ed Djebs ils n'existent pas. Le sédiment Jurassique n'a pas été atteint par les forages pétroliers MN1, AK1, TEB1 et KBD (voir suite Fig.2.10).

Les formations jurassiques affleurant dans les régions voisines ont fait l'objet de plusieurs études lithostratigraphiques [Pini *et al.*,1969 , Peybernès *et al.*,1996, Boughdiri *et al.*,2007].

Les travaux les plus récents [Boughdiri *et al.*,2005, Cordey *et al.*,2005, Boughdiri et al.,2007, Sallouhi,2008, Boughdiri *et al.*,2009, Boughdiri *et al.*, 2006], présentent des coupes lithostratigraphiques allant de l'Aalénien-Bajocien inférieur jusqu'au Crétacé basal. Et ceci le long de la ride Jebel Thamroura, Jebel Chaabane, Jebel Djedidi et Jebel Lansarine.

2.1.1. Le Jurassique du secteur d'étude

Dans le flanc nord-ouest de la structure du Jebel Ech Cheid, près du Marabout de Si Abd Allah Ech Cheid affleure un grand bloc de calcaire fin gris foncé (Fig.2.8). Examiné en lame mince il s'agit de micrite à filaments. Il a été mis en évidence par F.Kamoun et al. [2001]. Ce bloc est emballé dans les gypses triasiques. Il présente une succession de bancs décimétriques serré et se termine par une barre calcaire d'épaisseur métrique (Fig.2.8). D'après les études stratigraphiques et biostratigraphiques récentes [Boughdiri et al.,2005, Cordey et al.,2005, Boughdiri et al.,2007, Sallouhi,2008, Boughdiri et al.,2009, Boughdiri et al., 2006] nous considérons à l'appui de la charte stratigraphique (Fig.2.7) qu'il s'agit d'une partie de la formation Kef el Orma d'âge aalénien [Cordey et al.,2005, Boughdiri et al.,2009].

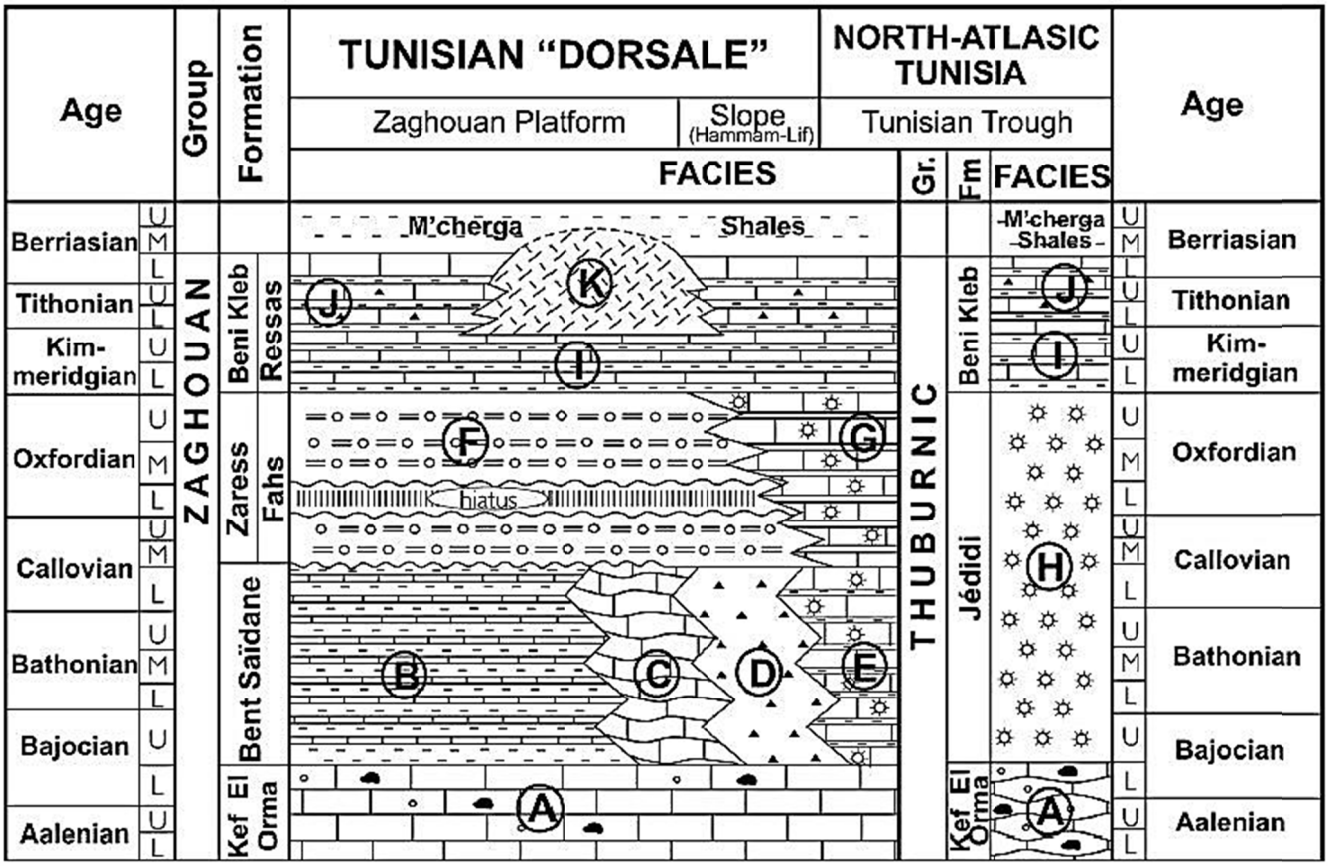


Fig.2.7 Charte stratigraphique et répartition des faciès en Tunisie septentrionale au cours de l'intervalle Dogger Berriasien, Faciès : (A) calcaires fins à ammonites, « filaments », *Zoophycos* et silex , (B) marno-calcaires à ammonites, « filaments » et *Zoophycos* ; (C) calcaires noirs à « filaments » ; (D) brèches de Bou Kornine ; (E) marnes calcaires siliceuses ; (F) marnes et calcaires noduleux rouges, faciès « ammonitico rosso » ; (G) calcaires argileux ou durs siliceux (« faciès ocellé ») ; (H) séries siliceuses de la formation Jédidi ; (I) calcaires pélagiques à *Saccocoma* ; (J) calcaires lités ou pseudobréchiques à calpionelles ; (K) calcaires subrécifaux de la formation Ressas extrait de F.Cordey et al. [2005]

Le bloc a été probablement remobilisé suite aux phases tectoniques distensives bien connues de la fin du Jurassique et du Crétacé inférieur.

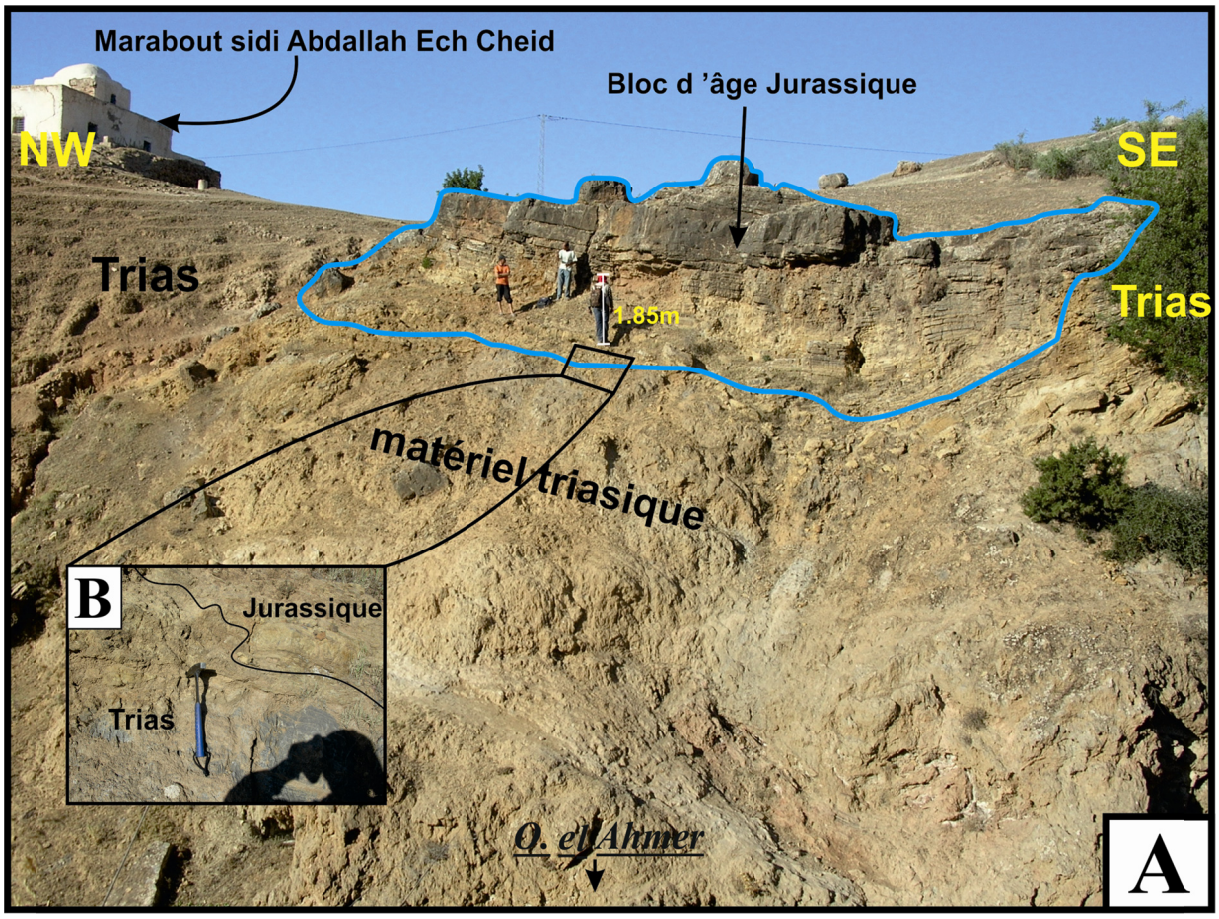
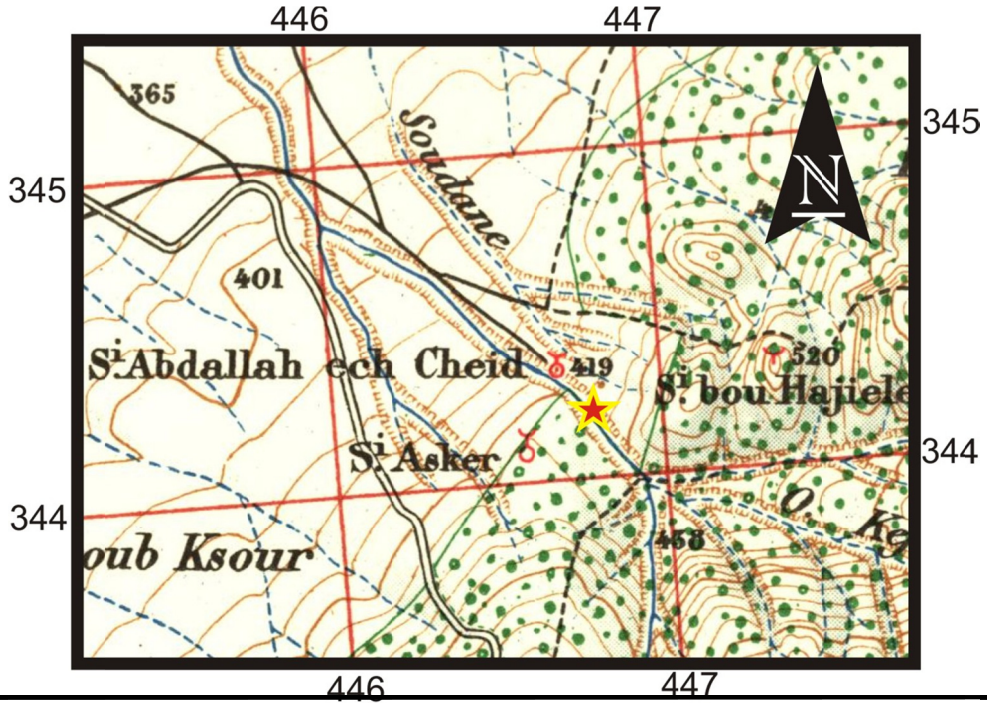


Fig.2.8 A : Vue panoramique montrant le seul affleurement jurassique du Jebel Ech Cheid ★ : Emplacement du bloc du Jurassique emballé dans le complexe triasique ; B : cartouche : détail du contact de base du Jurassique.



3. Le Crétacé

Les affleurements crétacés du Jebel Ech Cheid correspondent à l'intervalle Barrémien-Maastrichtien.

3.1. Coupes lithostratigraphiques représentatives du secteur d'étude

3.1.1. Le Barrémien

Les séries barrémiennes sont toutes en contact avec le matériel triasique. Elles sont toutes tronquées. La série la plus épaisse et la plus représentative du secteur d'étude est celle qui affleure à l'oued el Aouess au Nord-est de la masse principale du Jebel Ech Cheid.

Cependant, les séries barrémiennes n'affleurent pas dans le secteur Chitana/ ed Djebs et ceci en se basant sur les nouvelles datations et coupes géologiques faites toute autour de la structure [Ben Slama,2004].

La série de l'oued el Aouess (Fig.2.9) est épaisse d'environ 120 m. Il s'agit d'une série marno-calcaire noire très pauvre en microfaunes (Fig.2.9).

Les dépôts du Barrémien affleurent dans :

- la région de Knana : il s'agit d'argiles marneuses noires d'épaisseur inférieure à 50 m ;
- la région de l'oued el Haje Mohammed et oued el Guettar : il s'agit d'une série marno-calcaire noire pauvre en microfaunes (*Dorothia*) et de faunes benthiques; cette série à une épaisseur d'environ 60 m; il s'agit d'une série d'âge Barrémien révélant les foraminifères suivants : *Dorothia sp* et *G. barremiana*.
- la région de la mine de Sidi Ayed : il s'agit d'une série très réduite d'environ 15mètres. Notamment celle qui affleure au Nord de la galerie de la mine k^{at} Sofra ;
- la région de l'Azem el Asoud dans le flanc Sud-est du Jebel Ech Cheid, il s'agit d'une série marno-calcaire d'épaisseur d'environ 80 m;
- le forage pétrolier KBD implanté à Dj. Bou Dabouss au Nord de la structure du Jebel Ech Cheid (coordonnées Lambert : x : 446, y : 360) montre une série du Barrémien supérieur épaisse d'environ 530 m ;
- les forages MN1 et AK1 implantés respectivement au Dj. Mansour et dans la région d' el Aksab [Jauzein & Berthe,1961, Dali,1994] ; en fait, il s'agit d'une

série marno-calcaires noires épaisse d'environ 1400 m dans le forage MN1 et 880 m pour le Néocomien dans le forage AK1.

La corrélation des séries barrémiennes faite à partir des coupes de terrain et des forages minier et pétroliers disponibles dans le secteur d'étude et dans les zones environnantes, montre une forte augmentation des épaisseurs des dépôts du Barrémien de part et d'autre de la structure du Jebel Ech Cheid (Fig.2.10).

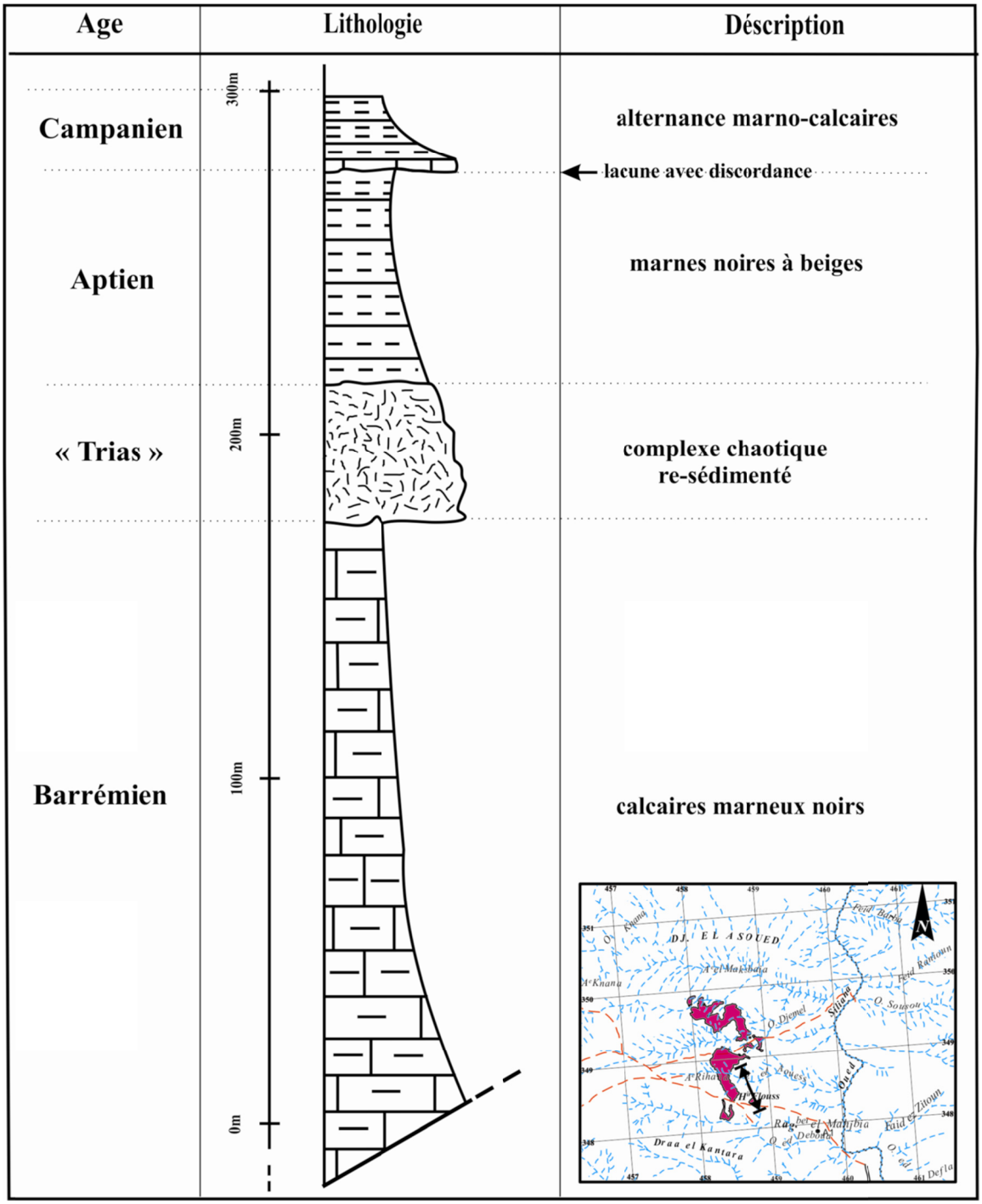


Fig.2.9 Colonne lithostratigraphique de la région de l'oued el Aouess

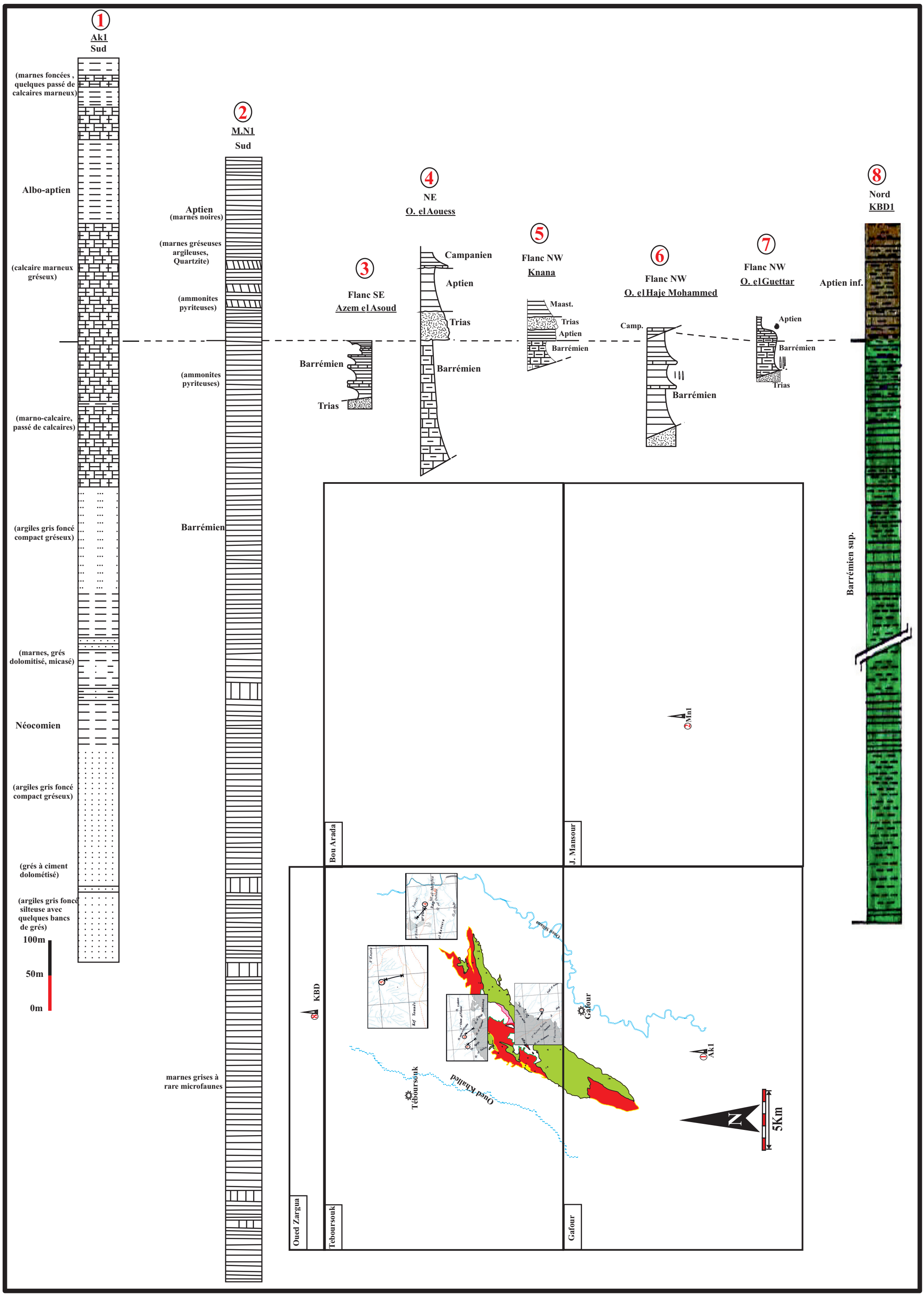
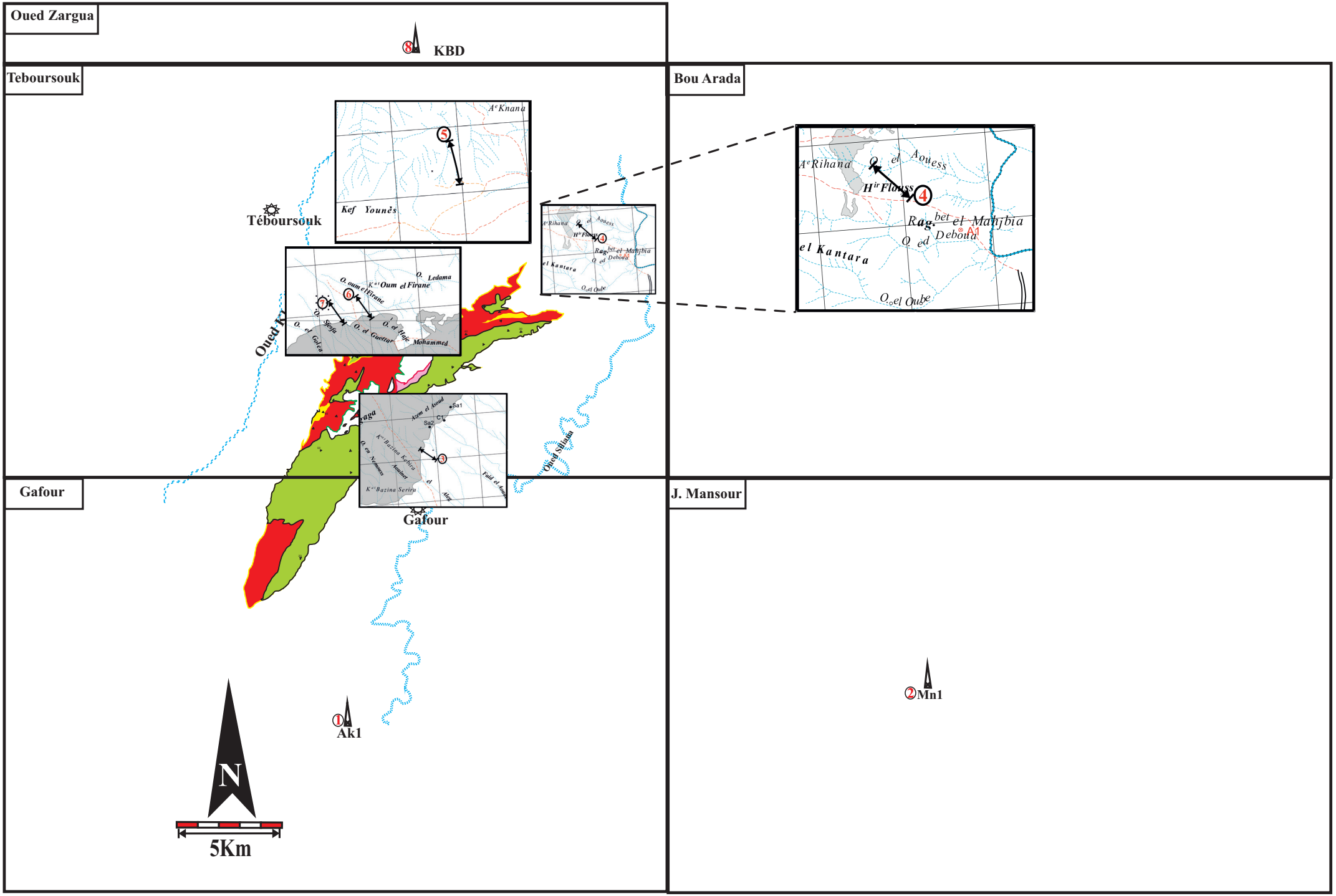


Fig.2.10 Corrélation des dépôts du Barrémien dans le secteur d'étude et les régions avoisinantes


Oued Zargua
KBD
Teboursouk
Bou Arada
Téboursouk
Oued Kr
Gafour
Oued Sillaha
Gafour
J. Mansour
Ak1
Mn1
N
5Km

Suite Fig.2.1

3.1.2. L'Aptien

Dans la structure de Chitana/ed Djebs n'affleure que la partie sommitale des dépôts d'âge aptien. Il s'agit d'une série épaisse de 30 m qui affleure au pied nord-ouest du Jebel Ed Djebs. Les sédiments d'âge aptien renferment des remaniements du complexe triasique. Ce sont des marnes noires, plus au moins feuillètées. Elles renferment des bélemnites et des quartzs bipyramidés ainsi que des nodules de calcaire à patine claire. Plusieurs échantillons ont livré une association faunistique caractéristique de l'Aptien supérieur : *Hedbergella trocoidea, Lenticulina sp, Eocytheropteron sp. , Cytherella sp* (Fig.2.11).

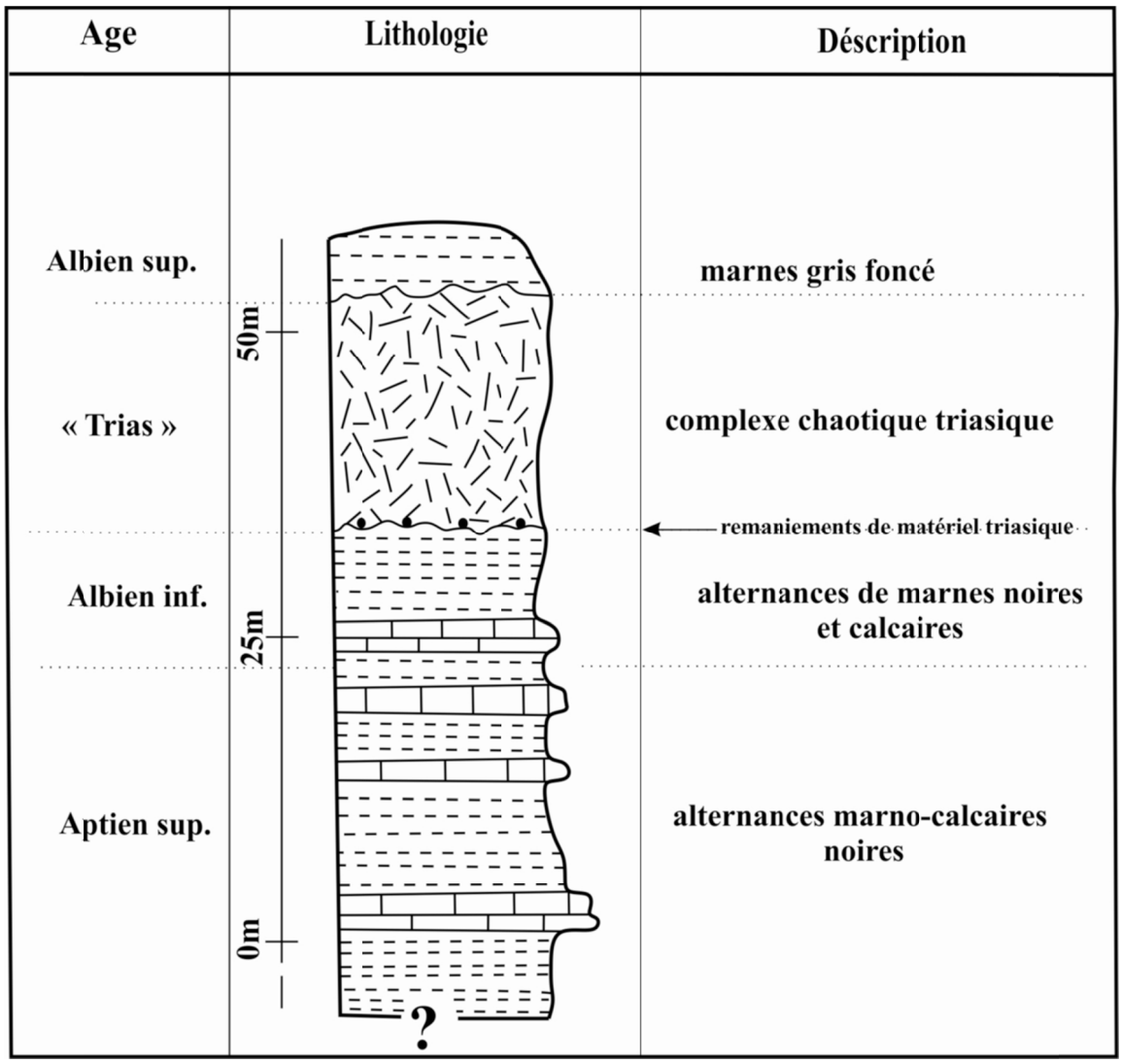


Fig.2.11 Colonne lithostratigraphique au pied nord-ouest du Jebel ed Djebs

Les dépôts de l'Aptien présentent une variation latérale d'épaisseur et de faciès (Fig.2.15) et ceci tout autour de la structure du Jebel Ech Cheid. Les séries sont

tronquées, hormis la série la plus épaisse et la plus représentative du secteur d'étude est celle qui affleure à l'oued el Merire au Sud-ouest de la masse principale du Jebel Ech Cheid (Fig.2.13). Cette variation de facies et d'épaisseurs sera examinée dans le Chapitre 3 « Analyse Structurale ».

Les dépôts de l'Aptien montrent deux types de faciès : 1. Un faciès de type sillon à dominance marno-calcaires ; 2. un faciès de type néritique où péri-récifal [Perthuisot,1978b, Sassi *et al.*,1991] (Fig. 2.12).

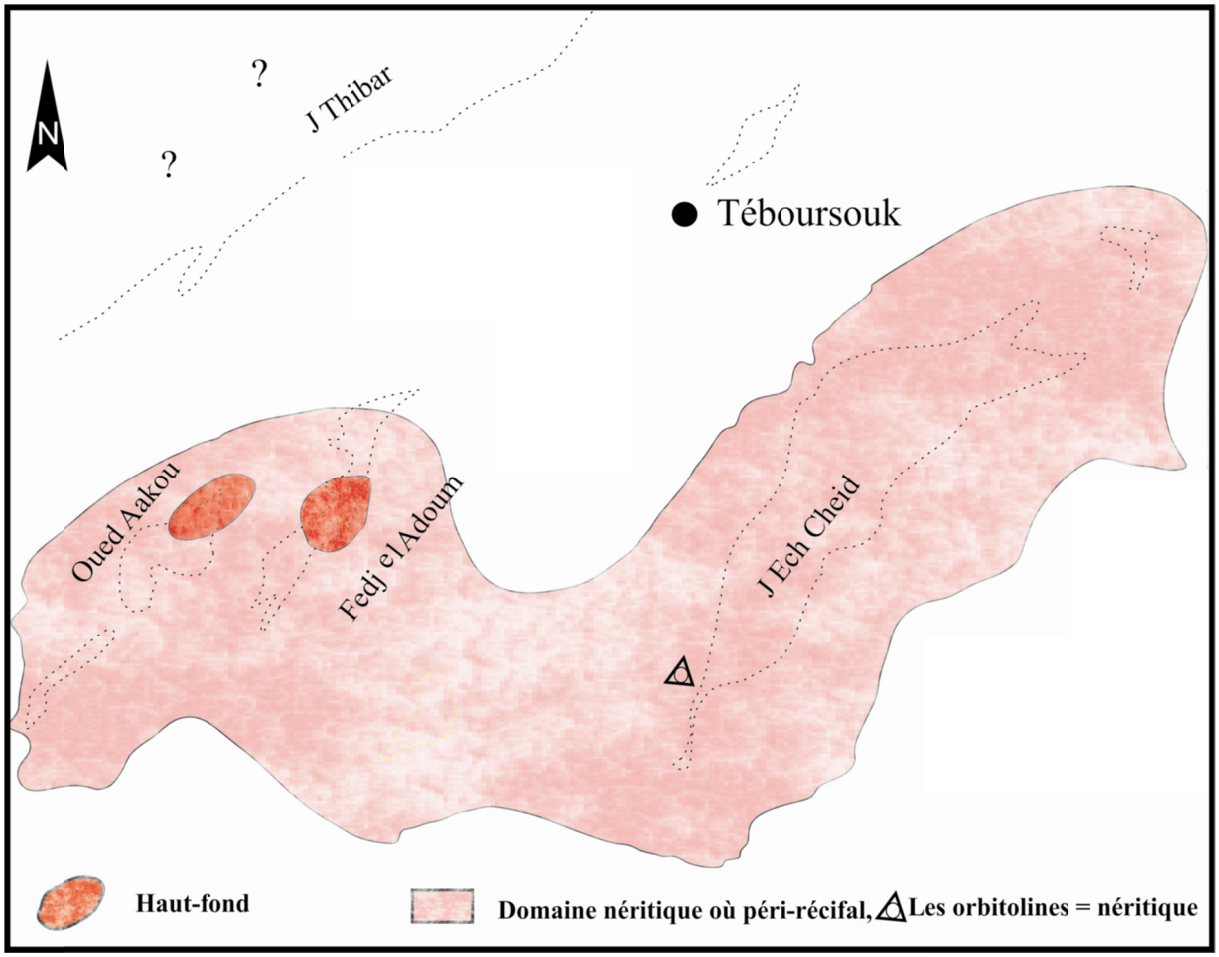


Fig. 2.12 Les dépôts de l'Aptien de la région de Téboursouk [Perthuisot,1978b, Sassi et al.,1991]

La coupe à proximité de l'oued el Merire (Fig.2.15, collonne 13), sur le flanc Ouest de l'anticlinal à cœur Aptien montre, de bas en haut**:**

a. une série de calcaire gréseux riche vers le sommet en orbitolines aptiennes d'épaisseur supérieur à 110 mètre d'épaisseur ;
b. ensuite on observe un niveau micritique riche en hedbergelles ;
c. une épaisse série de marnes vertes d'environ 250 m d'épaisseur.

Cette série est attribuée à l'Aptien.

- À Jebel Assoued (Fig.2.15, colonne 7) au Nord-est de la masse principale du Jebel Ech Cheid, de bas en haut on distingue :
  a. une alternance marno-calcaires noir à la base ;
  b. le sommet de la série aptienne est représenté par une alternance de grès et marnes gréseuses de l'Aptien supérieur qui forme le relief du Jebel el Asoued ;
  c. La série se termine par des marno-calcaires ;

En outre, la série aptienne est observée dans les localités suivantes :

- dans l'affluent Ouest de l'oued el Khemis (Fig.2.15, colonne 2) affleure une alternance de marnes noires et calcaires ne dépassant pas les 50 mètres d'épaisseur.
- à l'oued el Khemis affleure la série aptienne suivante (Fig.2.15, colonne 3):
  - une série marno-calcaire noire ;
  - surmonté par une série marneuse verte ayant livré *Planomalina cheniourensis*, foraminifère typique de la dernière bio-zone à foraminifères de l'Aptien.
- entre l'oued el Guettar (Fig.2.15, colonne 4) et l'oued el Haje Mohammed affleure des sédiments d'âge Aptien. Il s'agit d'une série débutant par un niveau marneux surmonté par une assise de calcaires en bancs d'épaisseur décimétrique. La série se poursuit par une série marneuse de 50 m d'épaisseur ayant fournis de petites ammonites oxydées indéterminables. La série est attribuée à l'Aptien (d'après la datation de Ben Youssef, M.).
- au Nord du Jebel el Kechrid (Fig.2.15, colonne 5) affleure une alternance de marnes et de calcaires dolomitisé.
- à l'oued Knana (Fig.2.15, colonne 6) affleure un niveau de quartzite qu'on peut attribuer à la formation Hemeima.
- à Raguoubet Mahjebia affleure une série aptienne de marnes noires d'épaisseur ne dépassant pas les 50 mètres.
- au Sud du Marabout de Si Gassem (Fig.2.15, colonne 9) affleure une série de marnes et grès ayant une épaisseur d'environ 200 mètres.
- les forages miniers Sa4 (Fig.2.15, colonne 10) et MJTKC1 (Fig.2.15, colonne 11) implantés à l'Est de l'Azeme Asoud montrent respectivement une mince série aptienne épaisse d'environ 15 mètres et une série aptienne d'environ 95 mètres d'épaisseur (Fig. 2.14). on note le renversement de la série du forage MJTKC1.

- à l'oued Djacha (Fig.2.15, colonne 12) et dans le flanc Est de l'anticlinal à cœur Aptien affleure une série de grès à orbitolines surmonté par une série de marnes vertes. Le sommet est occupé par une alternance de marnes et dolomies tronqué par une faille.
- à l'oued el Baida (Fig.2.15, colonne 14) et dans le flanc Ouest de l'anticlinal cité ci-dessus la série aptienne présente la même épaisseur. En revanche dans la partie aval de l'oued Baida la série aptienne s'amincit brutalement. Cette réduction de l'Aptien sera expliquée plus loin dans la partie analyse structurale.
- Plus au Sud les forages pétroliers AK1 et MN1 présentent une épaisse série de l'Aptien respectivement 400 m et 260 m.
- Au Nord de la structure du Jebel Ech Cheid le forage pétrolier KBD1 montre une série marno-calcaire épaisse d'environ 360 m.

La corrélation lithostratigraphique des séries aptiennes révèle un amincissement de la sédimentation tout autour de la structure salifère. En outre on remarque la présence d'une importante sédimentation de l'Aptien à dépôts silicoclastiques de la formation M'Chargua et ceci au environ de la structure salifère (Fig.2.15). La diminution des épaisseurs est remarquable lorsqu'on se rapproche de la masse salifère.

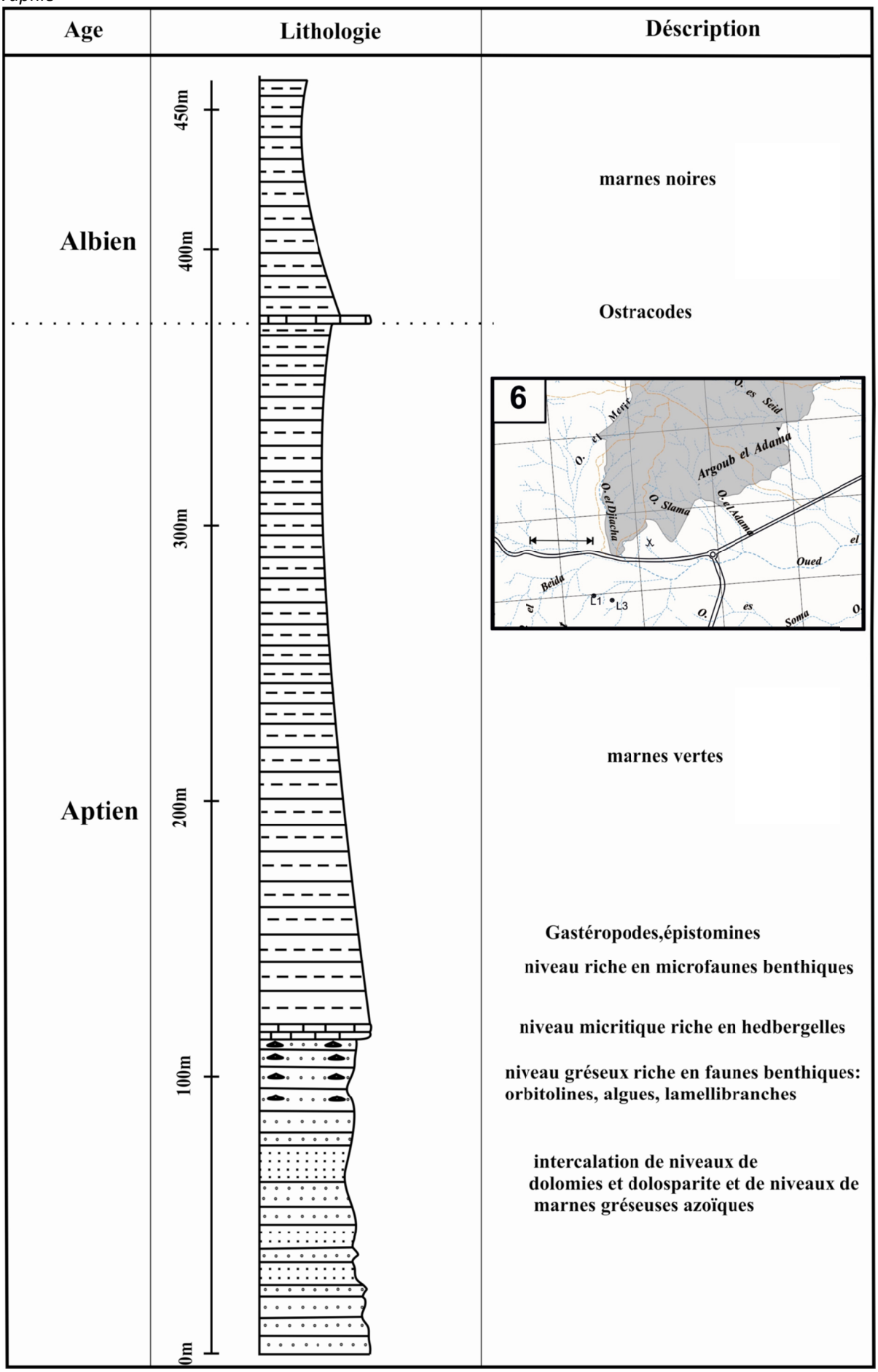


Fig.2.13 Colonne lithostratigraphique de l'Aptien de l'oued Merire.

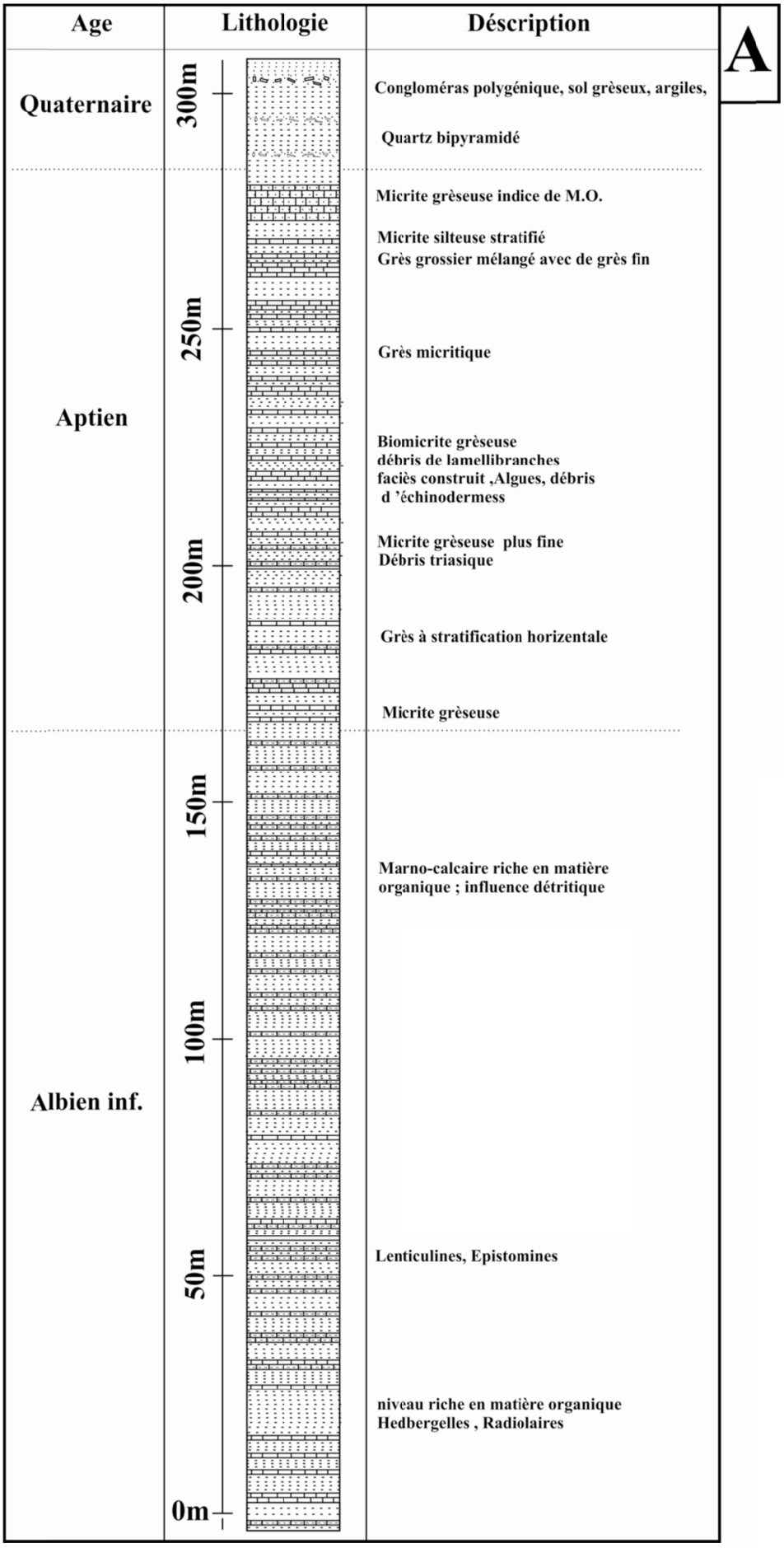
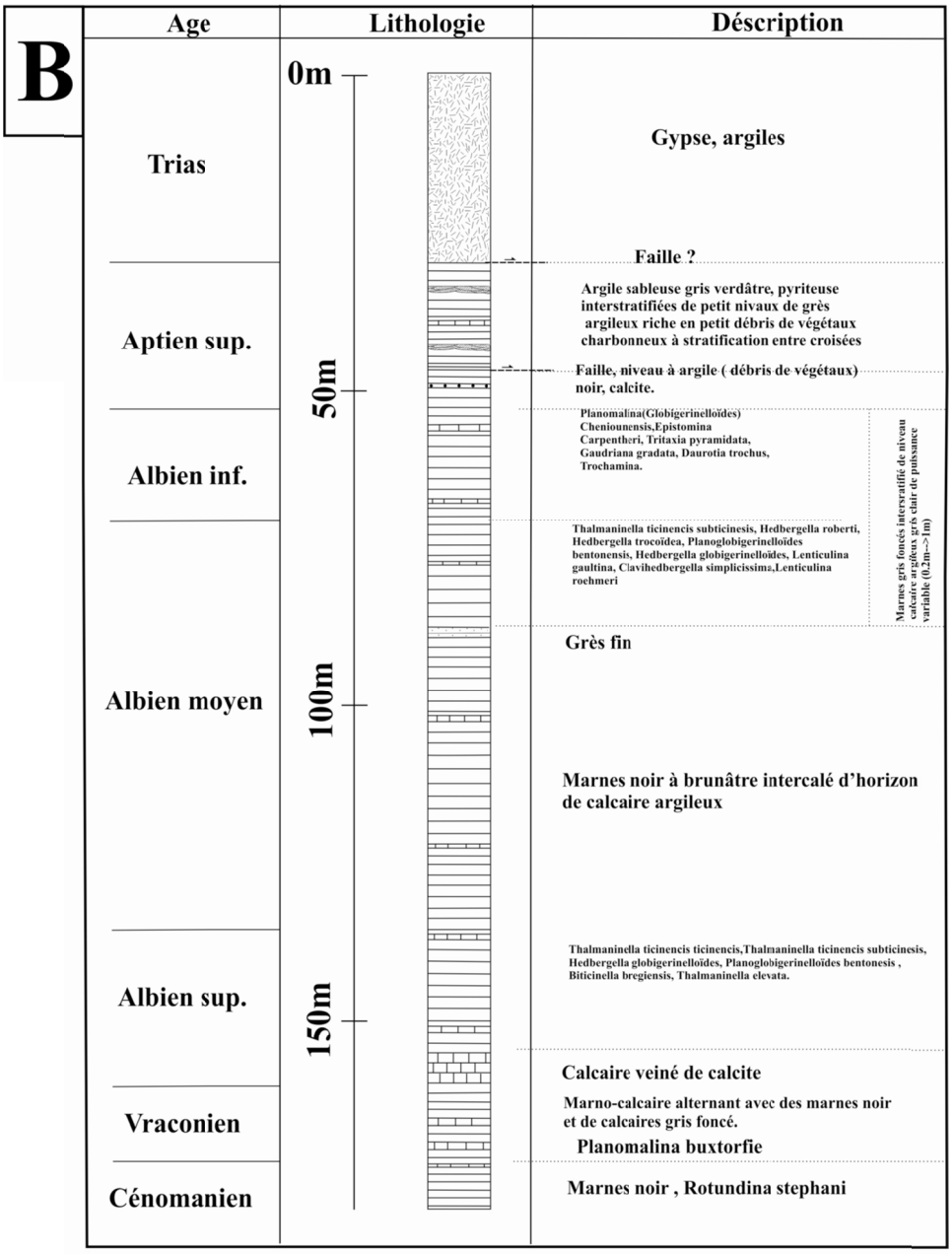
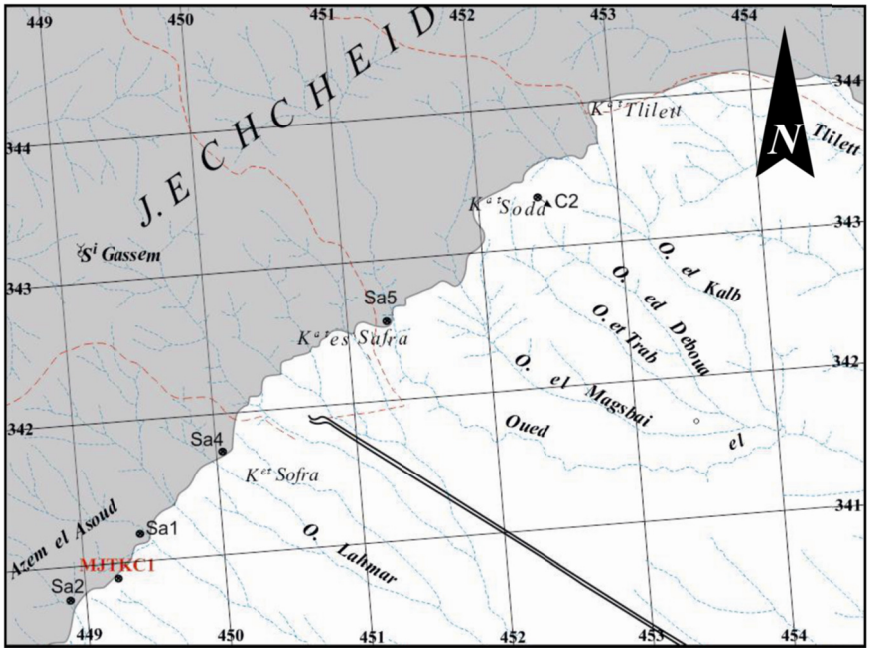


Fig. 2.14 (A) : Colonne lithostratigraphique du forage MJTK-C1 (ré-échantillonné et daté) et (B) : Colonne lithostratigraphique du forage SA4 (d'après un rapport inédit de l'O.N.M.)





Suite Fig. 2.14

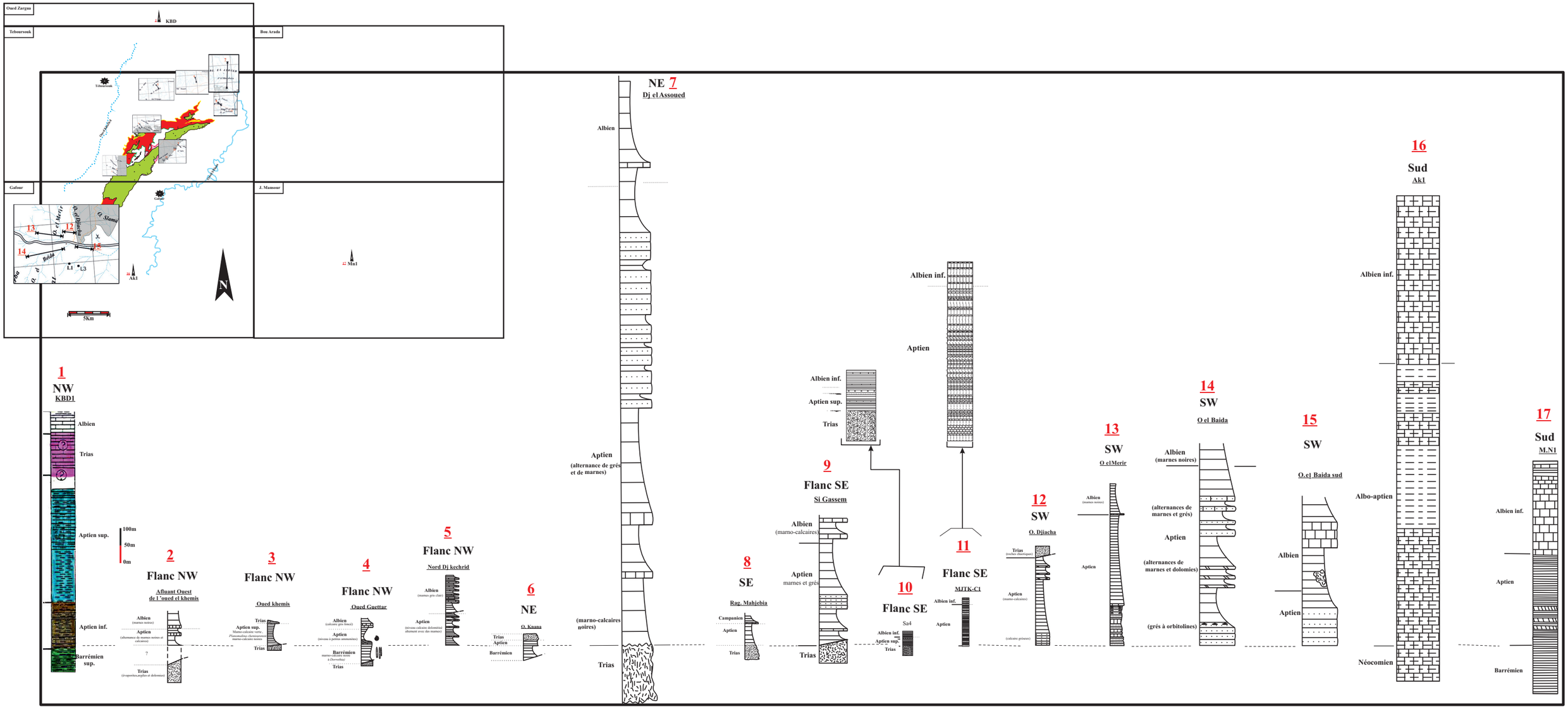
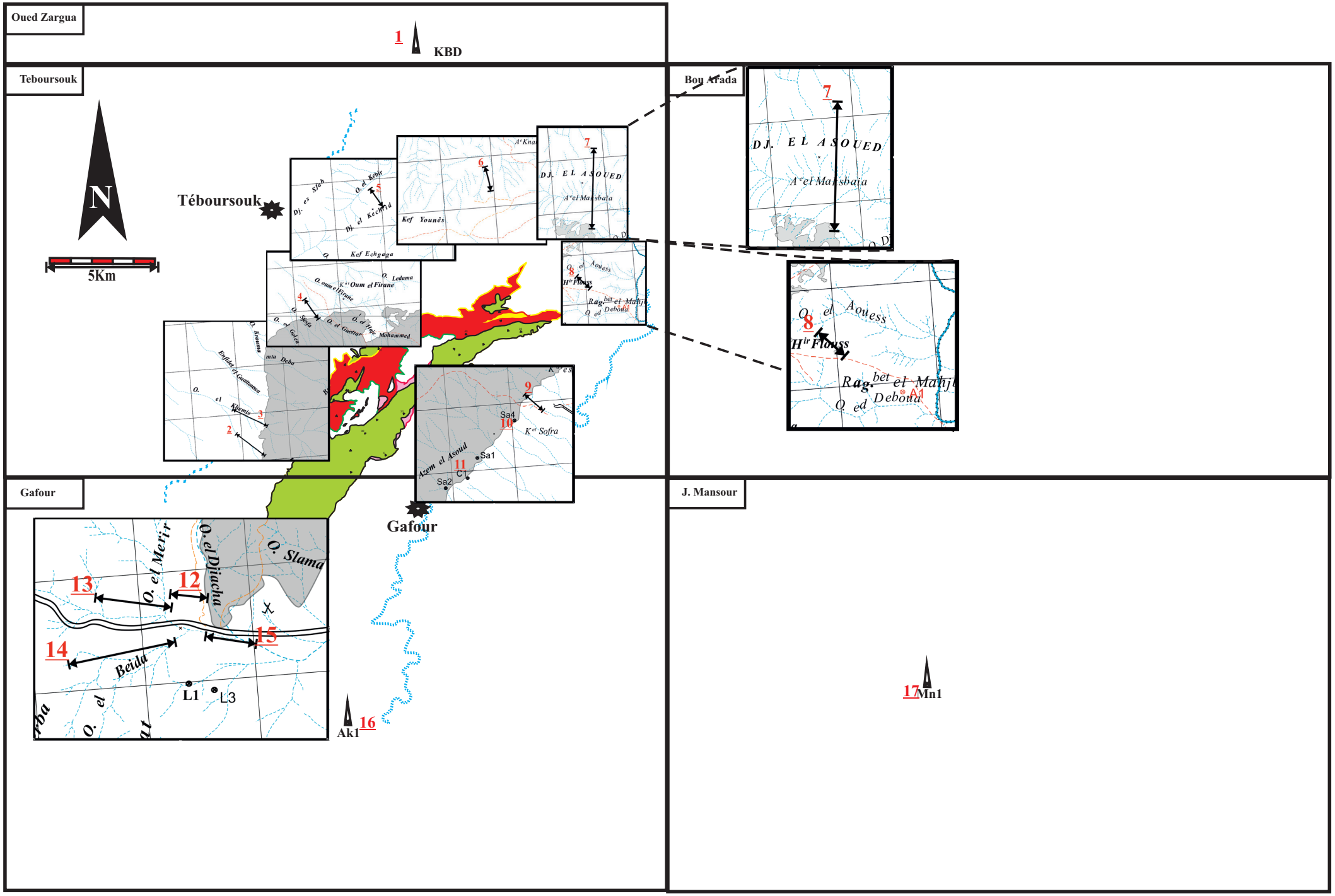


Fig.2.15 Corrélation lithostratigraphique des séries aptiennes



Suite Fig.2.15

3.1.3. L'Albien

Dans le secteur de Chitana/ed Djebs et au niveau de la colline de Sene ed Djemel, (Fig.2.16): on trouve au-dessus des marnes vertes aptiennes, une série composée de trois niveaux lithostratigraphiques :

A la base, il s'agit de calcaires avec intercalation de calcaires en plaquettes riches en Radiolaires... Cet ensemble est surmonté par une série formée essentiellement par du calcaire en plaquettes qui se terminent par des marnes et qui montrent quelques niveaux de quartzites. En outre s'intercalent des bancs de calcaires métriques de couleur rousse riches en foraminifères " benthiques " du Vraconien. Ensuite, on a des bancs de calcaires riches en matière organique, qui se terminent par une mince série de marne noire schisteuse vraconienne. Les échantillons sont très riches en *Planomalina buxtorfi*.

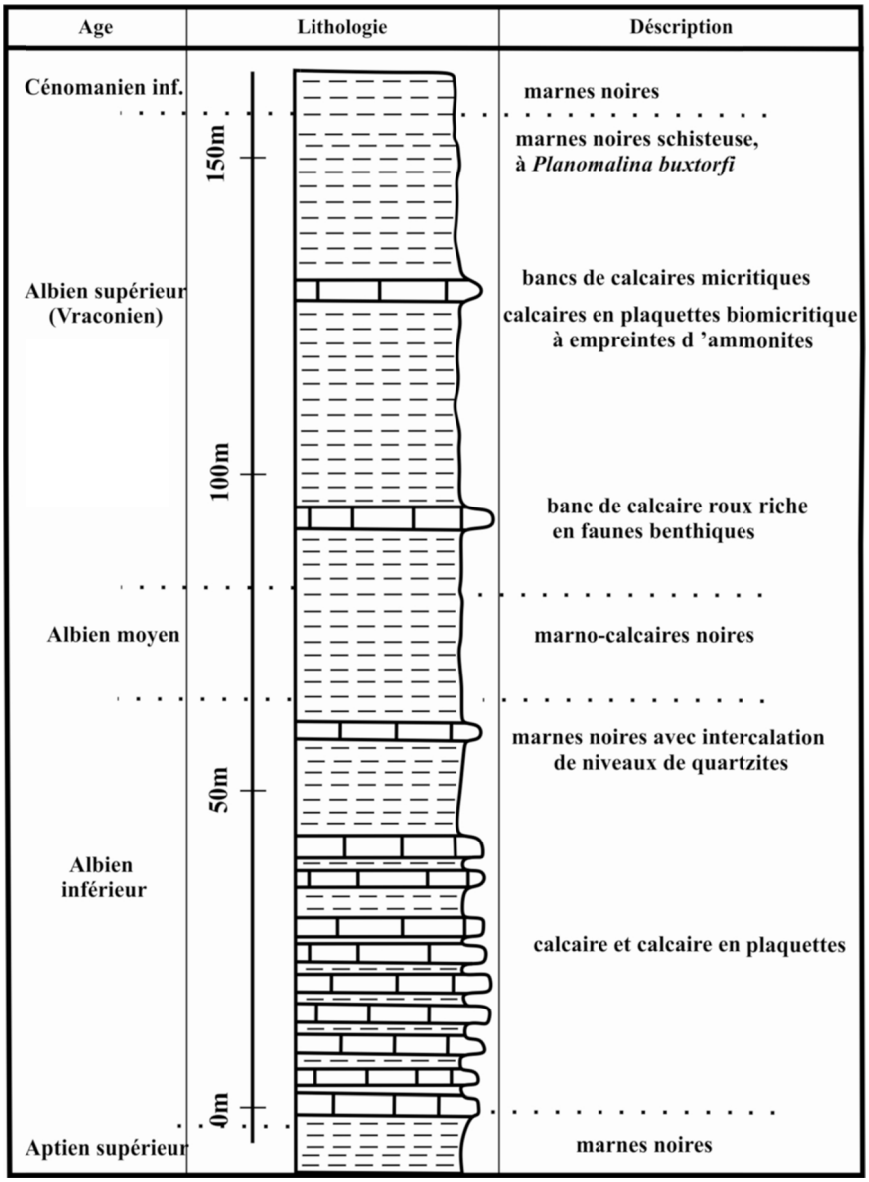


Fig.2.16 Colonne lithostratigraphique de l'Albien au niveau de la colline du Jebel Sene ed Djemel

Dans le secteur du Jebel Ech Cheid les sédiments d'âge Albien présentent une variation latérale d'épaisseurs et ceci tout autour de la structure du Jebel Ech Cheid. Ils sont tronqués, hormis la série la plus épaisse du secteur d'étude qui affleure à K^{at} Mejenba côte 593m dans le flanc Nord-ouest de la masse principale du Jebel Ech Cheid. Elle permet de distinguer la succession suivante : de la base vers le sommet (Fig.2.18)

a. une dizaine de mètres de marnes noires ;
b. une barre calcaire de couleur grisâtre riche en glauconie et de foraminifères benthiques ;
c. ensuite apparait une épaisse série marno-calcaire gréseuse riches en hedbergelles et radiolaires. La base de cette dernière révèle une association microfaunistiques d'âge Albien moyen ;
d. vers le sommet apparait un niveau marno-calcaire riche en matière organique et en glauconie. Il renferme une association microfaunistiques d'âge Albien terminal voir Vraconien (la partie supérieur de la formation Fahdene inférieur)

Soit environ 350 m d'épaisseur.

L'Albien affleure dans plusieurs endroits de part et d'autre de la structure salifère (Fig.2.19):

- dans l'affluant Ouest de l'oued el Khemis au-dessus des sédiments d'âge Aptien, on observe une série marneuse à la base, au centre une alternance marno-calcaires et au sommet des marnes noires. Elle révèle une association micro-faunistique d'âge Albien.
- à l'oued el Guettar affleure une barre calcaire gris foncé qui se termine par un paquet marneux. Elle présente une épaisseur d'environ 50m. Elle est attribuée à l'Albien inférieur.
- à l'oued Ledema une barre calcaire gréseuse à remaniement de boules micritique grise. Ces derniers montrent en lame mince des foraminifères planctoniques d'âge Albien.
- au Nord du Jebel el Kechrid affleure une série de marnes et calcaires d'une vingtaine de mètres d'âge Albien et ceci par l'intermédiaire d'un contact par faille avec les séries du Mio-Pliocène
- à l'oued Knana affleure une épaisse série d'alternance marno-calcaire de couleur noire. Elle révèle de bas en haut l'association microfaunistiques suivante : *subctinensis*, *praebuxtorfi*, *rotalipora ticinesis*, *planomalina buxtorfi*.

- à Jebel el Assoud affleure une série marno-calcaires d'âge Albien ; à proximité de l'oued Siliana on note la présence d'un olistrostrome dans la série albienne.
- au sud du marabout de S^{i} Gassem affleure un ensemble marno-calcaire noir d'âge Albien.
- au Nord de K^{at} Sofra a été implanté le forage minier Sa4 (**Fig. 2.14**B). Il présente une série d'alternance de grès fin et de marnes noires d'environ 100 m d'épaisseur.
- le forage MJTKC1 (**Fig. 2.14**A), implanté au pied Sud de l'Azem el Asoud. Il s'agit d'une série marno-calcaire à influence détritique.
- à Argoub Adama affleure une série marno-calcaire d'environ 70 m d'épaisseur.
- à l'oued el Merir affleure une série de marnes noires.
- à l'oued el Baida affleure une série albienne. Il s'agit de marnes noires à la base coiffé par une alternance de marnes et calcaires noires
- à l'oued el Baida Sud affleure une série de marnes noires à la base. Ensuite on trouve une barre calcaire d'âge Albien
- au niveau de la Mine d'el Akhouat. Il s'agit d'une alternance de marnes noires et de calcaires d'environ 200 m d'épaisseur.
- les forages miniers MJTKL5 (Fig. 2.17, colonne 17) et MJTKL2 (Fig. 2.17, colonne 16) présentent une alternance marno-calcaires noires avec une épaisseur environ 240 m.
- Les forages pétroliers AK1 et MN1 implanté au Sud du secteur d'étude et respectivement à l'Aksab (feuille 1 : 50 000 de Gafour) et au Jebel Mansour (feuille 1 : 50 000 du Dj. Mansour). Il s'agit d'une épaisse série d'alternances de marnes et de calcaires noires, environ 930 m au niveau du forage AK1. Cette série renferme tous les termes de l'Albien. La série marno-calcaires albienne traversé par le forage MN1, elle a une épaisseur d'environ 530 m.
- Au Nord de la structure du Jebel Ech Cheid a été implanté le forage pétrolier KBD1. il traverse probablement une série albienne qui ne dépasse pas les 50 mètres.

Note : La corrélation des séries albiennes (Fig.2.19) tout autour de la structure salifère met en évidence l'amincissement de la série au fur et à mesure qu'on s'approche du Jebel Ech Cheid. Cette variation est le produit de la sédimentation ou la partie subsidente est localisée au Sud et au Nord de la structure salifère du Jebel Ech Cheid. Notre interprétation de ces amincissements sera discutée dans la partie structurale.

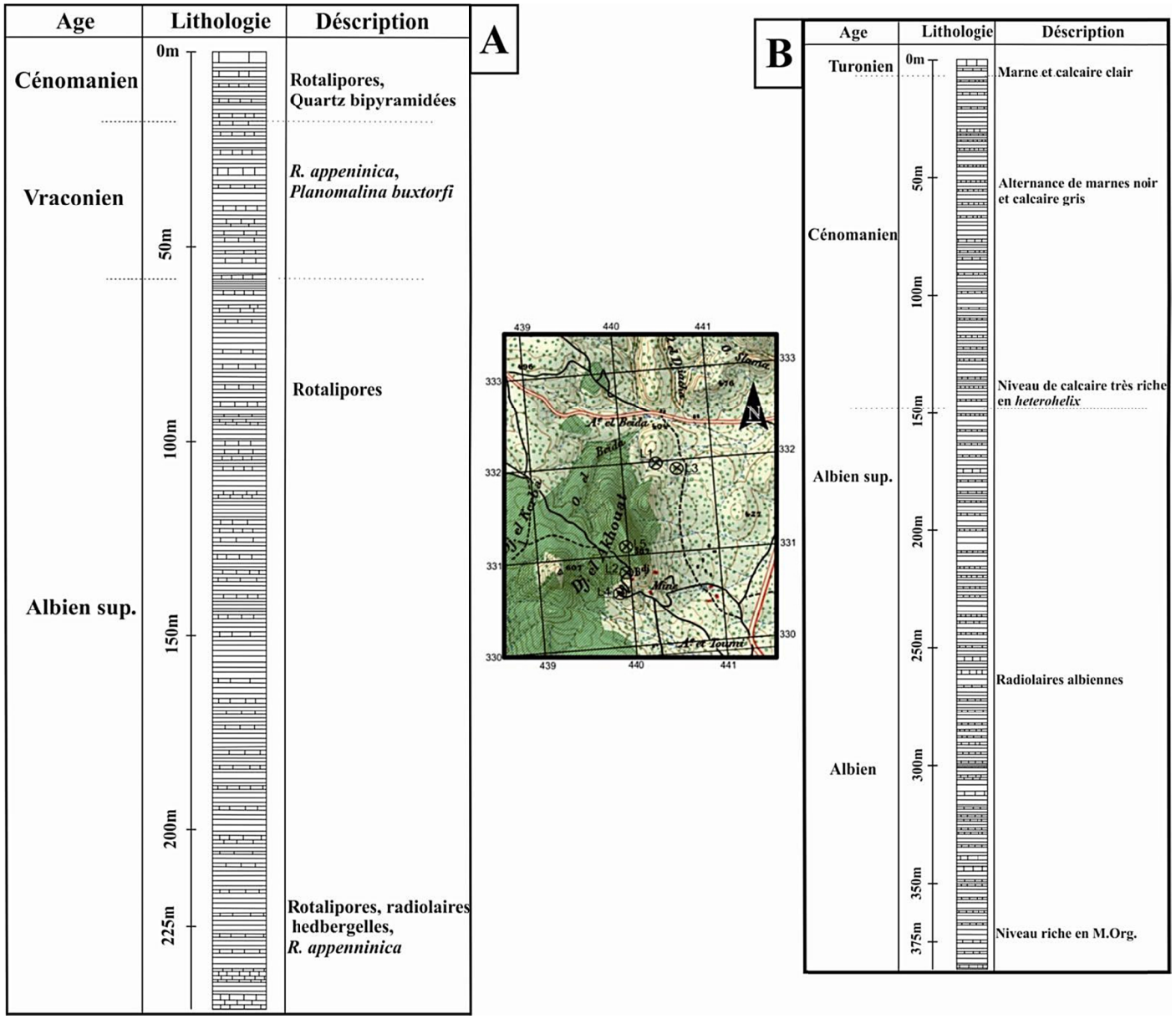


Fig. 2.17(A) : Colonne lithostratigraphique du forage MJTK-L5 et (B) : Colonne lithostratigraphique du forage MJTK-L2 ((ré-échantillonnées et datés)

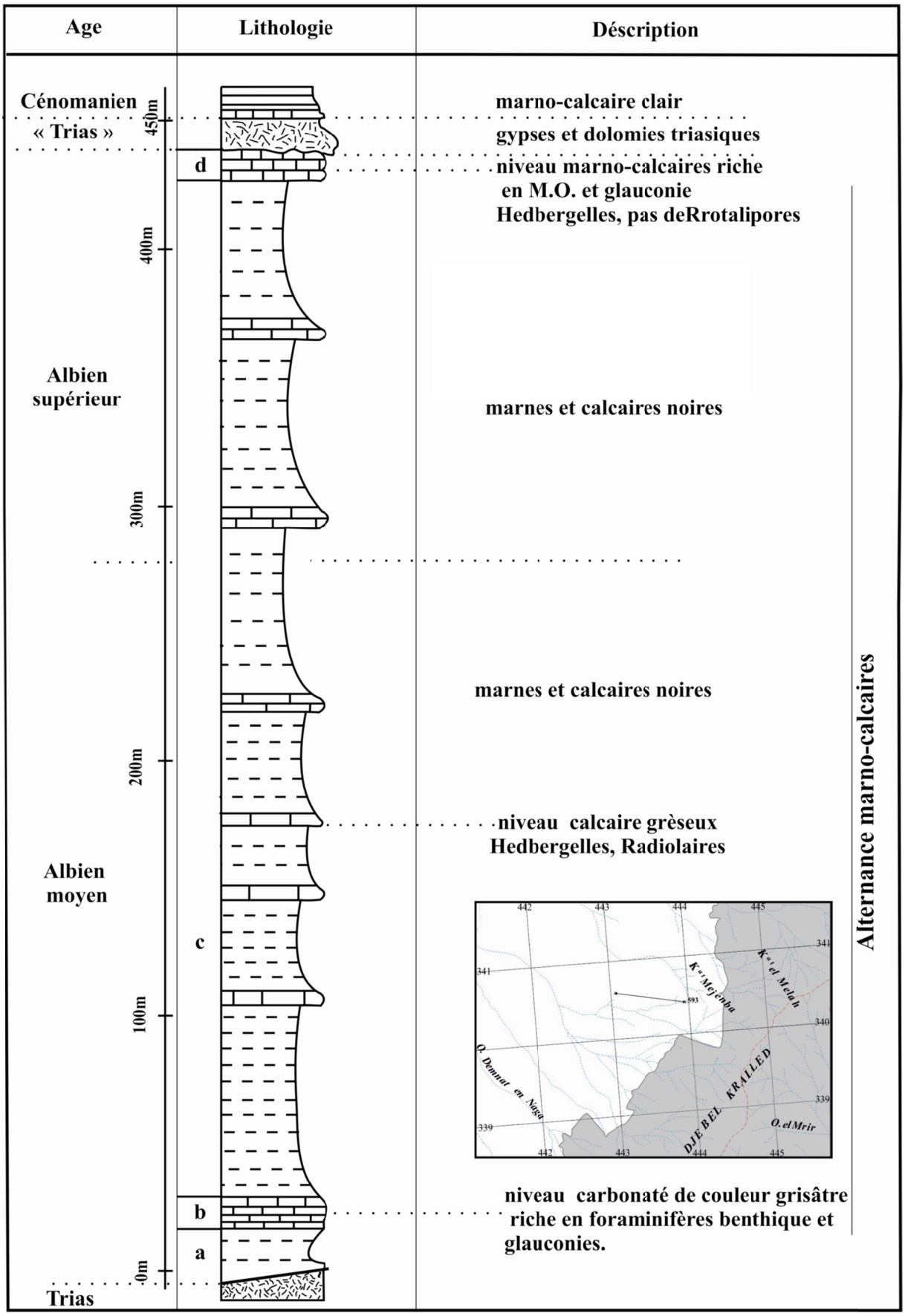


Fig.2.18 Colonne lithostratigraphique de la série albienne de la région de K^at Mejenba.

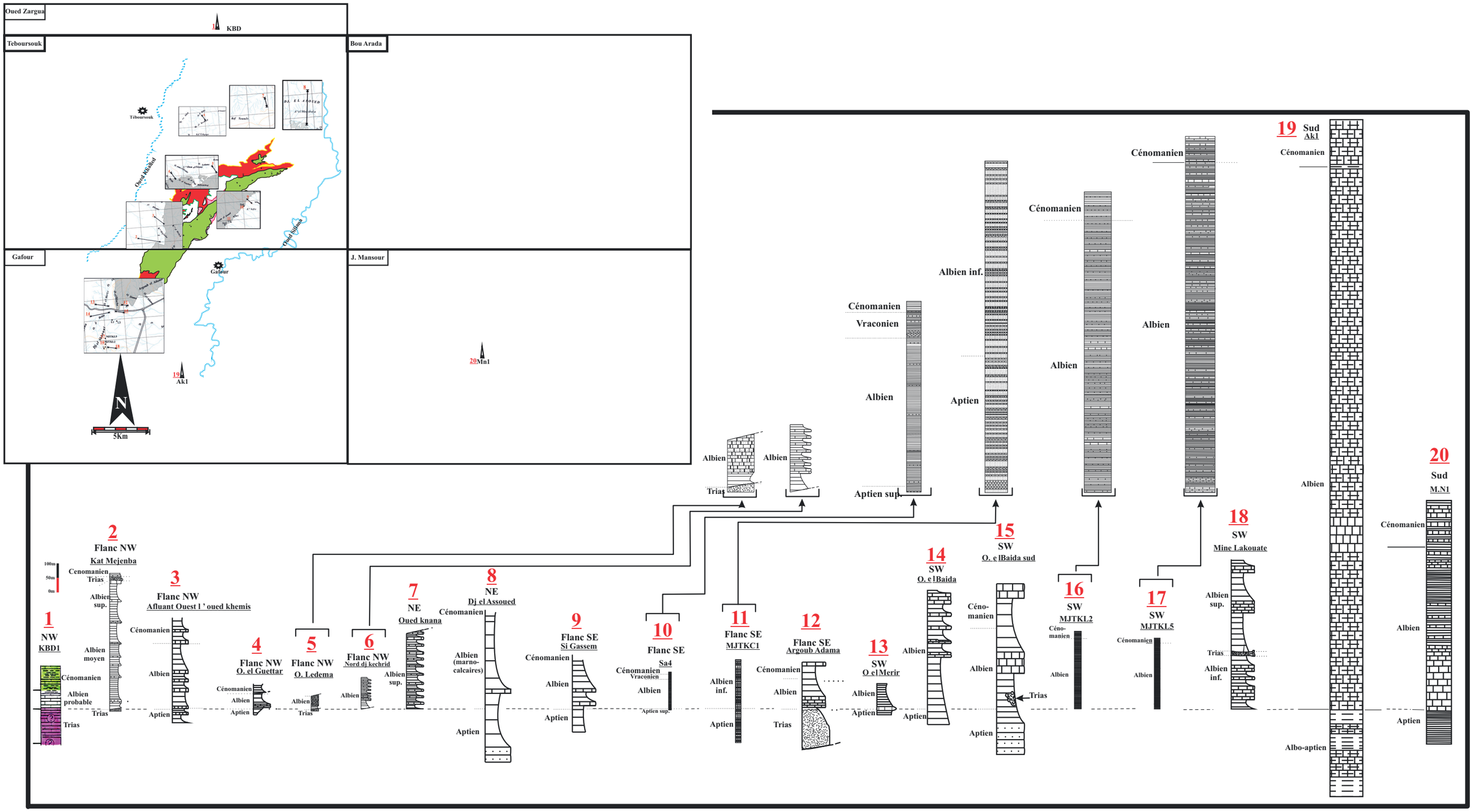
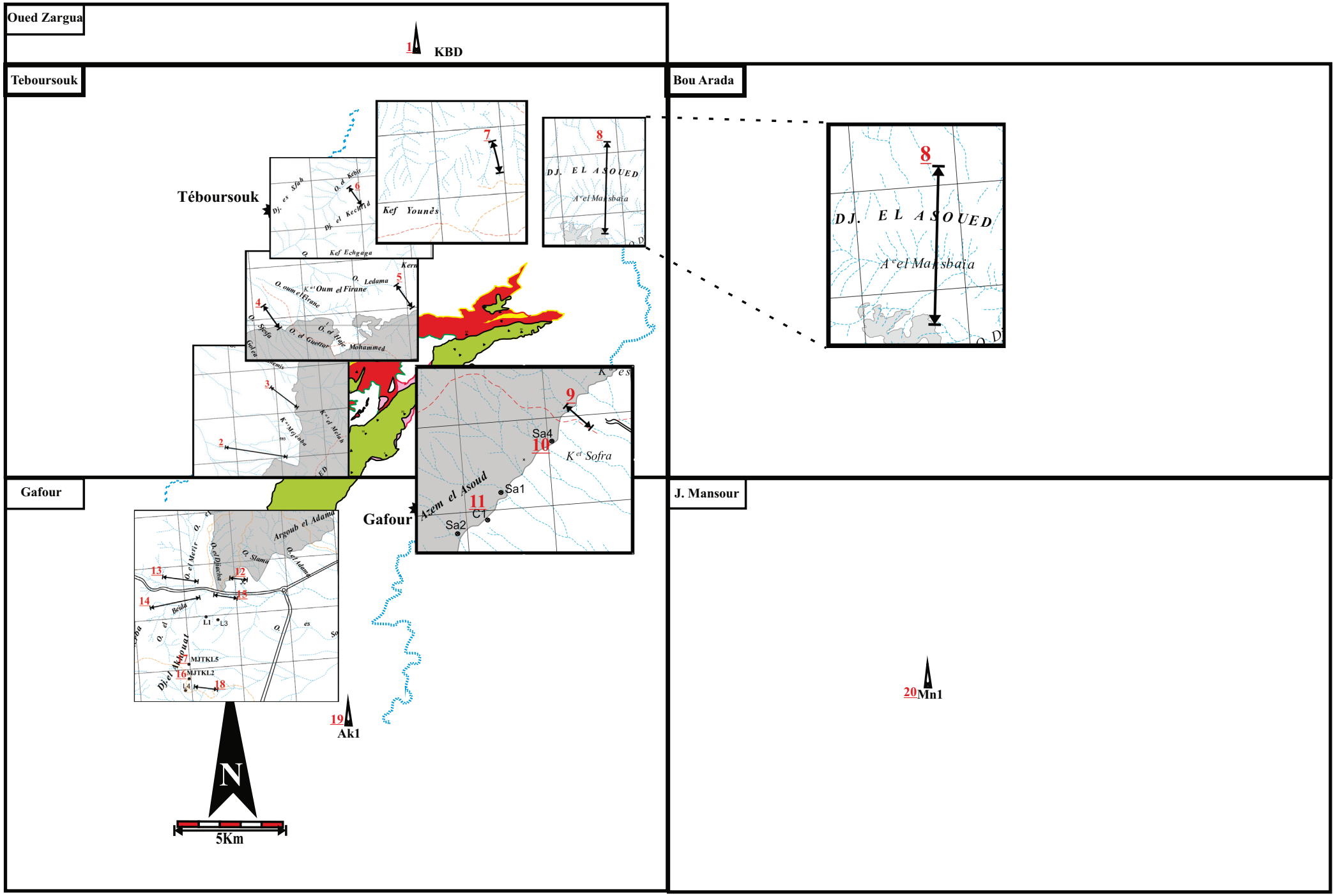


Fig.2.19 Corrélation lithostratigraphique des séries albiennes au environs de la structure du Jebel Ech Cheid



Suite Fig.2.19

3.1.4. Le Cénomanien /Turonien/Coniacien

Dans la région de Chitana/ed Djebs, les dépôts d'âge cénomanien affleurent. La coupe lithostratigraphique la plus complète se trouve au voisinage de l'oued Sene Ed Jemel. Il s'agit d'alternances marno-calcaires livrant des *Rotalipora appenninica* couronnées par une série épaisse de 20m de calcaires en plaquettes. Puis un niveau de 20 m de bancs calcaires d'épaisseur décimétrique de patine grise, ensuite une série d'alternance de marne bleu-gris feuillètées , et de calcaires en plaquettes, de 30 m d'épaisseur avec quelques niveaux à la base du calcaire noir en plaquettes friables et riches en matières organiques attribuées à la Formation Bahloul [Burollet,1956] ; les échantillons de roches meuble ont livré : Pithonelles, *Rotalipora greenhornensis et R. cushmani* (Fig. 2.20A).

Pour le Turonien-Coniacien affleurant dans la zone Chitana/ed Djebs, nous avons choisi la coupe la plus épaisse située à l'oued el Beji. Il s'agit de bancs décimétriques à patine grise de 10 m d'épaisseur, surmontés par des marnes grises plus au moins « schisteuses », sur les quelles reposent des marnes vertes avec intercalations de bancs centimétriques de calcaire à patine claire (Fig. 2.20B).

Sur la rive nord de la Medjerda et au niveau du J. Sene Ed Jemel on a observé, depuis le massif de Sene-Ed-Jemel jusqu'aux environs du J.Tellet Mabrouka, de l'Ouest à l'Est, la succession suivante :

- Dans l'oued Sene-Ed-Jemel, affleurent des marnes noires « schisteuses », qui sur la rive Ouest sont recouvertes par le Trias. Au-dessus, sur la rive est de l'oued, on voit affleurer d'autres niveaux de marnes vertes avec intercalation de bancs de calcaires gris d'épaisseurs centimétriques, surmontées par des marnes noires « schisteuses ». Les échantillons prélevés ont livré l'association microfaunistiques à globotruncana du Coniacien. Par la suite on trouve une barre calcaire grise. La base de cette barre livre une association microfaunistiques du Turonien moyen (Fig. 2.20A).

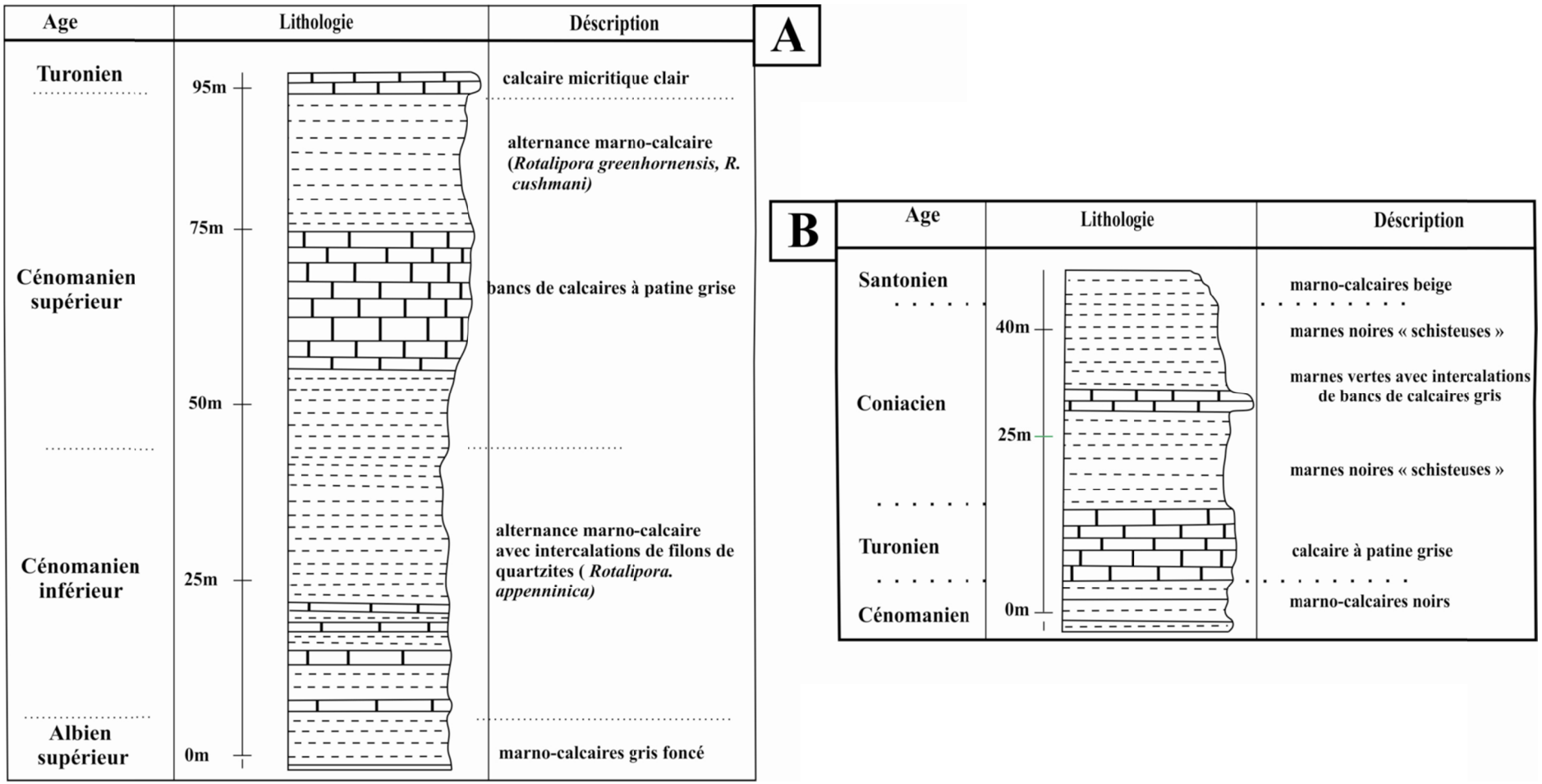


Fig. 2.20(A) : Colonne lithostratigraphique du Cénomanien au niveau de l'oued Sene Ed Jemel ; (B) : Colonne lithostratigraphique du Turonien-Coniacien au niveau de l'oued el Beji

Au niveau de la zone du Jebel Ech Cheid les sédiments d'âge cénomanien présentent de faibles épaisseurs et ceci tout autour de la structure. La série la plus épaisse du secteur d'étude est celle qui affleure à J.el Kerba dans le flanc Sud de la masse principale du Jebel Ech Cheid. Elle permet de distinguer la succession suivante (Fig.2.21) :

a. une alternance marno-calcaire de couleur claire cénomaniennes ;
b. surmontée par une épaisse série d'alternances marno-calcaires riches en matière organique attribué au Turonien-Coniacien.

La succession du Cénomanien/Turonien/Coniacien du Jebel el Kerba est la plus représentative et est épaisse d'environ 400 mètres avec 175 m pour la série cénomanienne (Fig.2.21a) et 225 m pour la série Turonien/Coniacien (Fig.2.21b).

Les séries du Cénomanien/Turonien/Coniacien affleurent dans plusieurs localités tout autour de la structure du Jebel Ech Cheid (Fig .2.22) :

1. à K^{at} el Mejenba où les dépôts du Cénomanien sont très réduits. Ils ne dépassent gère les 30 m. Il s'agit d'une série marno-calcaire claire ;
2. sur l'affluent ouest de l'oued el Khemis, on a observé une série d'alternances marno-calcaires épaisse d'environ 260 m attribuée au Cénomanien ;
3. à l'oued el Guettar on observe une série du Cénomanien /Turonien marno-calcaire d'environ 70 m d'épaisseur ;
4. à Jebel Laouedj au nord-est de la structure du Jebel Ech Cheid affleurent environ 30 m de la série cénomanienne et 60 m de la série turonienne ;
5. à K^{at} Soda sur le flanc Sud-est de la structure du Jebel Ech Cheid affleure une série cénomanienne d'environ 75 m d'épaisseur et environ 50 m de la série turono-coniacienne ;
6. au pied Sud du marabout de S^{i} Gassem affleure une série cénomano-turonienne d'environ 150 m d'épaisseur. Elle est surmontée par une série turono-santonienne d'épaisseur d'environ 60 m ;
7. dans la région d'Argoub Adama affleure une série d'âge cénomanien : environ 80 m d'épaisseur d'une série marno-calcaire. Elle est surmontée par une série d'alternances de marno-calcaire d'environ 100 m d'épaisseur de la séquence turono-coniacienne, puis par la séquence des marnes beiges santoniennes ;
8. à proximité de l'oued el Baida et à l'extrémité Sud-ouest de la structure du Jebel Ech Cheid nous avons observé une alternance marno-calcaire d'environ 160 m d'épaisseur de la séquence cénomanienne, surmontée par une série marno-calcaire d'âge turonien/coniacien, d'une épaisseur d'environ 110 m ;

9. au sud de la coupe précédente est implanté le forage minier MJTKL2 (Fig. 2.17B), l'épaisseur de la série cénomanienne y est d'environ 140 m. Elle est surmontée par une dizaine de mètres de la série turonienne ;
10. plus au sud du forage précédent est implanté le forage minier MJTKL5 (Fig. 2.17A). Il traverse dès le début une série cénomanienne d'environ 25 mètres d'épaisseur.
11. au nord de la structure du Jebel Ech Cheid est implanté le forage pétrolier KBD. Il concerne une série cénomanienne d'environ 150 m, couronnée par une série de marnes turono-coniaciennes d'environ 30 m d'épaisseur ;
12. au sud de la structure d'étude sont implantés deux forages pétroliers MN1 et AK1 ; le premier traverse une série tronquée par des failles soustractives : le maximum d'épaisseur estimé à partir du forage MN1 est d'environ 280 m pour la série cénomanienne et 75 m pour la série turonienne et 100 m pour la série coniacienne. En revanche, le forage AK1 traverse d'épaisses séries cénomaniennes d'environ 475 m suivies d'une série turonienne d'environ 260 m et d'une série coniacienne d'environ 460 m.

La corrélation des séries du Cénomanien/Turonien/Coniacien (Fig .2.22) tout autour de la structure salifère met en évidence l'amincissement de la série au fur et à mesure qu'on s'approche du Jebel Ech Cheid. Ces réductions des épaisseurs aux alentours de la structures salifère du Jebel Ech Cheid seront examinées dans le chapitre analyse structurale.

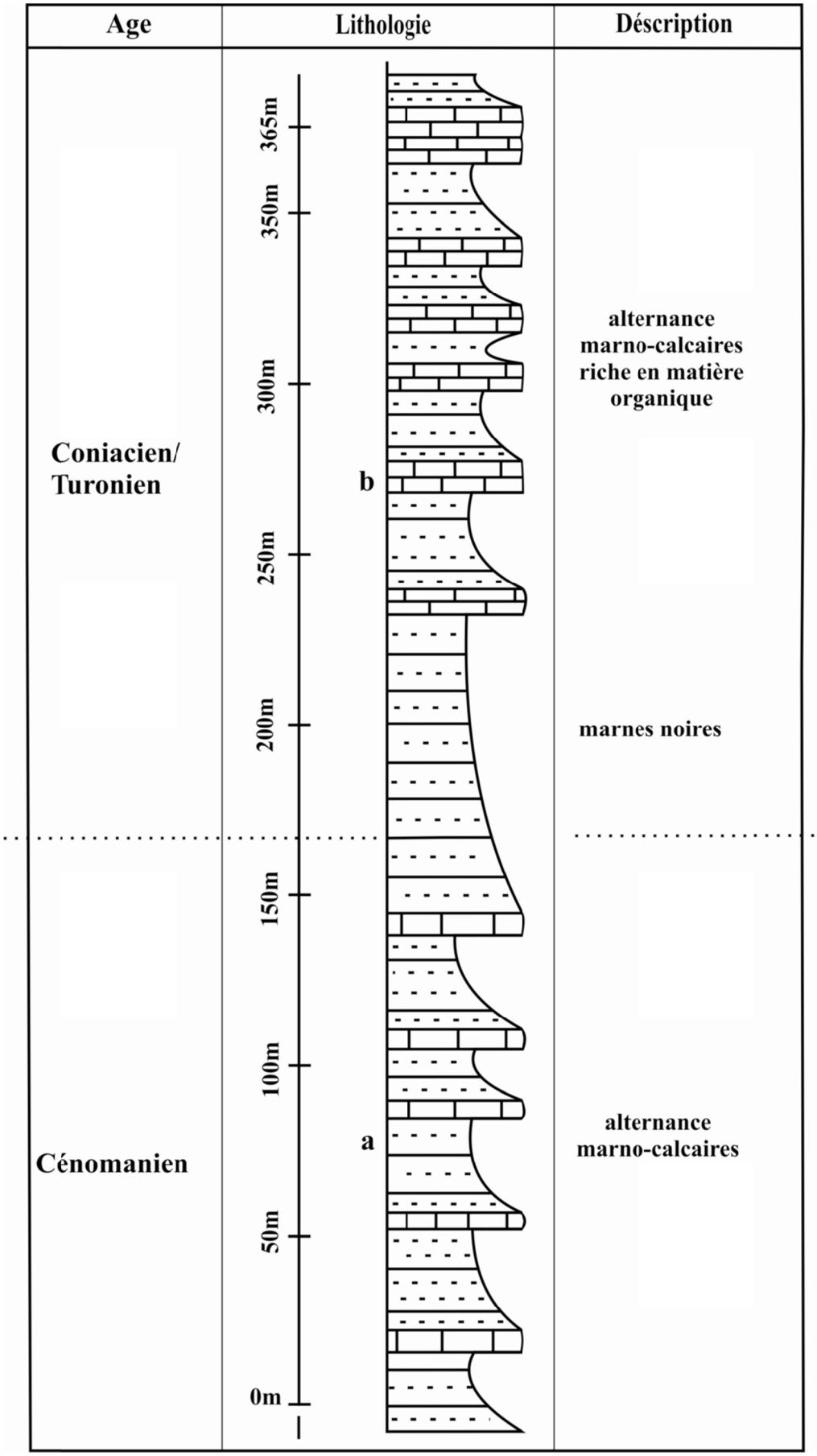


Fig.2.21 Colonne lithostratigraphique de la série du Cénomanien/Turonien/Coniacien du Jebel el Kerba

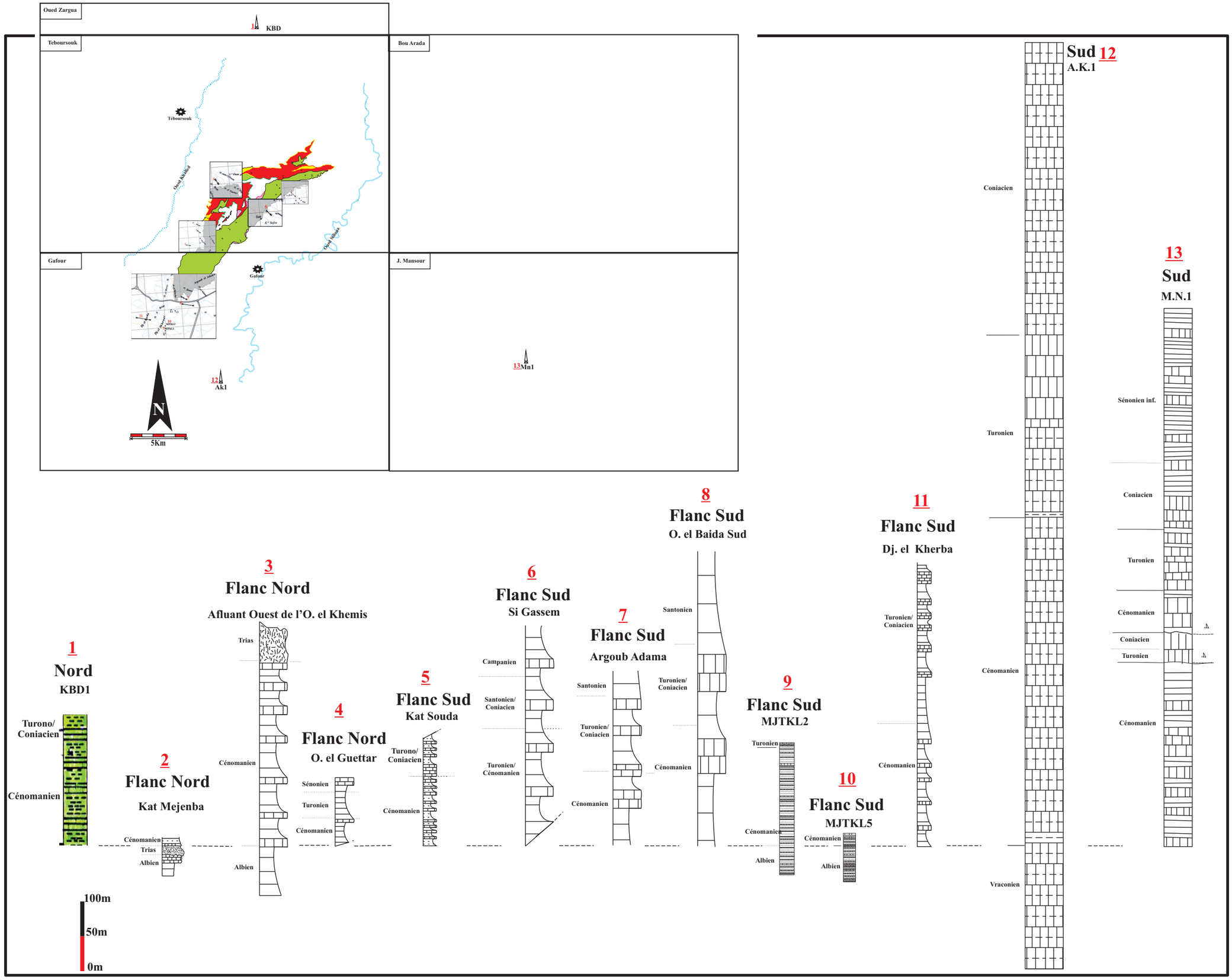
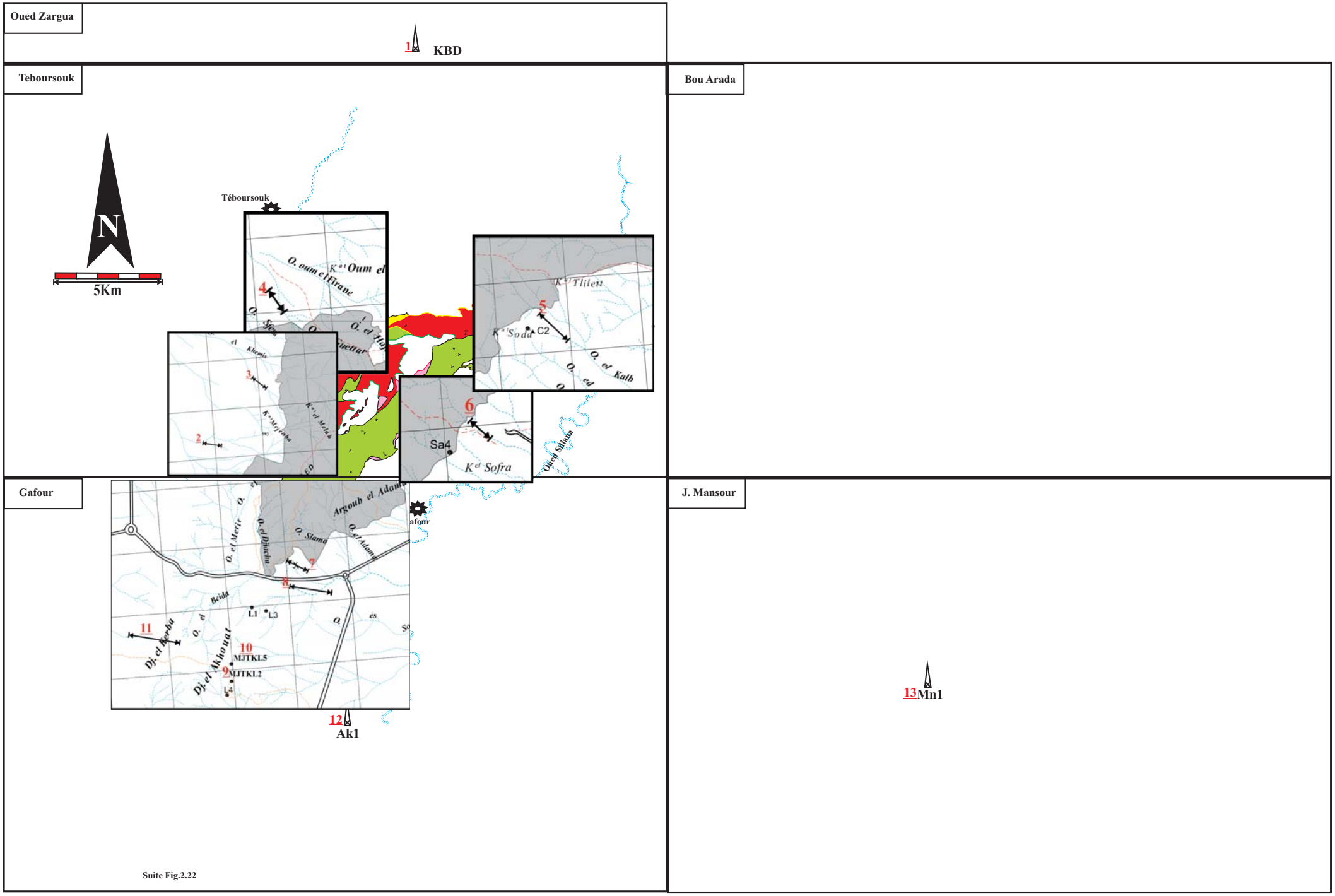


Fig.2.22 Corrélation des séries du Cénomanien/Turonien/Coniacien dans le secteur Jebel Ech Cheid et quelques forages pétroliers et miniers



Suite Fig.2.22

3.1.5. Santonien/Campanien/Maastrichtien

Au J. Chitana, les dépôts du Santonien-Campanien sont ceux qui affleurent le plus largement : il s'agit d'une série de marnes noires de 60 m d'épaisseur (Fig.2.23). Les échantillons pris depuis la base contiennent une biophase qui caractérise le Santonien supérieur, alors que les échantillons pris au sommet ont livré une association microfaunistiques caractéristique du Campanien inférieur.

Au-dessus des marnes noires campaniennes se situe une épaisse série calcaire maastrichtienne qu'on peut attribuer à la Formation Abiod. Elle est surmontée par des alternances marno-calcaires d'épaisseur décimétrique attribuées au Maastrichtien supérieur. Les échantillons pris à la base ont livré l'association suivante : *Globotruncana contusa*, *G. gansseri, G. falsostuart* caractéristique du Maastrichtien supérieur (Fig.2.23).

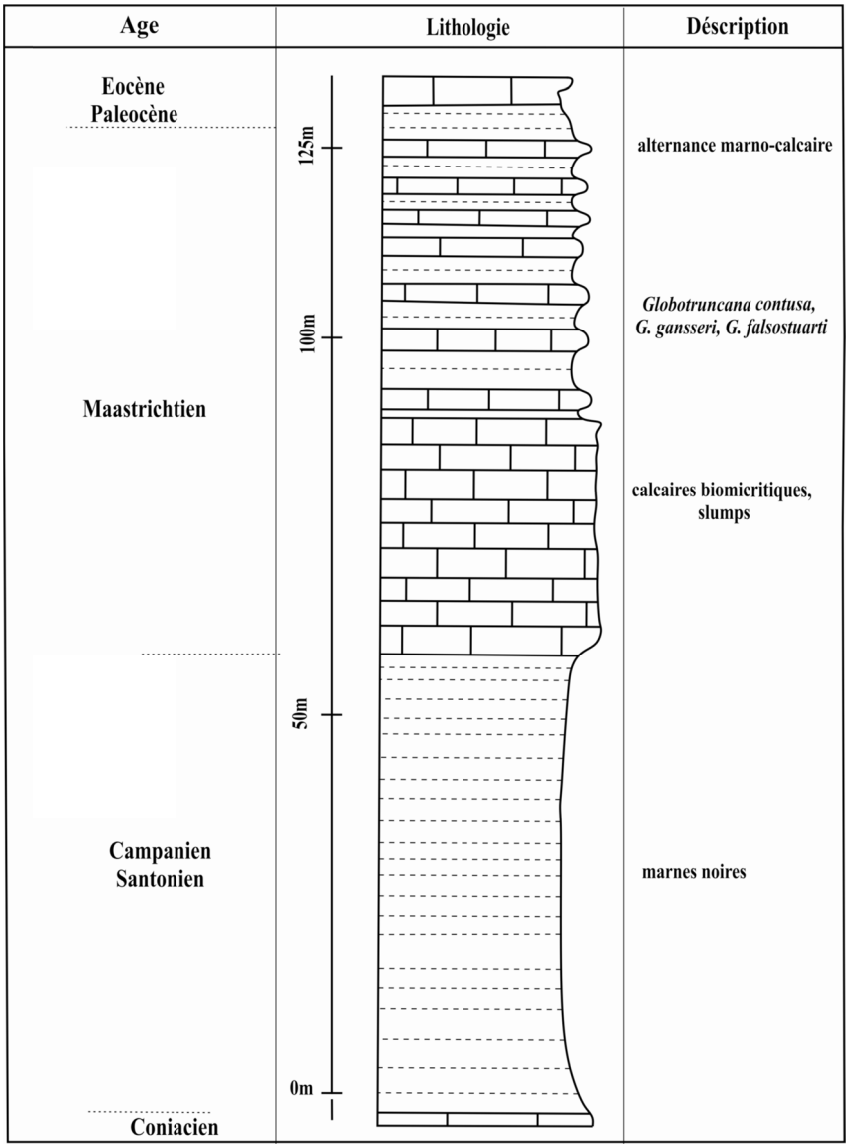


Fig.2.23 Colonne lithostratigraphique du Santonien/Campanien/Maastrichtien au niveau du Jebel Chitana

Aux alentours de la structure salifère du Jebel Ech Cheid les sédiments d'âge Santonien/Campanien/Maastrichtien présentent une variation latérale d'épaisseur (Fig.2.26). Elles sont tronquées par des failles tardives partout dans le secteur, hormis la série qui affleure dans la partie aval de l'oued el Baida à l'extrémité sud-ouest de la masse principale du Jebel Ech Cheid. Elle permet de distinguer la succession suivante, de la base vers le sommet (Fig.2.24) :

a. une série de marnes grises à beiges clair, présentant une épaisseur d'environ 150 m de marno-calcaires santoniennes ;
b. une barre de calcaire crayeux surmontée par une mince couche de marnes beiges attribuée au Campanien/Maastrichtien.

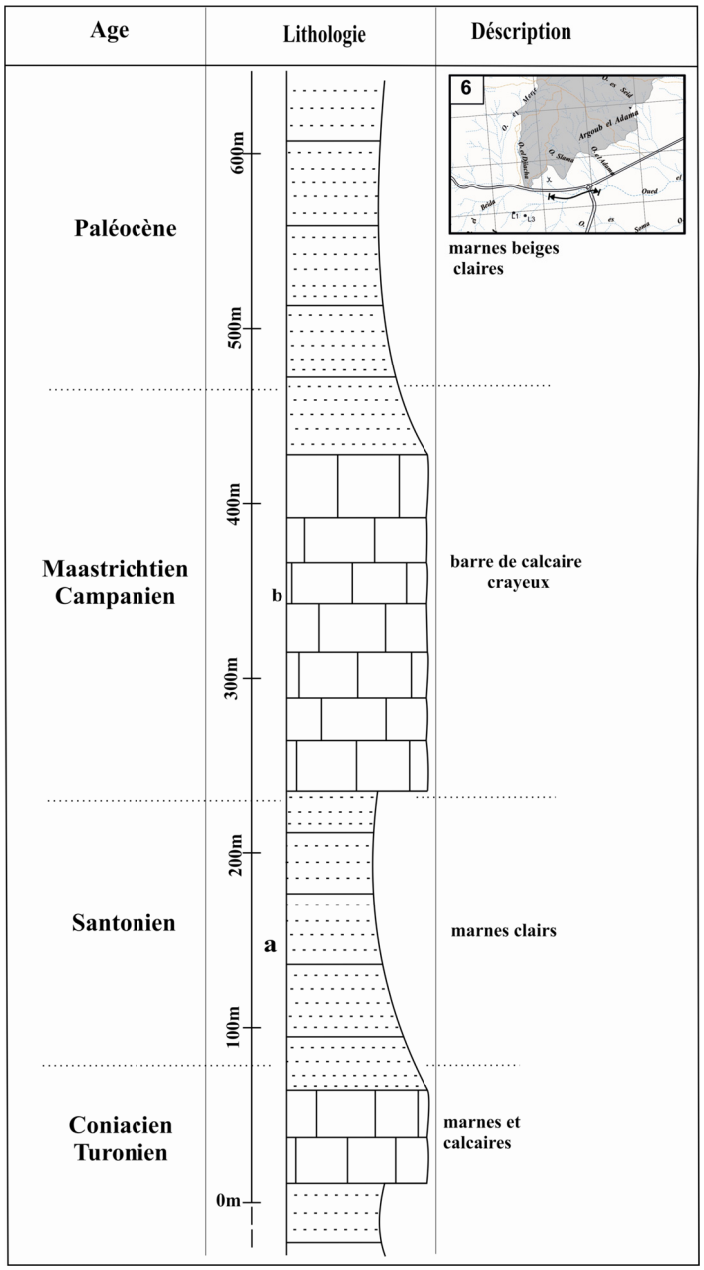


Fig.2.24 Colonne lithostratigraphique de la série du Santonien/Campanien/Maastrichtien de l'oued el Baida

Les séries du Santonien/Campanien/Maastrichtien affleurent dans plusieurs endroits telque (Fig.2.25) :

1. à l'oued el Guettar toute la série Santonien/Campanien/Maastrichtien (S.C.M) a subit une réduction tectonique ayant une épaisseur de 20m ;
2. à l'oued el Haje Mohammed on a examiné une série réduite du S.C.M de moins de 50 m dépaisseur ;
3. à l'oued el Ledema la série est incomplète. Elle ne présente que la série campanienne. Il s'agit d'alternances marno-calcaires de couleur beige clair avec une épaisseur d'environ 75 m ;
4. à l'oued Zebrouk n'affleure que la série maastrichtienne (échantillons de roches meubles et carbonatés datés par M. BEN YOUSSEF) qui ne dépasse pas les 50 m d'épaisseur ;
5. auprès de l'oued Knana affleure une série maastrichtienne (échantillons de roches meubles et carbonaté daté par BEN YOUSSEF) composé essentiellement de marnes et de calcaires de couleur claire. Elle ne dépasse pas les 80 m d'épaisseur ;
6. à Aine Edroua affleure une série de marno-calcaires d'âge campanien/maastrichtien (échantillons de roches meubles et carbonatées datés par M.BEN YOUSSEF) de couleur clair ayant une épaisseur d'environ 140 m ;
7. au Jebel Chetlou on a observé une série très réduite du Maastrichtien ayant une épaisseur d'environ 40 m ;
8. près du marabout de Si Bou Zitouna on observe une série d'alternance de marno-calcaires de couleur claire attribuée au Campanien/Maastrichtien ; elle présente une épaisseur d'environ 230 m ;
9. à Ragoubet el Mahjebia et sur la rive sud de l'oued el Aouess on distingue une série marno-calcaire claire campanienne (échantillons de roches meubles et carbonatées datés par M. BEN YOUSSEF) ayant une épaisseur très réduite, environ 30 m ;
10. juste au sud de la coupe précédente (numéro 9) et à quelques dizaines de mètres affleure une série campanienne de marno-calcaire de couleur noire ; elle présente une épaisseur d'environ 100 m ;
11. sur le flanc sud-est de la structure du Jebel Ech Cheid et au niveau du marabout de S^{i} Abdel Kader affleure une série marno-calcaire santonienne de couleur gris foncé ; elle présente une épaisseur à l'affleurement d'environ 50 m ;
12. à l'oued el Kaleb affleure une série d'alternances de marno-calcaires d'âge santonien/campanien ; la série santonienne présente une épaisseur d'environ 150 m et

la série campanienne est épaisse d'environ 130 m (échantillons de roches meubles et carbonatées datés par M. BEN YOUSSEF) ;

13. au sud du marabout de S^{i} Gassem affleure une série réduite d'âge Santonien/Campanien avec une épaisseur d'environ 100 m ;
14. au pied Sud de K^{at} Bazina Serrira affleure une série réduite de marnes beiges d'âge maastrichtien d'une épaisseur qui ne dépasse pas le 50 m ;
15. à Argoub Adama affleure une série de marnes beiges d'âge santonien ayant une épaisseur d'environ 270 m ;
16. au nord de la structure étudiée le forage pétrolier KBD traverse une série d'âge campanien-maastrichtien d'environ 160 m d'épaisseur ;
17. au Sud de la structure salifère le Sénonien est traversé par le forage pétrolier MN1 et présente une série d'alternances de marnes et calcaires gris ayant une épaisseur d'environ 320 m.

Note: La variation des épaisseurs des séquences du Santonien/Campanien/Maastrichtien est remarquable dans les deux flancs NW et SE de la structure du Jebel Ech Cheid. Les séries sénoniennes sont incomplètes dans plusieurs endroits aux alentours du massif triasique du Jebel Ech Cheid.

L'architecture héritée depuis le Crétacé inférieur des bassins sédimentaires de part et d'autre de la structure salifère du Jebel Ech Cheid est transtensive. Elle favorise une répartition inégale des dépôts sédimentaires au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la structure salifère.

En effet, les enregistrements tectono-sédimentaires dans les séries sous-jacentes du Crétacé inférieur et au cours du Sénonien : failles normales synsédimentaires à l'Aptien au niveau de l'affleurement situé entre l'oued el Merir et l'oued ed Djacha ; dans l'extrémité SW de la structure salifère il y a aussi des failles normales synsédimentaires dans les sédiments de l'Albien inférieur au niveau de l'oued el Beïda ; de plus il existe des failles normales scellées dans les sédiments du Sénonien de part et d'autre de la structure salifère.

Ces enregistrements synsédimentaires peuvent nous indiquer que le massif du Jebel Ech Cheid a bougé avant ou pendant le Sénonien [Martinez et al.,1991, Souquet et al.,1997, Chikhaoui et al.,1998, Boutib *et al.*,2000, Dlala,2002]. La corrélation des dépôts du Crétacé supérieur tout autour de la structure salifère montre une variation remarquable due essentiellement à l'existence d'un plancher sédimentaire en blocs basculés d'amplitude variable.

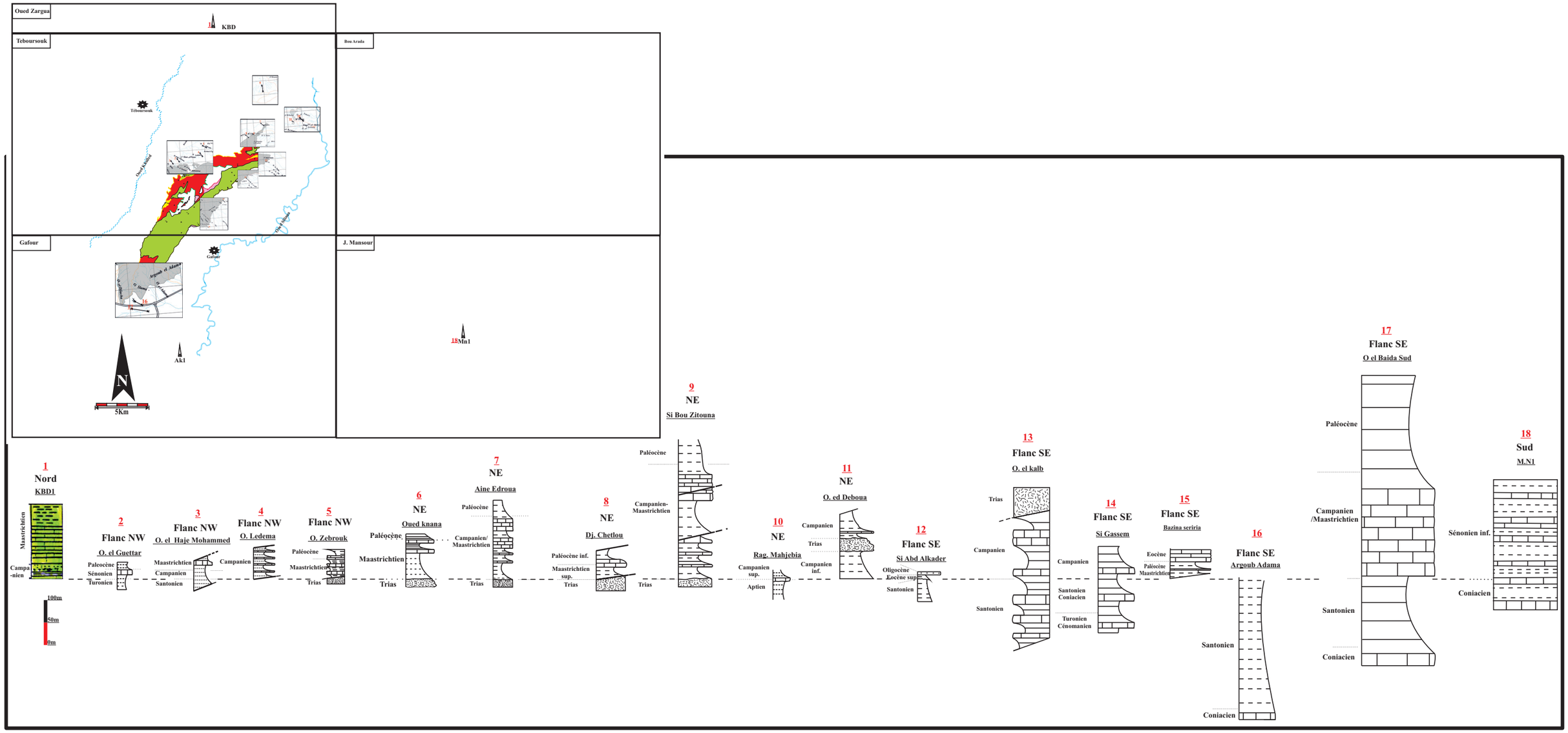
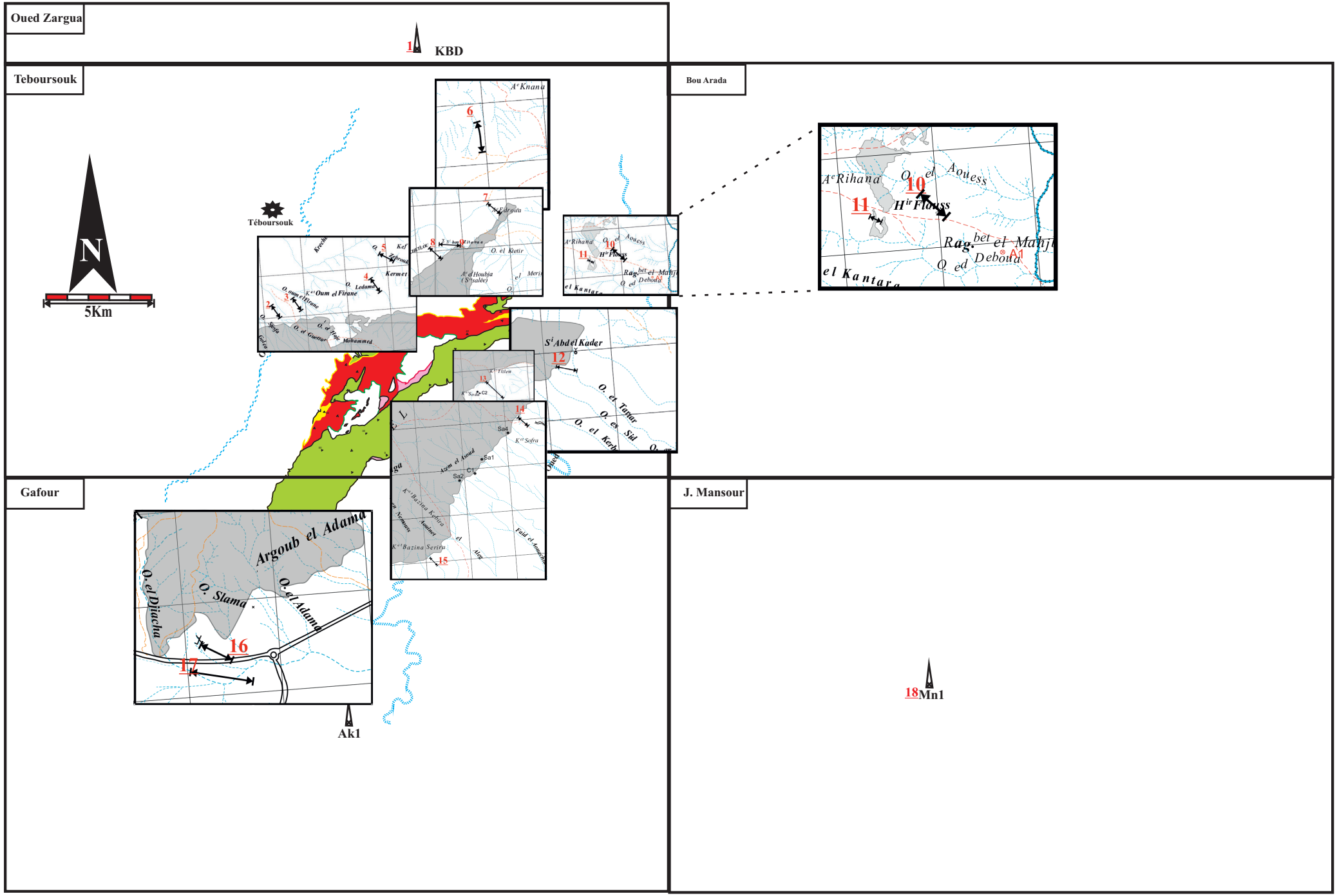


Fig.2.26 Corrélation des séries du Sénonien supérieur dans la région du Jebel Ech Cheid



Suite Fig.2.26

4. Les séries cénozoïques

Les dépôts cénozoïques dans la province salifère correspondent à une plate-forme favorable à la conservation des enregistrements sédimentaires des évènements tectoniques.

4.1.Le Paléogène

Les séries tertiaires affleurent dans les deux secteurs d'étude avec des épaisseurs variables et selon les localités, de part et d'autre de la masse principale triasique. Les dépôts du Paléogène et du Néogène reposent en discordance transgressive sur la masse salifère des deux structures étudiées et sur différentes séries mésozoïques.

4.1.1. Le Paléocène

A l'Est du J. Sene-ed-Jemel la série du Paléocène présente l'épaisseur la plus importante dans la région environs 50 m (Fig.2.27), alors qu'au niveau du J. ed Djebs affleurent des terrains lenticulaires du Paléocène ; les différents affleurements du Paléocène y sont en petits lambeaux. Ceci est dû probablement à une période d'instabilité du plancher sédimentaire (Fig.3.2).

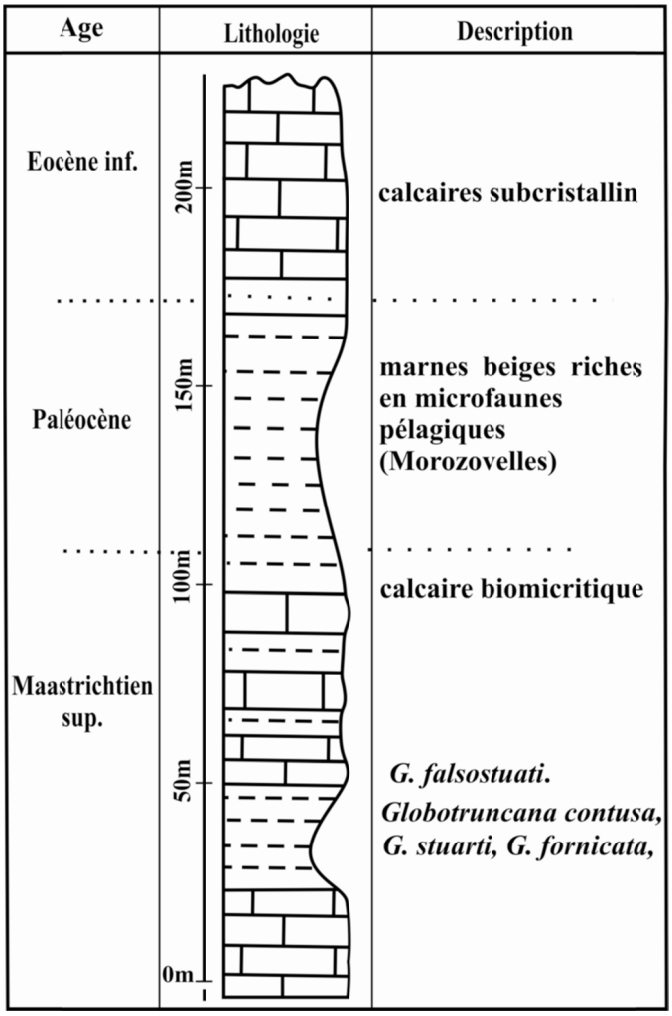


Fig.2.27 Colonne lithostratigraphique du Paléocène à l'Est du Jebel Sene ed Jemel

A J. Chitana, sur les calcaires maastrichtiens, on trouve un petit affleurement réduit d'une série marneuse. Les échantillons ont livré une association de microfaunes riches en Globorotalia et Globigérines daniennes.

Les dépôts de la série paléocène dans la région du Jebel Ech Cheid sont formés essentiellement par des marnes argileuses noires à beiges. Ils ont une épaisseur variable de part et d'autre de la structure (entre 20 et 120 m environ). Ils caractérisent un milieu marin profond. La coupe la plus représentative des sédiments paléocènes est située à proximité du rond-point Siliana/Gafour/el Krib. Nous y distinguons : une épaisse série de marnes beiges à noires encadrées entre la séries marneuse maastrichtienne à la base et les alternances marno-calcaires de la base de l'Éocène.

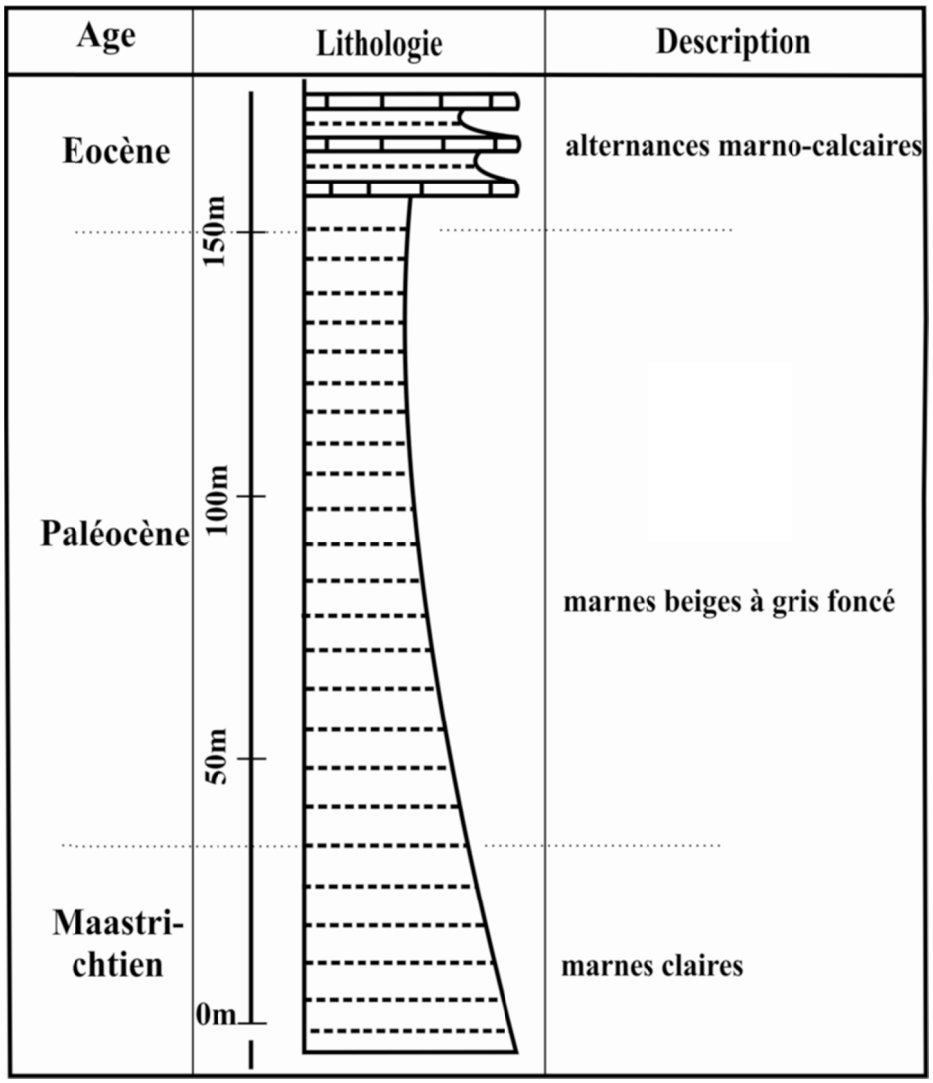


Fig.2.28 Colonne lithostratigraphique du Paléocène du rond-point Siliana/Gafour/el Krib

Dans les secteurs voisins le Paléocène présente une épaisseur importante [Ben Yagoub,1978, Dali,1979a, b] tandis que dans le secteur d'étude la série du Paléocène montre

un net épaississement de la série en s'éloignant du Trias. Ceci est en faveur de l'existence d'une zone émergée créée par les mouvements du sel triasique (que ce soit uniquement par des mouvements halocinétiques où halotectoniques) responsable de l'amincissement de cette série.

En outre, nous observons les dépôts d'âge paléocène dans les endroits suivant :

- à l'oued el Guettar, où affleure une série de marnes beiges d'âge paléocène ayant une épaisseur de 15 m ; il s'agit fort probablement soit d'une réduction syn-sédimentaire puisque les dépôts paléocènes sont en concordance sur les sédiments maastrichtiens, soit il s'agit d'une discordance progressive.
- à l'oued el Haje Mohammed et dans l'oued Ledema c'est la même série que précédemment qui se répète ;
- à l'oued Knana, il s'agit d'une série de marnes beiges ayant une épaisseur d'environ 50 m ;
- à Jebel Chetlou, il s'agit d'une série de marnes noires ayant une épaisseur d'environ 75 m ;
- à l'Aine Edroua, il s'agit d'une quarantaine de mètres de marnes beiges ;
- à Sidi Bou Zitouna, existe une épaisseur considérable des sédiments marneux noirs à beiges qui dépasse les 100 m ;
- à K^{at} Bazina Serriria l'épaisseur des dépôts paléocènes est la plus réduite : aux alentours de 15 m.

Note : la variation latérale des épaisseurs de la série paléocène aux alentours des masses salifères Chitana ed Djebs et Jebel Ech Cheid témoignent de l'instabilité du plancher sédimentaire au moins durant les temps paléocènes ; ceci est attesté par la variation considérable des épaisseurs des dépôts du Paléocène autour des deux structures salifères (Fig.2.32). En outre, l'interprétation de ces réductions des épaisseurs sera discutée plus loin dans le chapitre 3.

4.1.2. L'Éocène

Les dépôts de l'époque éocène sont formés essentiellement de carbonates (Yprésien-Lutétien inférieur) qui forment des reliefs dans la zone d'étude.

Au niveau de la région de Chitana/ed Djebs nous avons levé la coupe suivante de bas en haut :

- au-dessus des marnes paléocènes, on trouve un niveau de conglomérats polygénique à ciment gréseux ;
- une barre gréseuse riche en grains de glauconie et de phosphate ;
- 2 barres calcaires de l'Yprésien basal riche en grandes et petites Nummulites avec remaniement de quelques débris de quartz bipyramidés ;
- l'ensemble est couronné par une alternance de bancs calcaires massifs nummulitiques, et de bancs gréseux d'épaisseur métrique avec intercalation de joints de marnes argileuses ; les échantillons pris depuis ce niveau ont livré: des débris d'Echinodermes, des Nummulites de petite taille (faciès de plate-forme externe), des globigérines, lépidocyclines, Globorotalia et quelques algues (faciès transporté) ;
- Enfin viennent les dépôts gréseux lumachelliques de l'Oligocène des auteurs.

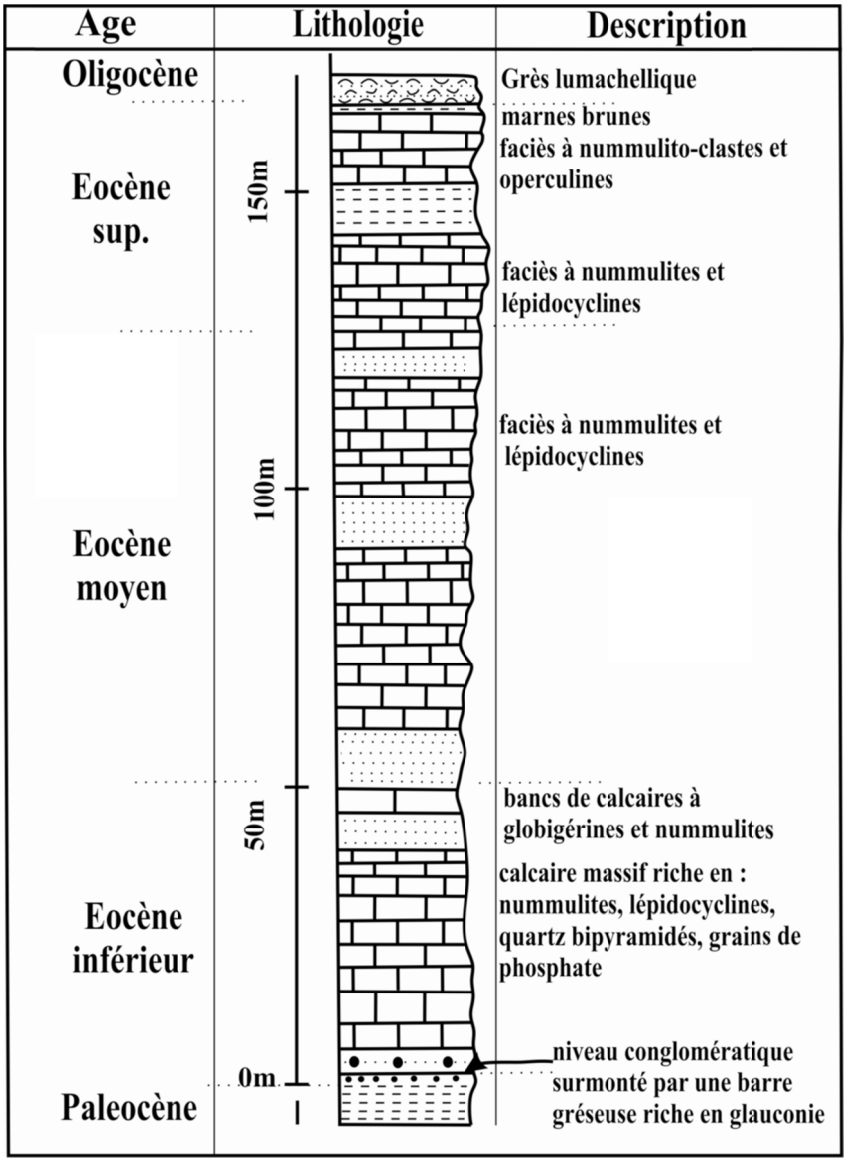


Fig.2.29Colonne lithostratigraphique de l'Éocène du Jebel Chitana

En effet, les dépôts de l'Éocène affleurent dans plusieurs endroits de la zone de Chitana ed Djebs :

La coupe au niveau de l'affluent est de l'oued Bou Kralfa, avec de la base vers le sommet (Fig.2.32):

- une série de calcaire biomicritique riche en faunes pélagiques (*Globotruncana contusa, G. stuarti, G. fornicata, et G. falsostuarti*..), elle a une épaisseur de 20 m, de couleur blanchâtre d'âge maastrichtien inférieur ;
- une alternance de marnes jaunes et de calcaires beiges d'épaisseur centimétrique épaisse de 30 m d'âge paléocène ;
- la série précédente est coiffée par les calcaires de l'Éocène livrant : une association mixte : globigérines, nummulites entières où roulées Nummulito-clastes, lépidocyclines, quartz bipyramidés et des débris divers.
- la dernière assise présente un mélange microfaunistiques, pélagique, de plate-forme et benthiques (nummulites) ; association qu'on peut expliquer comme suit : soit on est dans une zone de transition passant du faciès de plate-forme à un faciès distal [Zaier *et al.*,1998] ; soit on est dans un mini-bassin avec la présence d'un môle Éocène à faciès pélagique à la base des bancs et de faciès de plate-forme au sommet [Salaj & Bajanik,1972]. Dans les deux cas à proximité de Trias mis à l'affleurement.

Dans la zone du Jebel Ech Cheid les dépôts de l'Éocène présentent des épaisseurs variables selon les localités et de part et d'autre du complexe triasique. La coupe du carrefour « Gafour, el Kerib, Siliana » est la plus dégagée (Fig.2.31). Elle montre la succession lithologique suivante avec, de bas en haut (Fig.2.30):

- une alternance de marnes et calcaires en bancs métriques ;
- des calcaires en bancs métriques beiges claires à gris ;
- les calcaires sont recouverts de 1-1,5 m de phosphates glauconieux et localement, conglomératiques riche en débris triasiques [Moody *et al.*,1998].
- ces derniers sont recouverts à leur tour par des packstones à Algues (rhodolithes) avec d'abondantes nummulites (*N. planulatus- N. laevigatus plexus*) ; la présence de rhodolithes aussi importante à ce niveau est indicatrice d'un milieu relativement peu profond (0-50 m) [Moody et al.,1998] ;
- le niveau à rhodolithes est recouvert par une assise à algues et nummulites dans lequel les bioclastes sont généralement fragmentés. L'épaisseur totale des lits riches en algues est de 3-4 m [Moody et al.,1998] ;

- la dernière assise est surmontés par un niveau carbonaté à grainstones [Moody et al.,1998].

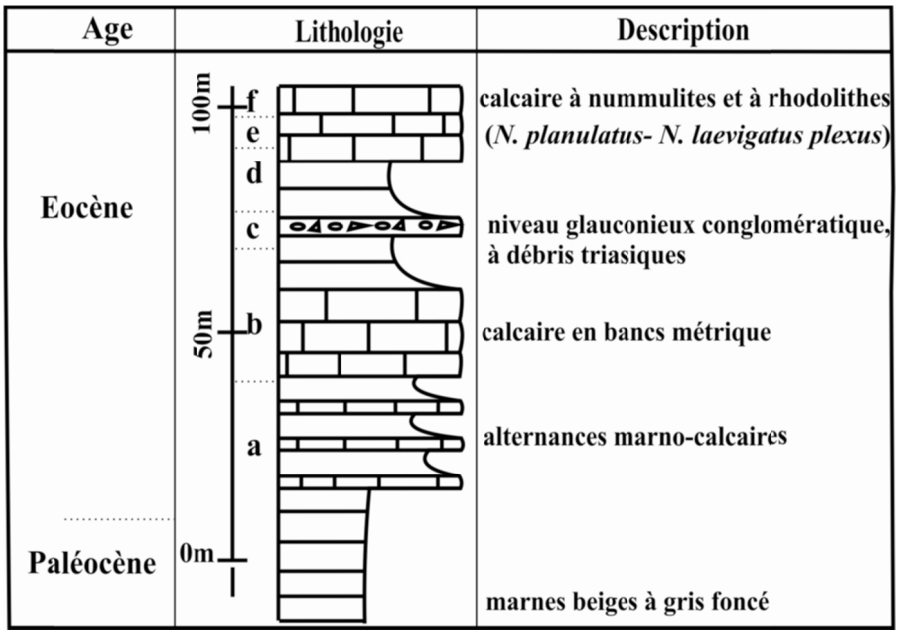


Fig.2.30 Colonne lithostratigraphique de la série Eocène au rond-point Siliana/Gafour/El Kerib

De plus les affleurements d'âge Éocène sont répartis tout autour de la structure du Jebel Ech Cheid. Nous avons examinés plusieurs coupes qui montent une variation des faciès et des épaisseurs notables.

Note : La variation latérale des épaisseurs des sédiments d'âge éocène aux alentours des deux structures salifères montrent qu'elles couvrent une architecture en touches de piano complexe héritée du Mésozoïque. Les dépôts éocènes reposent sur des niveaux variés du Crétacé. Ceci se manifeste bien dans l'oued Bou Kralfa de la zone de Chitana (Fig.2.32).

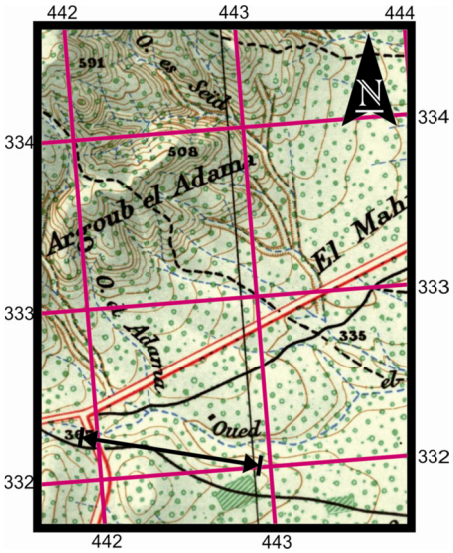
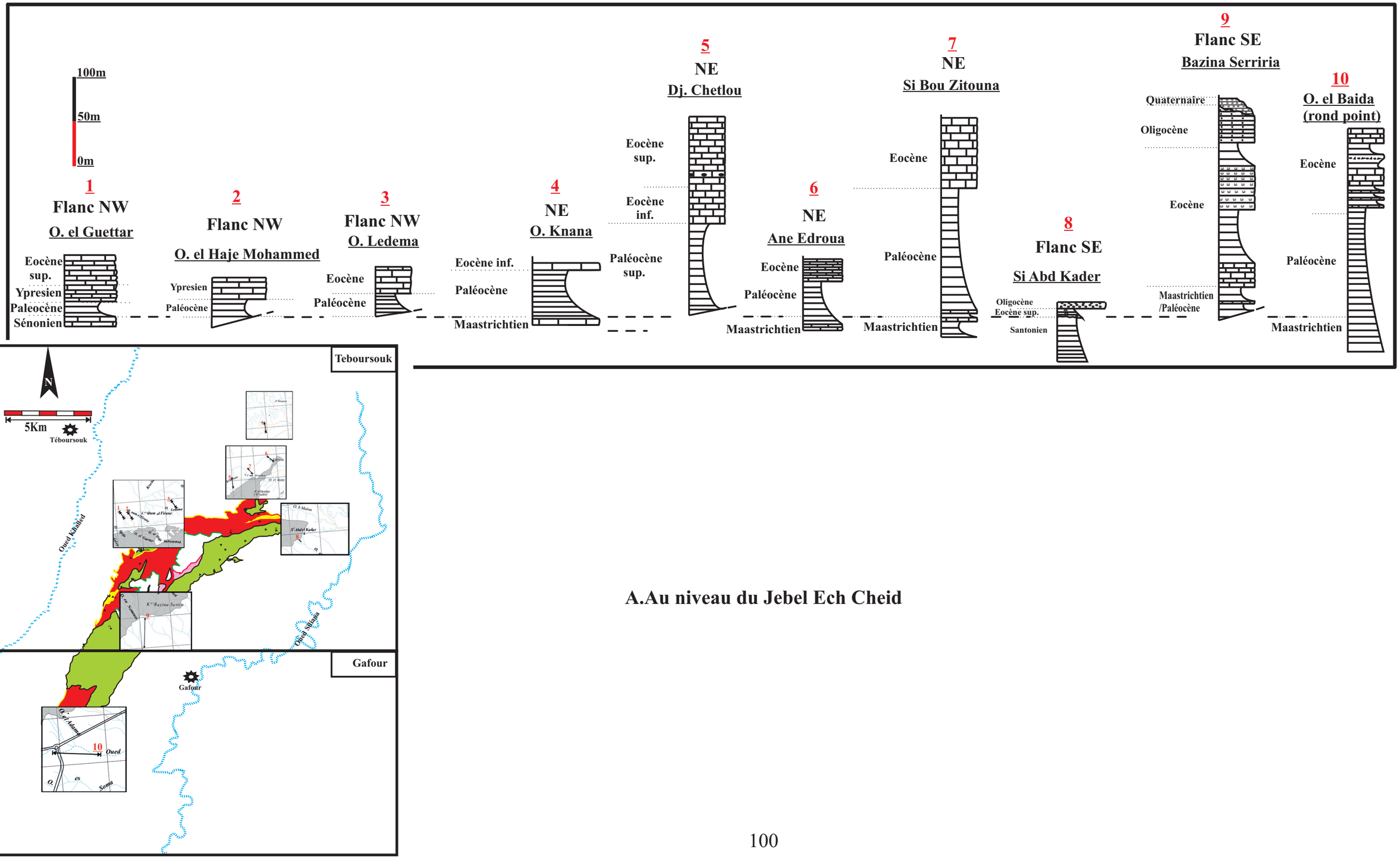
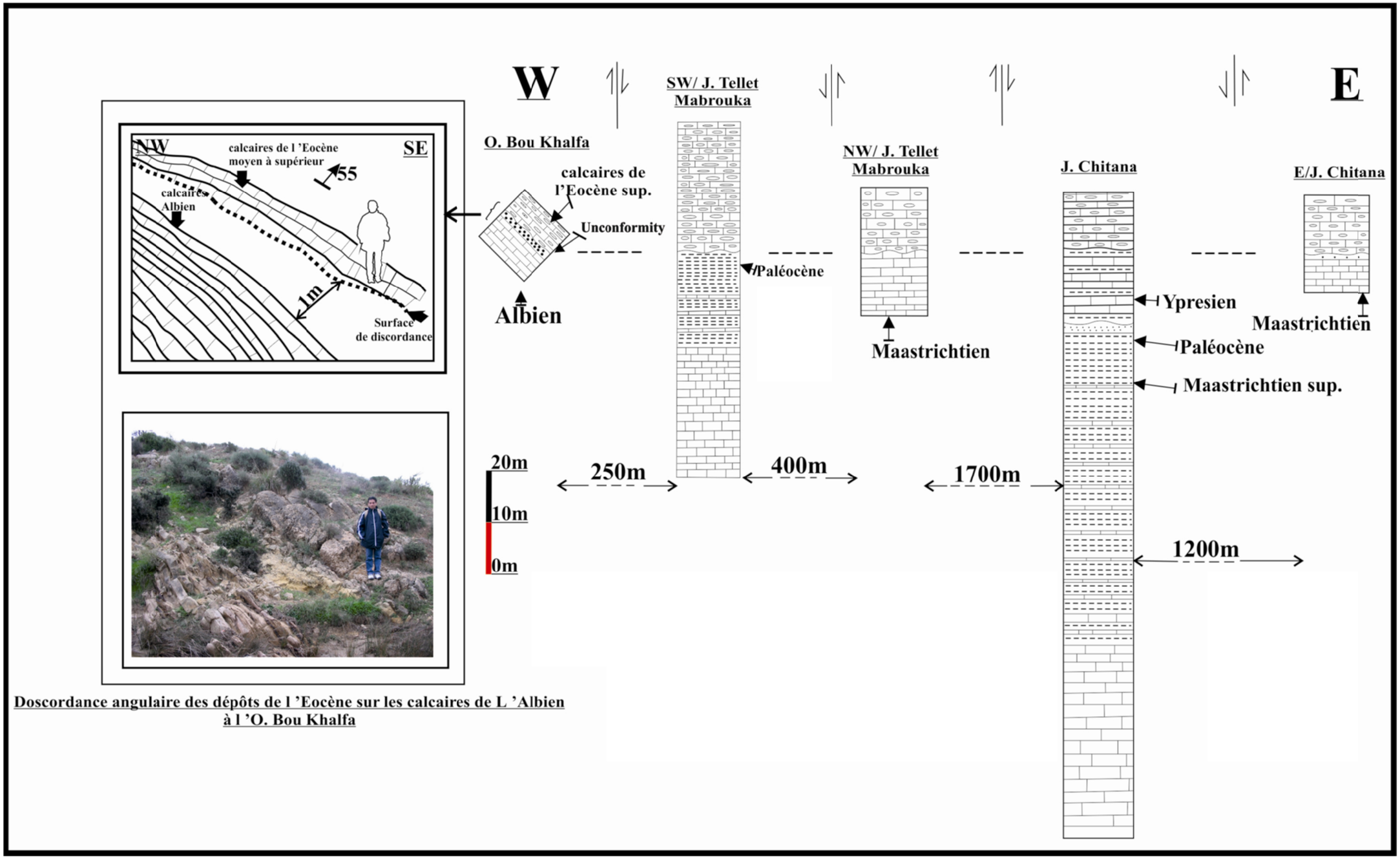


Fig.2.31 Localisation de la coupe lithostratigraphique de la coupe de l'Éocène du rond-point Siliana/Gafour/el Krib

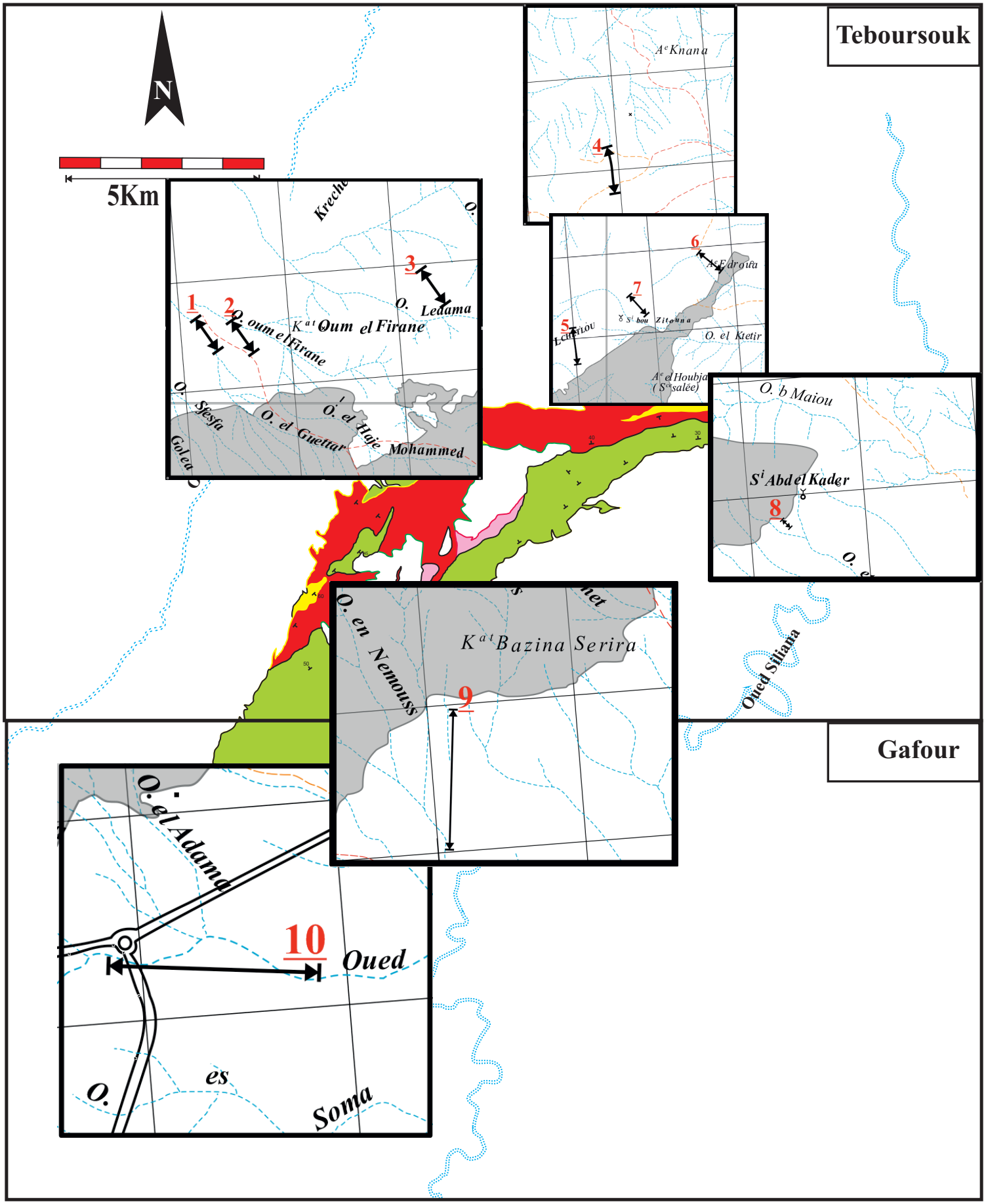


A.Au niveau du Jebel Ech Cheid



B. Au niveau de la structure Chitana/ed Djebs

Fig.2.32 Corrélation latérale des formations paléocènes et éocènes dans les zones d'études (pour la localisation des coupes faites dans la région de Slouguia voir (Fig.1.13)) A : Jebel Cheid, B : Jebel Chitana/ed Djebs



Suite Fig.2.32

4.1.3. L'Oligocène

Dans la région de Chitana/ed Djebs l'Oligocène est essentiellement à faciès marin littoral lumachellique bien représenté au J. Chitana, à J. Tellet Mabrouka, au J. Sene-Ed-Jemel et plus à l'ouest au Jebel El Aoud qui correspond au faciès de Cherichira (Fig.2.33).

Aux environs du village de Slouguia et à J. Chitana, les échantillons prélevés montrent : dans une matrice carbonatée riche en grains de glauconie et de phosphate, des discocyclines, *Asterodiscus*, ainsi que des *Nummulites vascus*, qui appartiennent à un horizon repère de l'Oligocène inférieur à moyen en Tunisie [E.T.A.P.,2002].

La série de l'Oligocène du J. Chitana montre, de bas en haut :

- des bancs de grès rouge siliceux très dur, d'épaisseur métrique ayant une épaisseur totale d'environ 15 m ;
- des marnes gypsifères jaunâtres avec présence de filons d'oxyde de fer et de quelques petits bancs de grès assez tendre ;

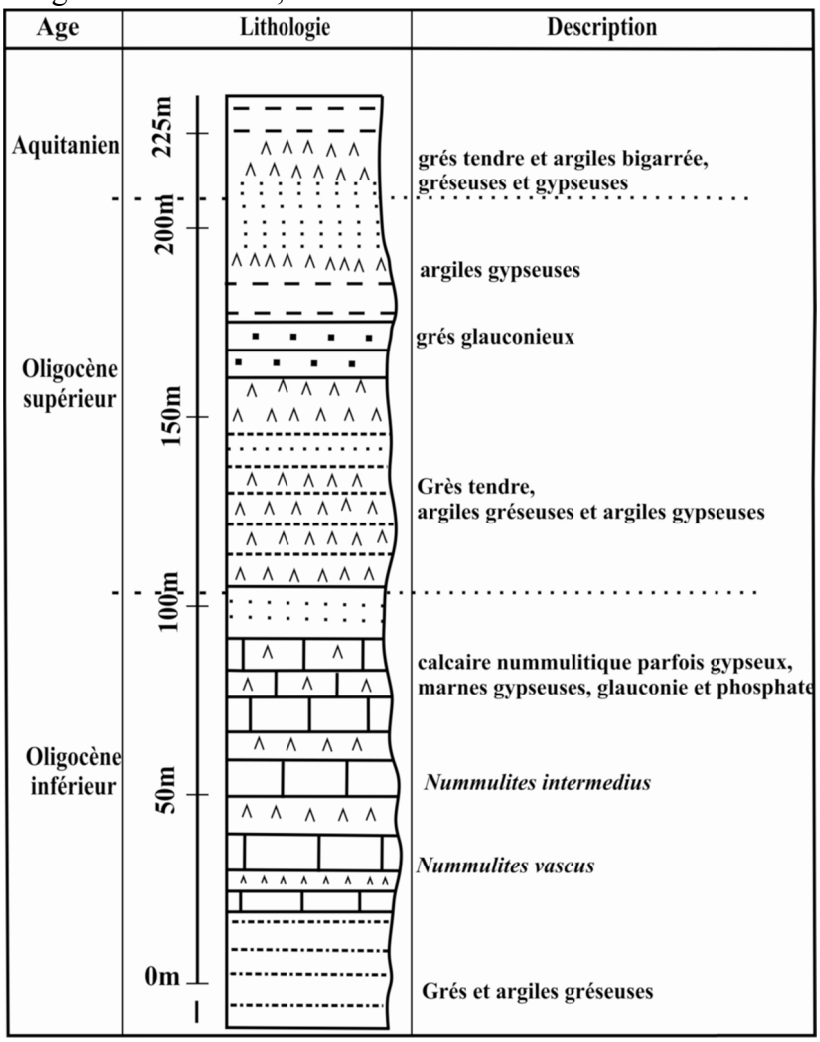


Fig.2.33 Colonne lithostratigraphique synthétique de l'Oligocène dans le secteur Chitana/ed Djebs

- l'ensemble est couronné par une alternance de grès sableux tendre rouge peu violacé à filons de gypses et marnes jaunes gypseuses alternant avec des grès jaunes grossiers.

Toute la série oligocène est épaisse d'environ 218 m.

Dans la zone du Jebel Ech Cheid la série de l'Oligocène est représentée par des sables et de grès à dragées de quartz au dos de la masse salifère de milieu essentiellement fluviatile. Aux alentours de la structure salifère nous avons observé une série à influence marine. L'affleurement le plus développé se trouve dans la zone de K^{at} Mejenba qui atteint une épaisseur de quelques dizaines mètre environs 60 mètres. Il montre de bas en haut la succession suivante (Fig.2.34):

a. des marnes gris foncé gréseuses
b. des alternances de marnes gréseuses et de grés

Note : la série de l'Oligocène est affectée par un ensemble des failles normales synsédimentaires dans la région du Jebel Ech Cheid sur le flanc nord au niveau de K^{at} Mejenba et sur le flanc sud au niveau de la mine de K^{at} Sofra (Fig. 3.16a et Fig. 3.21). En effet, les dépôts d'âge oligocène présentent un caractère transgressif sur divers substratums : le Trias (Fig. 3.29c) et tout le Crétacé.

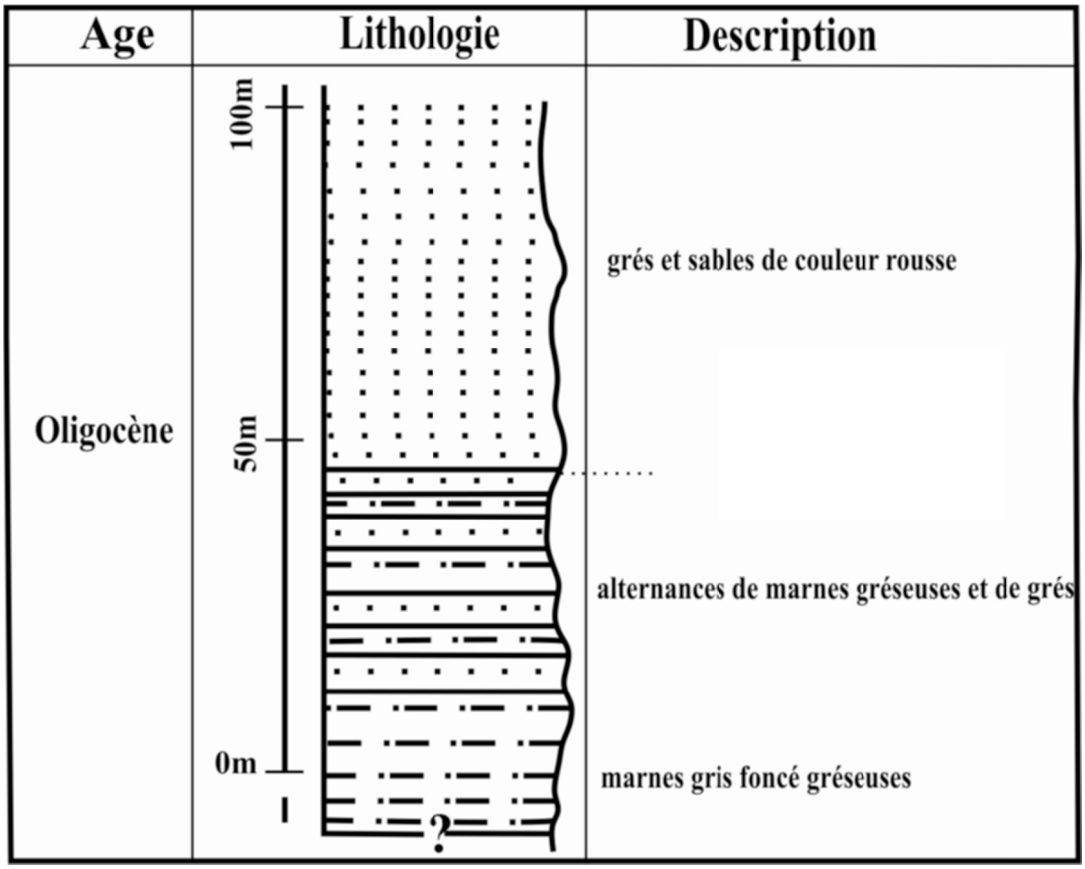


Fig.2.34 Colonne lithostratigraphique synthétique de l'Oligocène de la région du Jebel Ech Cheid

4.2. Le Néogène

Les dépôts néogènes en Tunisie septentrionale ont fait l'objet de nombreuses études géologiques [Solignac,1925, 1927, Burollet,1951, Bajanik & Salaj,1972, Rouvier,1977, Perthuisot,1978b, Daly,1981, Bel Haj *et al.*,1998, El Ouardi & Turki,2000, Masrouhi,2006]. Les résultats des différents auteurs sont souvent divergents.

Plusieurs approches ont été utilisées pour distinguer les différents ensembles sédimentaires et déterminer leur chrono-stratigraphie et leurs cadres tectoniques.

- M.Solignac [1925 et 1927] a distingué deux principaux cycles sédimentaires caractérisant les dépôts miocènes, séparés par une discordance générale à la limite Burdigalien-Langhien. Il a présenté aussi un découpage du Miocène basé sur une classification purement stratigraphique, à partir des coupes lithostratigraphiques dans la zone de Chitana ed Djebs. Les affleurements qui sont localisés dans la partie septentrionale du secteur Chitana/ed Djebs se présentent comme suit :

- Au nord-ouest du secteur d'étude se présente la série Miocène, qui débute depuis le Tortonien inférieur ($m1_{3a}$) et le Messinien (m_4).

- Dans le synclinal d'oued El Hamra situé au sud du J. ed Djebs, la série miocène est subdivisée en deux étages, Langhien et Serravalien. Elle est caractérisée par des dépôts essentiellement argileux (m_3), le Tortonien inférieur (m_{13a}) et le Tortonien supérieur (m_{23a}) et le Messinien (m_4). Le Burdigalien (m_{1-2}) n'affleure qu'à l'Est du J.Chitana.

- P.-F.Burollet [1951] a proposé l'idée d'une sédimentation continue des dépôts miocènes sans interruption. Il a distingué quatre formations au sein des dépôts néogènes, de bas en haut : les couches bigarrées de la Formation Hakima (Aquitanien-Burdigalien), les marnes helvétiennes de la Formation Oued El Meleh, les couches bigarrées serravaliennes de la Formation Kechabta et les argiles et les conglomérats tortono-messiniennes de la Formation Oued Bel Kdim.
- S.Bajanik et J.Salaj [1972] ont défini le Néogène post-tortonien moyen sous le nom de "faciès de Bou Sefra" dans la région située au nord-ouest du secteur Chitana-ed Djebs. Ils ont distingué le Miocène marin anté-Tortonien moyen et le Miocène laguno-continental post-Tortonien moyen. Ils ont attribué par corrélation avec les formations définies par Burollet [1951] en Tunisie Nord orientale, les Formations de l' Oued El Meleh, de Kchabta » et d'Oued Bel Khedim au Messinien. Ce sont des dépôts du Miocène « post-phase orogénique tortonienne ».

- H.Rouvier [1977], dans son travail sur l'extrême Nord de la Tunisie distingue deux types de dépôts miocènes : les dépôts dits "anté-nappes " (Aquitanien-Tortonien inférieur) à sédimentation marine et le Miocène " post-nappes " (Tortonien-supérieur-Messinien, qui sont pour l'essentiel continentaux.
- V.Perthuisot [1978b] a fait plusieurs coupes dans les dépôts du néogène, tel que celle d'oued Erroumoucha à proximité de la structure salifère de Thibar et celle de Draa Kantra au Nord Est de la structure du Jebel Ech Cheid. Il constate que les corrélations lithologiques entre les coupes citées ci-dessus ne sont pas évidentes, puisque l'origine des sédiments est différente.
- K.Daly, [1981] propose un autre découpage de la série Néogène en Tunisie du Nord. De bas en haut, la Formation de Zouitine, la Formation d'Hakima, la Formation de Kchabta et la Formation d'Oued Bel kdim.
- A.Bel Haj et al, [1998] ont proposé une autre classification des affleurements néogènes et leurs attributions lithologiques en Tunisie Centro-septentrionale (Tableau. 2.2).
- H. El Ouardi et M.-M.Turki [2000] proposent une nouvelle datation du Néogène, dans une étude qui intéresse le bassin néogène du secteur de Chitana /ed Djebs. Ils proposent le découpage lithostratigraphique défini par Burollet [1951] en Tunisie Nord Orientale. Ils suggèrent aussi une corrélation des dépôts néogènes, dans le secteur et les régions limitrophes (Fig.2.35) qui montre l'existence, toute autour de l'appareil salifère de Chitana/ed Djebs, de dépocentres qui sont occupé par les dépôts post-oligocènes : le nord est occupé par le mini-bassin de bou Sefra et le sud est occupé par le mini-bassin de l'oued el Hamra. Aux alentours du Jebel Chitana la logique de la sédimentation examinée est tout à fait différente des deux mini-bassins, avec un Miocène supérieur discordant sur son substratum Serravalien. En somme, les observations faites par P.F.Burollet [1951] ne sont appropriés qu'au niveau des dépocentres.
- Masrouhi [2006], décrit une coupe dans les dépôts néogènes au Jebel Djedaria- Bir el Hammadia au voisinage du plateau de Lansarine. Il met en en relief que la base du Miocène remanie toutes les formations jusqu'à l'Éocène moyen et que le Miocène basal est en discordance avec différents substratums antérieurs.

Tunisie du Nord	Age	Tunisie septentrionale			Tunisie Centro-méridionale	
		EST	OUEST	Groupe	Groupe	EST OUEST
Groupe Méllègue	Pliocène	Grès de Ghar el Milh	O.Joumaa	Groupe Méllè-gue	3ème Groupe	Sable Hammamet Argile Potier Ségui Argile S.Barka Beni Kiar Somaa
Groupe Medjerda (Post-nappes)	Messinien	Marnes de Raf Raf	Tessa			
	Tortonien	Chaabet et Tebala				
	Serravalien	O.Bel Khedim Kchabta O.Mélah Hakima	Kéchabta Hakima	Groupe Medjer-da	2ème Groupe Oum Douil	Saouef Béglia
Groupe Béjaoua	Languien					
	Burdigalien	Groupe Béjaoua			1ère Groupe Aïn Ghrab	Mahmoud Aïn Grab s.s O.Hammam Halouf
	Aquitanien					
		Groupe Fortuna.p.p				Messiouta El Haouaria Supérieur Inférieur

Tableau. 2.2 Essai de corrélation des séries néogènes de la Tunisie septentrionale [Bel Haj et al.,1998]

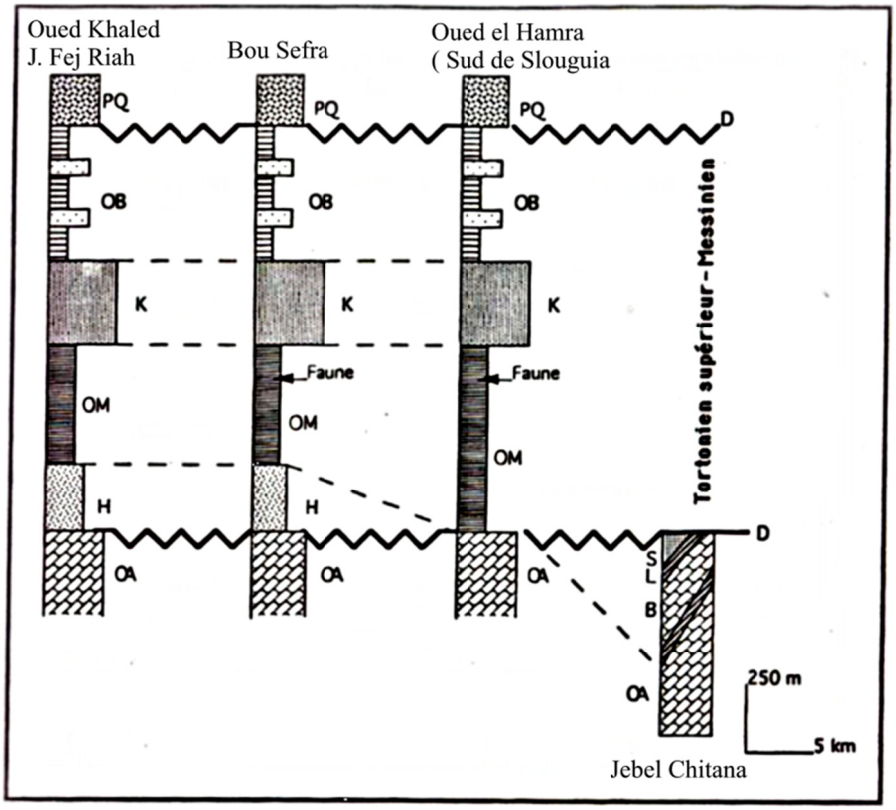


Fig.2.35 Corrélations des séries néogènes dans la région de Medjez el Bab. OA : Oligo-Aquitanien ; B : Burdigalien ; L : Langhien ; S : Serravalien ; H : Formation d'Hakima ; OM: Formation de l'Oued Meleh ;K: Formation de Kéchabta ; OB :Formation de l'Oued Bel Khedim ; PQ : Plio-Quaternaire; D : Discordance majeure [El Ouardi & Turki,2000].

4.2.1. Les affleurements néogènes dans les secteurs d'étude

4.2.1.1. Le Miocène

Au Sud du J. ed Djebs, dans le synclinal d'Oued El Hamra affleure une série épaisse de marnes avec du gypse secondaire.

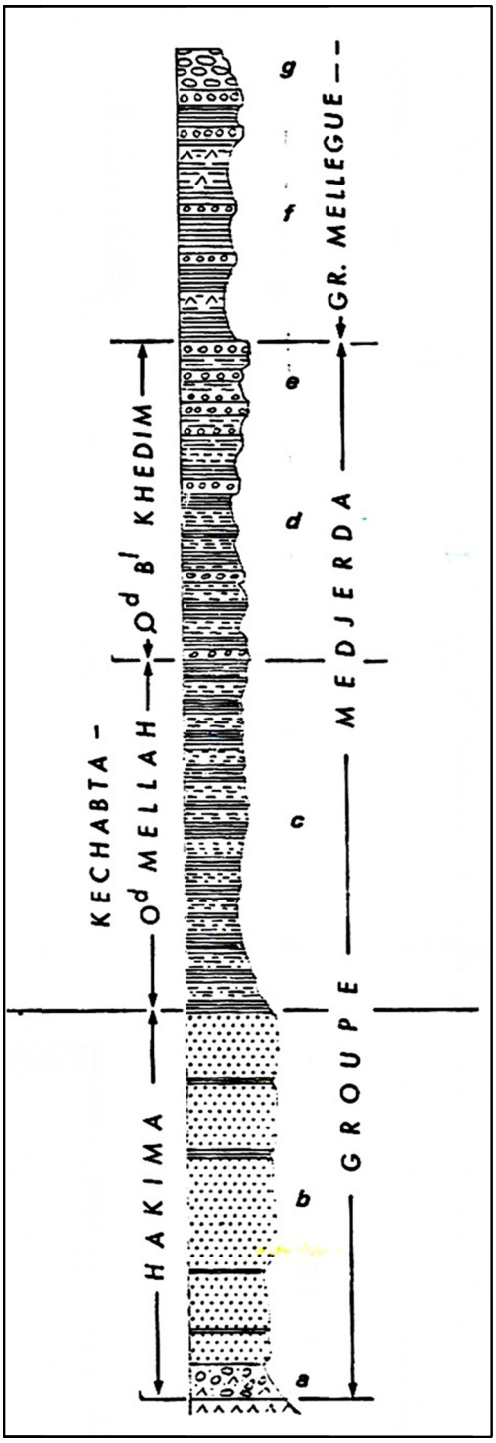
Au nord-ouest des massifs de J. Chitana, J. Rass El Krab et J. El Aoud, la série miocène fait partie du faciès de "Bou Sefra"[Bajanik & Salaj,1972].

Ces deux séries ont les mêmes caractéristiques lithologiques et sont essentiellement des dépôts marins [Solignac,1925, 1927]. Alors qu'au niveau de la région du J. Chitana on a une série plus au moins complète du Miocène à dépôt surtout laguno-continental.

Dans la région du Jebel Ech Cheid le Miocène est formé essentiellement par une série marno-gréseuse de couleur noire. Il repose en discordance transgressive sur différentes séries sous-jacentes ; nous signalons que les dépôts d'âge miocène ont une influence continentale au bord de la structure du J. Ech Cheid avec la présence de bois fossile (Fig. 2.36). Cette série présente une épaisseur très importante dans la localité de Draa Kantra [Perthuisot,1978b] (Fig.2.37). La série miocène (Fig.2.37) avec :

a. conglomérats et silts roses ; les niveaux de bases reposant directement sur le Trias sont riches en éléments triasiques, le ciment est gypseux (50 m) ;
b. épaisse série de grès et de silts rougeâtre (au moins 300 m d'épaisseur) ;
c. alternance de marnes noires et de marnes brunes plus silteuses, en séquences métriques avec quelques passées gréseuses et conglomératiques (300 m) ;
d. épaisse série silteuses bariolée, avec des passées conglomératiques à gros éléments de calcaires éocène (il s'agit parfois de blocs de plusieurs mètres cubes) (200 m) ;
e. conglomérat à éléments de calcaires de la formation Abiod ; à matrice rouge (environ 100 m) ;
f. marnes brunes et gypse avec des passées de cailloutis non consolidés, coiffées par une série conglomératique à éléments variés mais essentiellement éocènes (200 m) ;
g. conglomérats à très gros éléments d'Éocène, très peu consolidé, discordant sur l'ensemble des terrains précédents.

Note : Les bassins Néogènes dans les secteurs d'études bordent les formations salifères et occupent les synclinaux. . Les séries ne sont pas corrélables de point de vu de leurs faciès. Elles sont en discordances sur divers substratums : Trias, Crétacé inférieur jusqu'à l'Éocène.



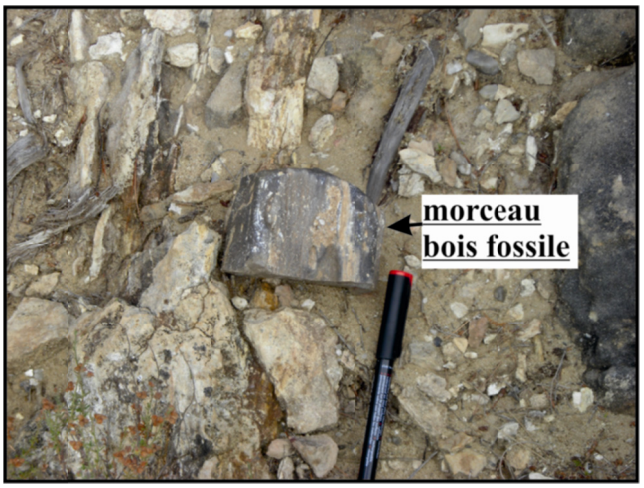


Fig. 2.36 Photo d'un morceau de bois fossile aux seins de la série Miocène au bord Sud de la structure du J. Ech Cheid

Fig.2.37 Colonne lithostratigraphique de la série Néogène affleurant au niveau de la région de Draa Kantra au nord-est de la masse principale du Jebel Ech Cheid [Perthuisot,1978b]

4.2.1.2.Le Plio-Quaternaire

Les terrains quaternaires dans la région de Chitana/ed Djebs correspondent essentiellement à des silts rouges, des croûtes, des éboulis et des sols. Les terrasses n'existent que sur les rives de l'oued Medjerda.

La série quaternaire dans la région du Jebel Ech Cheid est plus épaisse et développée sur le flanc Sud-ouest de la structure de Jebel Ech Cheid. Elle est représentée par une série conglomératique silicoclastique [Dali,1979a, Rebaï,1992].

Cette série fossilise des mouvements récents de la masse triasique, chose bien visible depuis el Azem Asoued jusqu'à l'oued Nehal (Fig. 2.38) en accord avec les observationsde H.El Ouardi [1996] au pied Sud du Jebel el Hendi et aux alentours du secteur Chitana/ed Djebs.

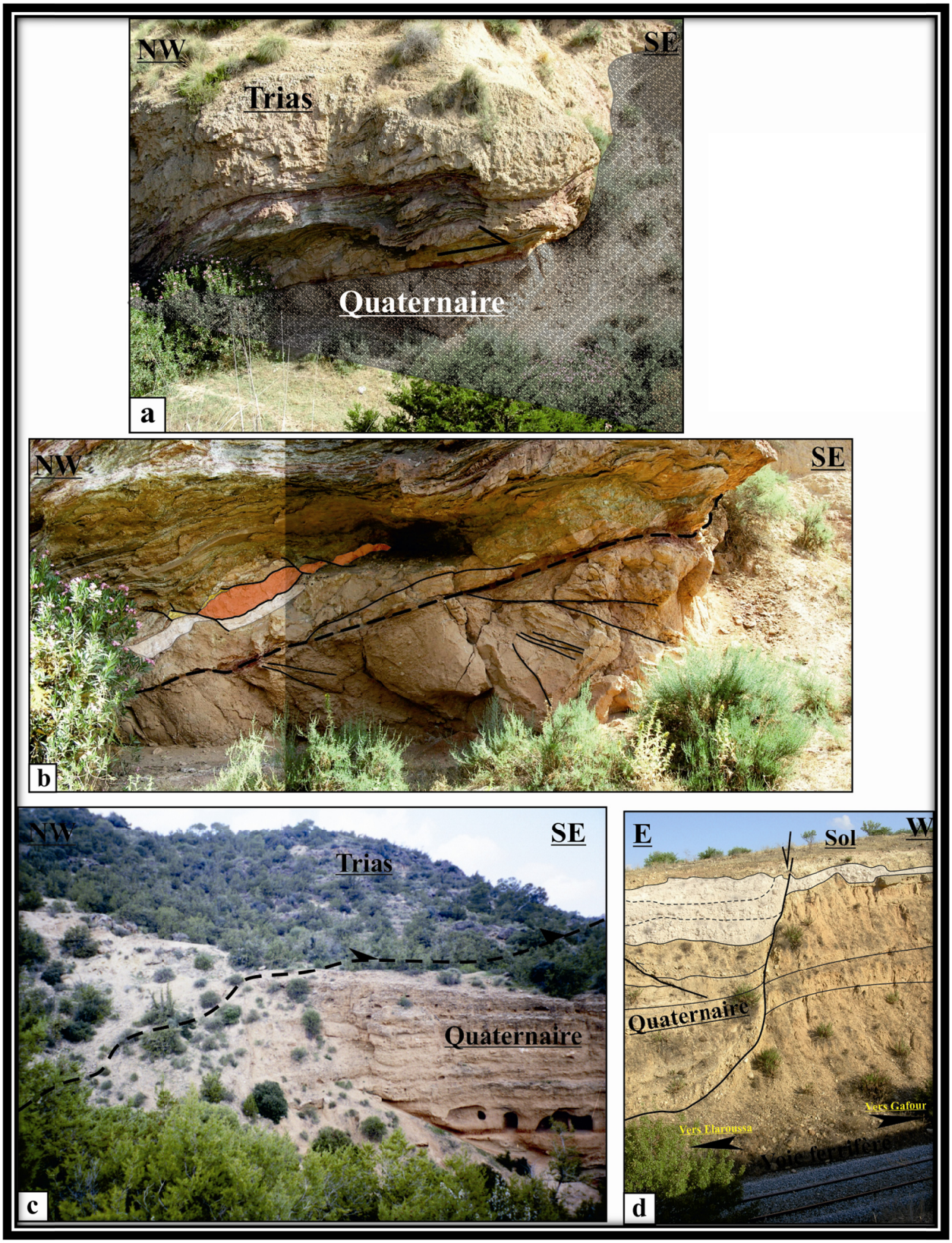


Fig. 2.38 Prises de vue des zones clés de failles inverses et normales du Quaternaire. a et b chevauchement du Trias sur des dépôts quaternaires d'oued En Nahal (flanc sud du J. Ech Cheid) ; c : chevauchement du Trias sur des sédiments quaternaires à l'oued el Ghrof ; d : faille normale aux seins des dépôts quaternaires (a,b reprisent de vue faites par [Dali,1979a] ; d : prise de vue faite par S.Rebaï [1992] d'une faille normale au seins des dépôts quaternaires.

5.1. Conclusions

D'après l'analyse des séries sédimentaires basée sur un échantillonnage localement serré, on peut dégager les interprétations suivantes.

5.5.1. La structure du Jebel Ech Cheid :

- ◑ la lacune apprente du Jurassique et du Crétacé basal est probablement liée aux mouvements halocinétique.
- ◐ le Crétacé inférieur présente une épaisseur réduite voire absente parfois en affleurement avec une série qui ne dépasse pas 350 m ce qui prouve un taux de subsidence faible ou avec des épisodes de non dépôt, excepté pour les dépocentres limitrophes de la structure salifère. Les mini-bassins sont créés à la suite d'une fuite rapide du matériel salifère plus rapide que la vitesse de sédimentation (voir Tableau. 5.3 chapitre 5).
- ◑ au niveau de l'oued Guettar et l'oued el Haje Mohammed (flanc Nord-ouest de la structure salifère) affleure la série la plus ancienne du Crétacé inférieur.
- ◑ nos observations sur le terrain et au laboratoire nous ont permis de se rendre compte des contacts sédimentaires suivants :
    a) le Cénomanien sur l'Albien et le Trias.
    b) le Campanien sur le Trias.
    c) le Paléocène sur le Trias.
    d) l'Éocène supérieur sur divers substratums antérieurs
    e) l'Oligocène sur différents substratums (le Trias, le Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur)
- ◐ d'apporter de nouvelles datations des terrains crétacés et tertiaires affleurant à proximité du Trias (voir nouvelle carte 1/50 000 en annexe).

- ◐ de décrire des interstratifications du matériel triasique et elles sont résumées dans le tableau si dessous (Tableau. 2.3)

5.5.2. La structure du Jebel Chitana/ed Djebs

- la lacune du Jurassique et du Crétacé basal qui est probablement liée et causée par les mouvements halocinétique.
- toute la série du Crétacé ne dépasse pas les 300 mètres d'épaisseur, ce qui montre un taux de sédimentation faible aux alentours de la structure salifère.

En effet nous avons mis en évidence des discordances suivantes :

a. L'Éocène supérieur sur différent substratum (Crétacé inférieur et supérieur).

b. L'Oligocène sur différentes formations antérieures.

Ainsi nous pouvons dénoter l'instabilité du matériel salifère, en plus sa mobilité syn-sédimentaire au profit des failles normales héritées.

- Les inter-stratifications du matériel triasique dans les séries mésozoïques sont résumées dans (
- Tableau. 2.4) si dessous :

Localité	Contact supérieur et où inférieur de nature « sédimentaire »	Age
Argoub Adama	Inférieur	Albien moyen
Akhouat	Supérieur et inférieur	Albien sup. et Albien inf.
Est Adama	Supérieur	Campanien
Est O. ed Djecha	Supérieur	Campanien
O. Khemis	Inférieur	Aptien
K^{at} Mejenba	Inférieur et supérieur	Albien inf. et Cénomanien
Knana	Inférieur et supérieur	Barrémien-Aptien
Rag^{bit} Mahjebia	Inférieure et supérieur	Campanien
O. el Aouess	Inférieur et supérieur	Barrémien et Aptien
Si Abd-el-Kader	inférieur	Santonien

Tableau. 2.3 Sommaire des contacts « sédimentaires » observé sur terrain dans la région du Jebel Ech Cheid

Localité	Contact supérieur et où inférieur de nature « sédimentaire »	Age
O. Bégi	Inférieur et supérieur	Albien inférieur et supérieur
J. Sene ed Jemel	Supérieur et inférieur	Cénomanien et Albien supérieur
O. Bou Kralfa	Inférieur et supérieur	Albien inférieur, Albien supérieur et Campanien
O. Blidha	Inférieur	Albien supérieur
Est J. Chitana	supérieur	Maastrichtien

Tableau. 2.4 Sommaire des contacts « sédimentaires » observé sur terrain dans la région de Testour/Slouguia

CHAPITRE 3

ETUDE TECTONIQUE

ÉTUDE TECTONIQUE

La structure salifère du Jebel Ech Cheid constitue un exemple de référence remarquable de toutes les structures « diapiriques » en Tunisie [Perthuisot,1978b]. Elle compte parmi les structures les plus étudiée dans la province salifère de la Tunisie du Nord et est généralement considérée comme une structure salifère évoluée dans un contexte compressif [Solignac,1927, Bolze,1950, Sainfeld,1952, Burollet & Dardel,1953, Nouvel & Nicolaï,1966, Perthuisot,1972, Madon & Nouvel,1973, Perthuisot,1974, Perthuisot & Saliot,1976, Perthuisot,1978b, Dali,1979a, b, Perthuisot,1981, Hatira *et al.*,2000]. Alors que la structure de Chitana/ed Djebs est définie soit comme une structure de semelle de nappes de charriages [Solignac,1925, 1927] soit comme un « Diapir » [Bajanik & Biely,1973] au sens de Mrazec [1907], soit comme un dôme de sel [El Ouardi,1996] et en fin, soit comme un « glacier » de sel [Ben Slama,2004, Ben Slama *et al.*,2009](Fig. 3.1).

1. La structure de Chitana/ed Djebs

Dans la plaine de la Medjerda, aux environs de Testour, Slouguia, les plis présentent une direction atlasique (NE-SW), par exemple aux environs de l'O. Bou Kralfa, du Sene ed Djemel, de l'O. El Hamra…

Les directions tectoniques responsables de la structuration de cette région sont définies depuis le début du XXème siècle [Solignac,1925, 1927, Jauzein,1967, Bajanik & Salaj,1971]. Elles sont les deux principales directions : N040 à N060 et N080 à N090, elles caractérisent l'architecture de cette zone durant les différentes phases tectoniques.

1.1. Les éléments structuraux observés : (Fig.3.2)

1.1.1. Les plis

- Aux environs du J. Sene ed Jemel–O. Bou Kralfa :

À l'ouest de l'oued Sene ed Jemel, on a observé un pli anticlinal de direction NE-SW à cœur d'Albien inférieur. Par ailleurs les terrains les plus jeunes affectés par le plissement dans cette localité sont d'âge oligocène. Le plissement est donc post oligocène.

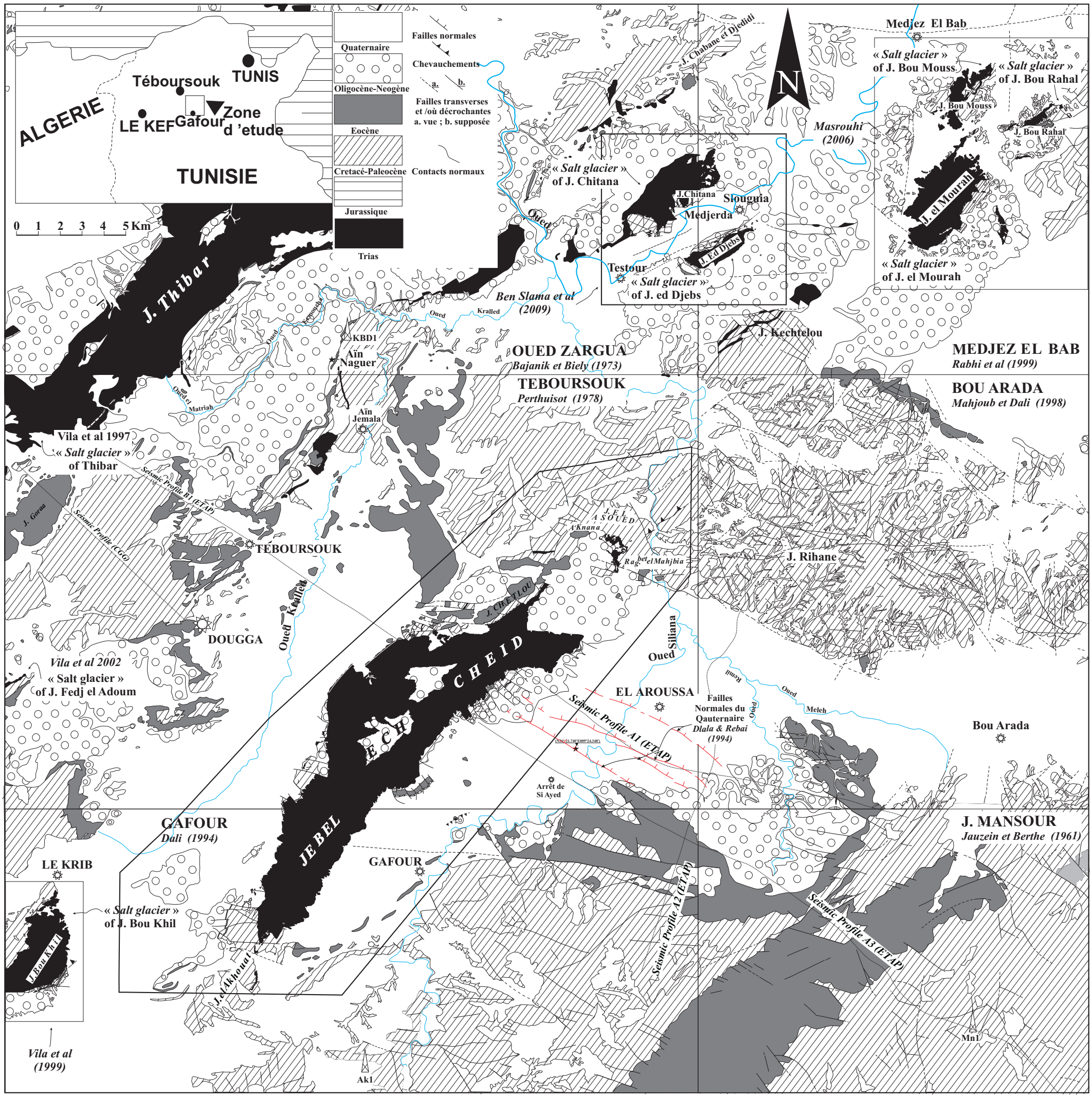


Fig.3.1 Carte de localisation de la zone du J. Ech Cheid et Chitana/ed Djebs et des appareils qui les entourent

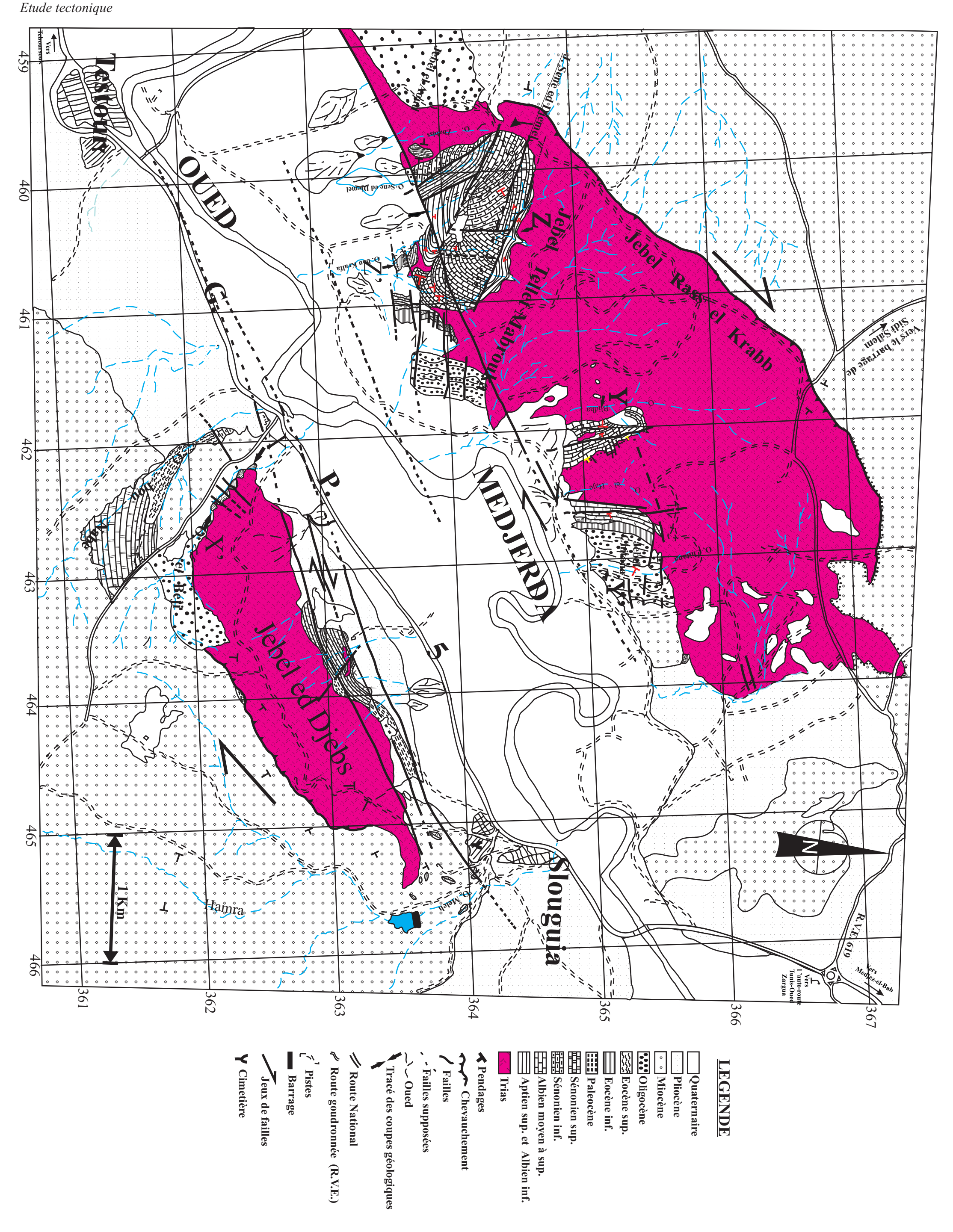


Fig. 3.2 Carte géologique de la région Chitana-ed Djebs[Ben Slama et al.,2009]

- A L'O. Bou Kralfa, un anticlinal de direction NE-SW, à cœur Albien inférieur. (Fig.3.2 et Fig.3.28). A côté du pli précédent on a : un pli synclinal de direction NE-SW à pendages convergent de 55°SE et NW, à cœur d'Éocène supérieur (Fig.3.28). L'entaille de l'oued Bou Kralfa laisse apparaître les calcaires sous-jacents d'âge Albien. La série la plus récente est d'âge Éocène supérieur.

À l'O. Blidha (Fig.3.25): il s'agit d'un anticlinal, avec un axe de direction NE-SW, à cœur d'Albien. La série la plus récente affectée par ce plissement est d'âge oligocène. Donc l'âge de plissement est post Oligocène.

L'anticlinal de l'O. El Bégi: ce pli a une direction NE-SW, à cœur d'Aptien supérieur.

Tous les plis ont une direction NE-SW avec une vergence SE.

1.1.2. Les failles

1.1.2.1. La direction atlasique

Il s'agit de la direction d'alignement des structures salifères. Les deux principales failles sont : le chevauchement septentrional [Solignac,1923b, 1925, 1927] considéré comme le prolongement de la « cicatrice de Téboursouk » [Jauzein,1967, Hafeid *et al.*,1994] et le chevauchement méridional soulignant le J. Kechtelou [Solignac,1925]. Ces deux accidents determinent un couloir de direction NE-SW(Fig.3.3).

Le jeu simultané de ces deux failles chevauchantes, est responsable de la structuration géologique de la région d'étude.

Au nord du premier chevauchement la direction atlasique est dominante, mais au Sud du second on observe a les directions N-S avec des pendages à l'est et à l'ouest [Solignac,1925, Ghanmi *et al.*,1996]. Ils correspendent à d'anciennes failles normales héritées depuis le Crétacé inférieur [Chikhaoui,1988, Martinez et al.,1991, Chikhaoui et al.,1998] organisées en graben ; leur présence a favorisé la structuration du bassin sédimentaire de la région Slouguia-Testour à l'image d'un fossé d'effondrement ce qui se manifeste au Crétacé inférieur(Fig.3.2).

- Les accidents de direction atlasique observés dans le secteur d'étude sont des failles décrochantes qui ont joué plusieurs fois en dextre et en senestre.

Par exemple l'accident passant depuis J. el Aoud jusqu'à J. Chitana est une faille décrochante normale à composante verticale. La faille à composante inverse au nord des monts de Rass El Krab est responsable du chevauchement du matériel salifère sur les sédiments miocènes de la Formation conglomératique « Kechabta ». Donc le dernier jeu est

posterieur au dépôt de la Formation de Kechabta d'âge Langhien supérieur/Serravalien inférieur.

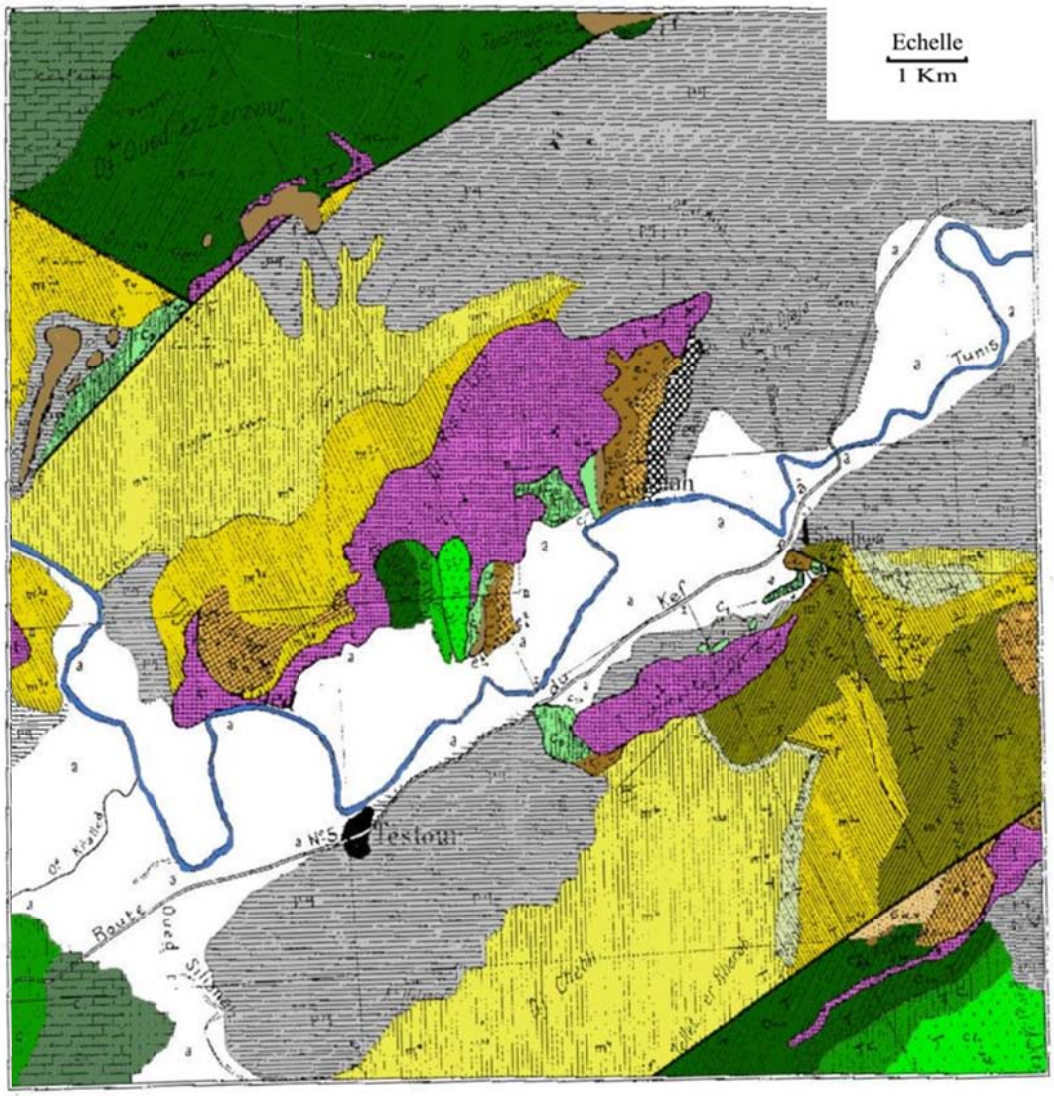


Fig.3.3 Carte géologique de la zone Chitana/ed Djebs et régions voisines [Solignac,1925]

p-q : Plio-Quaternaire,	m^4 : Messinien,	m_2^{3a}: Tortonien supérieur,	m_1^{3a} : Tortonien inférieur
m^3: Seravalien-Languien,	Burdigalien,	e_b^2, Grès nummulitiques,	e_{II} Marnes jaunes à gypse,
e_{III}^b : Calcaires à Nummulites,	e_{IV-V}, Marnes paléocènes	C_9 : Sénonien,	C_{5-4} : Cénomanien,
C_1 : Aptien supérieur et Albien,	C_{V-II} : Néocomien à Aptien inférieur,	αC_{IV-V}: Néocomien de l'autochtone,	t : Trias.

- Les failles de directions NE-SW de part et d'autre de l'Oued Medjerda correspondent à des décrochements dextres.

Elles ont probablement joué simultanément en jeu transverse en affaissant tout un bloc de l'Albien inférieur, chose visible dans l'oued Bou Kralfa. Les couches les plus récentes affectées sont d'âge Oligocène. Ce système de failles à composante décrochante dextre rappelle une structure en graben. Elles ont une. Le re-jeu de tous les accidents dans une phase de compression fini-tertiaire à quaternaire est probable.

1.1.2.2. Les failles N-S

Les failles méridiennes ont joué essentiellement en failles « transverses ». Par exemple les failles d'oued Bel Haj sont essentiellement à composante verticale avec le soulèvement du compartiment est et l'affaissement du compartiment ouest. Dans le secteur d'étude, ces deux failles mettent respectivement le Santonien en contact avec le matériel salifère et le campanien supérieur, en contact avec les marnes santoniennes.

1.1.2.3. Les failles E-W

Le secteur montre l'influence des accidents E-W qui se manifestent surtout par les failles situées au niveau du J. Tellet Mabrouka, dans les formations d'âge éocène et oligocène. Elles possèdent un jeu décrochant dextre. La Formation la plus récente touchée par cette direction, est d'âge oligocène.

1.1.2.4. Les failles NW-SE

Cette direction se manifeste par les failles qui ont joué essentiellement en jeu transversal normal parfois décrochant-inverse. Ceci se manifeste par l'affaissement de la formation albienne dans l'O. Bou Kralfa.

La faille NW-SE dans l'anticlinal d'oued Blidha présente une composante verticale à normale avec soulèvement du compartiment est et affaissement du compartiment ouest. Cette faille met l'Albien supérieur en contact avec le Trias. La formation la plus récente touchée par cet accident est d'âge oligocène.

1.1.2.5. Conclusion

Dans la région de Chitana/ed Djebs les failles de direction atlasiques et bordières des masses de sel sont des failles héritées des époques transtensive du Crétacé inférieur [Chikhaoui,1988, Martinez et al.,1991, Chikhaoui et al.,1998] ; de plus elles sont responsables de la mobilité du matériel salifère et de la structuration du bassin sédimentaire. Le système de faille de direction NW/SE sont des failles anciennes qui ont rejoué tardivement durant les plissements tertiaires à quaternaire.

1.2. Les discordances

1.2.1. Discordance de l'Éocène (Fig.2.32)

L'Eocène supérieur à Nummulites très riche en glauconie est discordant sur plusieurs formations crétacées et même sur le Paléocène.

Tout d'abord il est discordant sur le Crétacé supérieur à l'est du J. Chitana, sur les marnes daniennes également au J. Chitana. La discordance la plus significative est celle observée à l'O. Bou Kralfa ou la Formation nummulitique est discordante sur les calcaires albien.

- Les calcaires de l'Éocène supérieur sont discordants sur le Paléocène à l'est de l'O. Bou Kralfa.

- Discordance de l'Éocène supérieur sur les calcaires maastrichtiens à l'Est du J.Chitana.

- L'Éocène supérieur est discordant sur les marnes du Paléocène et les calcaires maastrichtiens au J. Tellet Mabrouka.

Le secteur étudié a donc subi comme les régions limitrophes un plissement modéré, anté-Oligocène (Fig.3.28 et Fig. 3.29d). C'est le résultat de la phase atlasique qui atteint son paroxysme sà l'Eocène supérieur.

1.2.2. Discordance de l'Oligocène

L'Oligocène gréseux rouge et lumachelliques repose en discordance faible d'abord sur l'Éocène à Nummulites sur le bord du J.Chitana; puis sur le Trias du J. Rass el Krabb (Fig. 3.29c). La discordance sédimentaire la plus spectaculaire est visible à l'Ouest du J.Sene-ed-Jemel. Nous avons pu y observer que la Formation lumachellique de l'Oligocène repose

successivement sur le Cénomanien et sur le matériel salifère ; c'est un dispositif connu à l'échelle régionale [Sainfeld,1952, Perthuisot,1978b, Ghanmi et al.,2001, Vila et al.,2002]

Cette discordance ne correspond pas à une érosion qui aurait atteint le Trias dans sa position originelle sur le Vraconien, dont les niveaux les plus anciens n'affleurent pas. La remise à plat de l'Oligocène faiblement discordant, ne permet donc pas de retrouver une structure intrusive à cœur du Trias.

1.2.3. Discordance du Plio-Quaternaire

Les dépôts du Plio-Quaternaire sont naturellement discordants sur divers substratums, ceci se manifeste bien sur l'intersection la route G.P.5/oued Bou Nabe.

1.3. Le paroxysme de compression Tertiaire au Miocène:

Au cours de cette période très importante dans la structuration de la Tunisie septentrionale, les plis anté-Oligocène (Fig.3.28 et Fig. 3.29) ont subi un raccourcissement. Ils sont coffrés tardivement et parfois sont déversés vers le SE ; cela traduit une compression intra-miocène de direction NW-SE [Rebaï,1992, Rebaï *et al.*,1992, Rebaï,1993, El Ouardi,1996, Masrouhi,2002, 2006, Masrouhi et al.,2007]

Il existe en outre un chevauchement au nord du J. Chitana de direction NE-SW. Le mouvement tectonique de cisaillement compressif se manifeste le long du contact Trias-Miocène supérieur moyennement penté (la surface du chevauchement à pendage de 40° SE). Le complexe triasique recouvre anormalement les terrains miocènes à conglomérats polygéniques contenant des éléments de grès lumachelliques provenant de l'Oligocène en boules.

C'est aussi l'enregistrement de la phase atlasique [Burollet,1956, Frizon De Lamotte *et al.*,2000, Masrouhi,2000, Khomsi *et al.*,2006, Masrouhi *et al.*,2008, Ben Slama et al.,2009]. Elle se traduit dans plusieurs localités par la discordance du Plio-Quaternaire, légèrement ondulée comme sur la G.P.5 au niveau d'oued Bou Nabe.

2. La structure du Jebel Ech Cheid

Entre la plaine de Khalled et la plaine de Gafour/el Aroussa, au Sud du site archéologique de Dougga/Téboursouk, la plupart des traits structuraux présentent une direction NE-SW.

2.1. Les éléments structuraux observés

Le schéma structural simplifié (Fig.3.4) de la zone étudiée montre la présence de différentes structures plissées (anticlinaux et synclinaux…) et cassantes (failles normales, inverses et chevauchements…) avec des alignements majeurs et d'autres secondaires. Les grands accidents existants présentent une direction prédominante NE-SW analogue à celle de la direction des plis [Solignac,1923b, a, 1927, Burollet,1956, Jauzein,1967, Zargouni,1986, Dlala,1995, Ghanmi,2003].

2.1.1. Les plis

Aux environs de Ragoubet Mahjbia et au Nord-est de la structure salifère affleurent deux anticlinaux côte à côte. Le premier est à cœur barrémien, le second est à cœur campanien. Ils ont une direction sensiblement NNE-SSW. Au nord, du premier pli affleure un monoclinal dominant le relief du Jebel el Asoued, alors qu'au Sud et au SW de la région de Ragoubet Mahjbia se trouvent : les synclinaux de Draa el Kantra et de la plaine d'el Aroussa.

À proximité du village de Chetlou affleure le synclinal du Jebel Chetlou de direction NE-SW. C'est le seul pli qu'on peut souligner facilement sur la partie nord-orientale de la structure salifère. Le reste du flanc nord-ouest est très tectonisé et c'est rarement qu'on peut obsever des structure souples bien dégagées. Il s'agit d'une série renversée et fracturée.

Sur le dos du matériel salifère se trouve un synclinale à cœur oligocène de direction NE-SW. Il montre des pendages faibles dans sa partie nord-orientale alors qu'ils atteignent 80°dans la partie SW.

Sous la plaine de Gafour se trouve le prolongement probable du synclinal de l'Aroussa. C'est la même chose pour la plaine de l'oued Khaled sous laquelle existe synclinal.

Dans l'extrémité sud-ouest de la structure salifère il convient de remarquer l'existence d'un anticlinal à cœur aptien présentant une direction NNE-SSE.

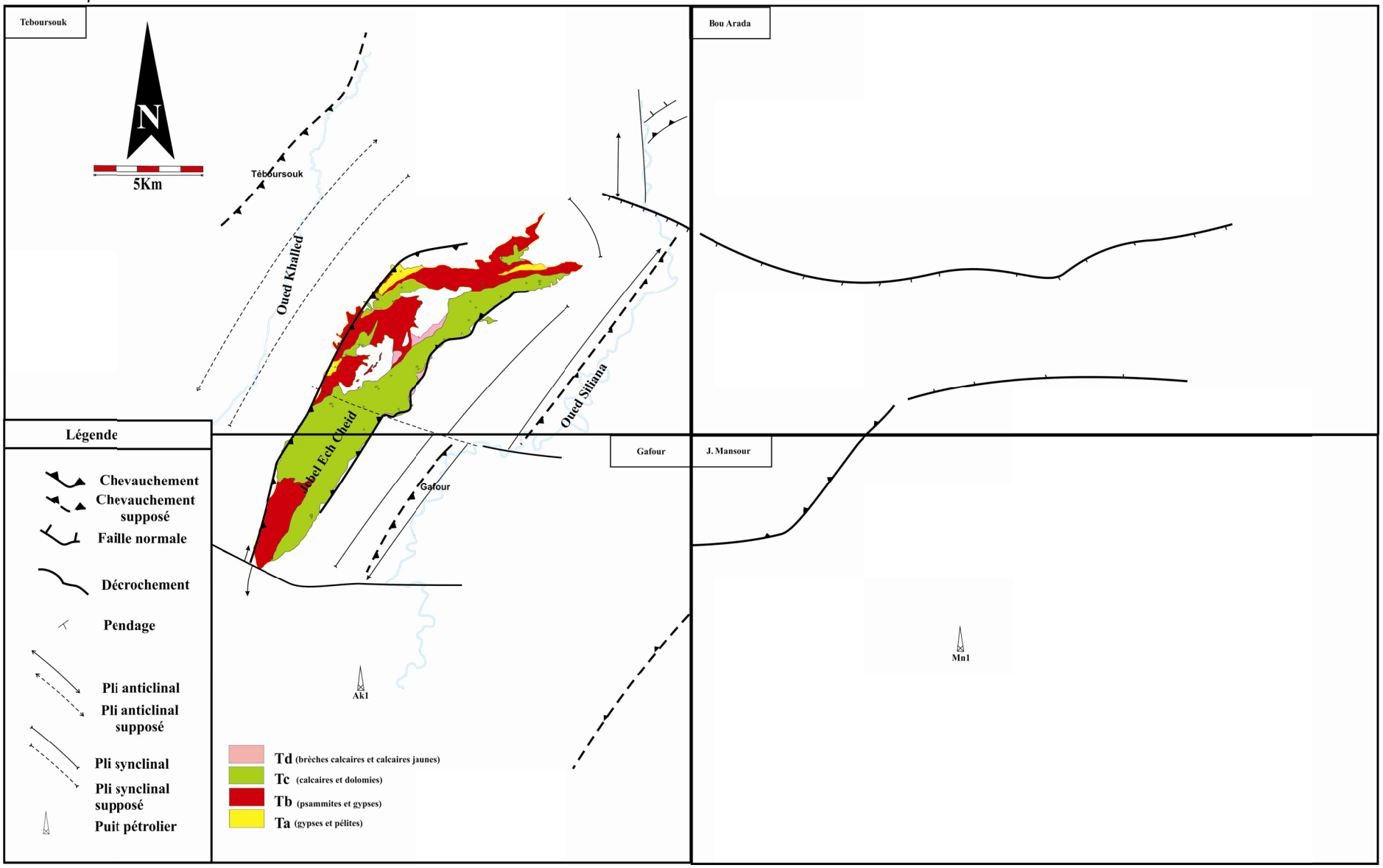


Fig.3.4 Schéma structural simplifié du secteur du J. Ech Cheid et des zones environnantes (pour plus de détail voir : Fig. 3.1, Fig.4.5, Fig.4.6, et Fig.annexe.27)

.

2.1.2. Les failles

2.2.1. La direction NE/SW (Fig.3.4)

i. la faille de Téboursouk est à vergence sud-est [Jauzein,1967, Vila et al.,1999],

ii. les failles bordières de la structure salifère sont à vergence opposée : la première dans le flanc nord est à vergence NW, alors que la deuxième dans le flanc Sud-est est à vergence SE.

iii. une nouvelle faille cartographiable est vdéfinie dans ce travail : la faille de Gafour-oued Siliana (G.O.S), avec l'intersection oued el Aleg/Oued Siliana un jeu visible inverse à vergence SE. Elle permet à l'affleurement un lambeau coincé de calcaire crayeux de la formation Abiod en face de l'Éocène et l'Oligocène à pendages inverses.

iv. une faille située à cheval sur la feuille de J. Mansour [Jauzein & Berthe,1961] et la feuille de Gafour [Dali,1994] à vergence SE.

À proximité de l'oued Siliana, et au niveau de la partie nord-orientale du secteur sont visibles des systèmes de failles les unes à jeu normal, les autres à jeu inverse, voire chevauchant dans une épaisse série albienne. Ce système semble dû aux compressions tertiaires.

2.2.2. La direction méridienne

Les failles méridiennes ne présentent pas une grande importance de point de vue de leur fréquence sur le terrain. Le seul exemple d'importance est celui de la faille de l'oued Siliana à proximité du Jebel el Asoued. Elle a essentiellement une composante décrochante dextre.

2.2.3. Les failles E-W

Elles sont fréquentes dans le secteur. Elles constituent un système de failles décrochantes d'accommodation aux cours des phases compressives tertiaires.

2.2.4. Les failles NW-SE

Les failles de direction N120 sont fréquentes à proximité des bordures de la structure salifère, sur son flanc nord-ouest comme sur son flanc sud-est. Tardives, elles affectent les séries miocènes. Elles dessinent un schéma en queue de cheval, forme qui nous amène à penser que ces failles sont le résultat d'une cinématique en décochement compressif. Lui aussi

à la fin du Tertiaire. Ce phénomène semble se poursuivre jusqu'à l'époque Quaternaire. Il provoque la coexistence de failles normales et de failles inverses [Rebaï,1992, Rebaï,1993, Dlala & Rebai,1994].La compression quaternaire est enregistrée dans le flanc SE du Jebel Ech Cheid à l'oued En Nhal, à oued el Ghrofe et dans la région de l'Azem el Asoud. D'après la carte géologique 1 : 50 000 du secteur d'étude (Fig. annexe. 27) et d'après la (Fig. 3.1), nous proposons un autre scénario pour la simultanéité des failles additives et soustractives relativement dans une même époque :

a.1. la structure du J. Ech Cheid est limitée par deux réseaux de failles chevauchantes (Trias sur encaissant).

a.2. de plus, elle appartient au domaine de déformation décrochante-compressive [Dlala,1995].

a.3. d'après la carte géologique de [Dlala & Rebai,1994] (Fig. 1.26) et la carte géologique (Fig. annexe. 27), nous interprétons la présence simultanée des deux types de réseau par la création d'un système en « queue de cheval » ; ce système est cohérent avec les failles de direction NW/SE existant sur le bord sud de la structure du J. Ech Cheid (Fig. annexe. 27) et permet la coexistence des deux types de failles (Fig. 3.5)

a.4. les failles inverses Quaternaire sont le produit d'un mouvement décro-chevauchant du réseau de failles situé sur le bord sud de la structure du J. Ech Cheid.

a.5. les failles normales de direction NW/SE sont le produit d'une structure en queue de cheval.

a.6. nous proposons l'existence d'une antiforme dans une série renversée issue d'une structure en « *rollover* », et l'occupation du cœur de la structure précédente par un système de failles décro-chevauchant à vergence nord-ouest ; ceci sera démontré plus loin dans le chapitre 4.

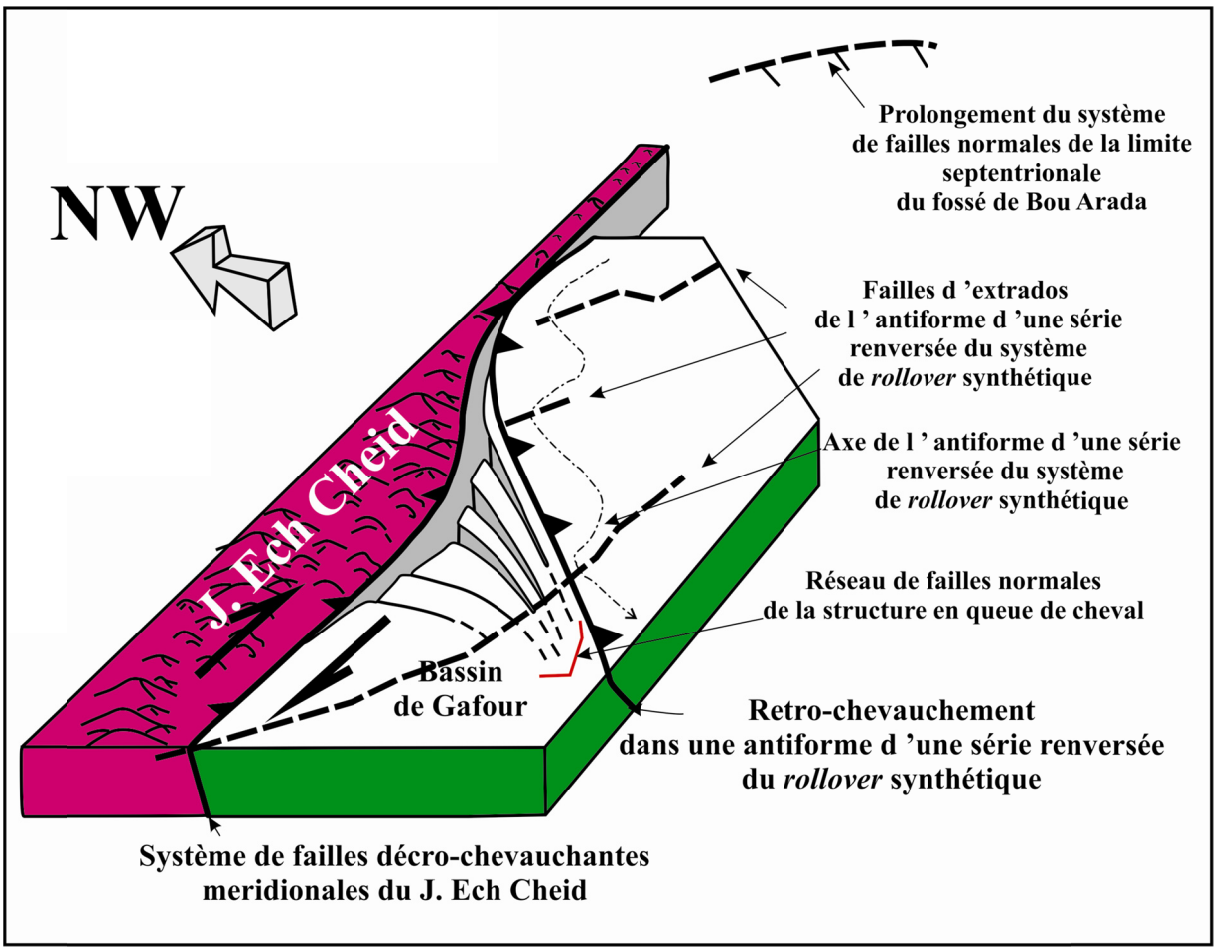


Fig. 3.5 Modèle de formation d'une structure en queue de cheval au Sud de la structure du J. Ech Cheid adapté d'après Ingersoll [1988]

Les failles de directions NW-SE existent encore dans les deux extrémités de la structure salifère, 1. À l'oued el Baida qui a une composante essentiellement décrochante, 2. À Ragoubete el Mahjbia (nord-est de la structure salifère) qui a une composante essentiellement normale, puisqu'elle place côte à côte du Barrémien/Aptien et du Campanien.

2.2.5. Conclusion

D'après l'esquisse présentée ci-dessus (Fig.3.4, Fig. 3.1 et Fig. annexe. 27) des différentes directions de failles dans le secteur d'étude, il faut noter l'existence d'un couloir de cisaillement dextre de direction NE/SW, qui dessine en majeure partie l'architecture du bassin sédimentaire aux alentours de la structure salifère ainsi que la cinématique des systèmes de failles. Ce couloir comprend, à la cicatrice de Téboursouk (C.T.) au nord [Jauzein,1967, Vila et al.,1999] à vergence sud-est, au système de failles chevauchantes « Gafour-Oued Siliana (G.O.S.)» dans la partie méridionale à vergence sud-est et au réseau de failles bordières de la masse principale triasique à vergences opposées NW et SE.

Ce couloir (Fig.3.4) (C.T. et G.O.S.) a été le moteur principal de la structuration du bassin sédimentaire du secteur d'étude. Il est en grande partie hérité d'un réseau de failles distensives datant du Jurassique-Crétacé basal [Rais *et al.*,1991, Bédir *et al.*,2000, Bel Kahla *et al.*,2007].

Les structures plissées au nord et au sud de secteur d'étude sont des structures associées liées aux mouvements des accidents majeurs NE-SW à savoir les plis au Nord du Jebel Ech Cheid, les plis au Sud de la masse triasique, l'antiforme dans une série renversée d'oued Siliana, et l'anticlinal de l'Akhouat.

2.2. Les discordances sédimentaires

Nous n'avons pas pu observer dans le secteur d'étude des discordances du Crétacé inferieur. Mais régionalement [Le Nindre *et al.*,1984] et dans la province salifère existe des discordances sont décrites :

i. du Bédoulien sur le Barrémien ;
ii. deux autres discordances intra-Bédoulien ;
iii. une discordance entre le Gargasien et le Bédoulien ;
iv. une discordance entre le Clansaysien et l'Albien inférieur .[Le Nindre et al.,1984].

2.2.1. La discordance du Cénomanien

Les discordances observées dans le secteur d'étude se situent surtout au niveau du flanc nord-ouest de la structure du Jebel Ech Cheid avec la discordance de la barre de calcaire clair du Cénomanien sur le matériel triasique. En outre, sur le flanc sud-est ce dispositif est proposé à partir d'un forage minier SA3 (Fig. annexe. 10). Selon V. Perthuisot [1976] et Le Nindre et al. [1984], Il s'agit d'une discordance locale.

2.2.2. La discordance du Santonien

La discordance du Santonien est observée en affleurement sur le flanc sud-ouest de la structure salifère dans la région d'Argoub Adama : des marnes santoniennes reposent directement sur le matériel salifère.

2.2.3. La discordance du Campanien

Elle est observée sur le matériel salifère dans le secteur d'étude dans la région de Argoub Adama et de Aine Edroua à l'extrémité nord-orientale de la structure salifère.

2.2.4. La discordance du Maastrichtien

Elle est observée à proximité de l'oued Knana sur les dépôts du Trias et sur les sédiments aptiens à proximité de Ragoubet Mahjbia.

2.2.5. La discordance du Paléocène et de l'Éocène

La discordance du Paléocène est locale dans le secteur d'étude. Elle est visible dans la région d'Argoub el Adama sur le matériel salifère et sur le Santonien dans l'oued el Guettar.

L'Éocène supérieur est visiblement discordant dans plusieurs localités :

1. sur le Trias et le Paléocène dans la région d'Argoub Adama ;
2. discordant sur l'Éocène basal dans la région du rond-point El Krib/Gafour/Siliana (discordance angulaire) ;
3. sur le Paléocène dans la région du Jebel Chetlou ;
4. sur le Santonien à proximité du marabout de Si Abd el Kader

2.2.6. La discordance de l'Oligocène

L'Oligocène se trouve en discordance sur la masse principale de Trias et sur différents substratums antérieurs : Crétacé inférieur et Crétacé supérieur ; cette discordance est observable sur le flanc nord-ouest, à l'oued el Khemis, au sud-ouest de K^{at} Mejenba et sur le flanc sud-est au niveau d'oued el Kalb et au niveau de la mine de la K^{at} Sofra.

2.2.7. La discordance du Mio-Pliocène

Le Mio-Pliocène présent dans le secteur d'étude est discordant sur toutes les séries antérieures. Sur les bords du Jebel Ech Cheid nous avons vu qu'il s'agit de dépôts continentaux du Miocène (Fig. 2.36).

2.2.8. Conclusions

Le schéma structural (Fig.3.4) montre les principaux accidents observés et probables en surface et plus loin dans le chapitre suivant, leur continuité sera démontrée en subsurface.

La disposition NE-SW et E-W des directions des failles principales est la règle dans le secteur d'étude. Elles sont héritées des époques distensives responsables à l'agencement des corps salifères dans le bassin sédimentaire. Elles ont subi ensuite une inversion positive au c Tertiaire.

3. Présentations des coupes de synthèse

3.1. Au niveau de la structure du Jebel Ech Cheid

3.1.1. Coupe géologique au niveau de Ragoubet el Mahjbia/ Henchir el Flouss

La coupe est effectuée dans la partie Nord-orientale du Jebel Ech Cheid (Fig.3.6, Fig.3.7 et Fig. 3.8). Elle montre dans la partie centrale un anticlinal simple à cœur barrémien, de direction N45. Dans la partie sud-est, cet anticlinal est limité par le prolongement de la faille bordière du fossé de Bou Arada [Rebaï,1993, Dlala & Rebai,1994, Mahjoub & Dali,1998] qui affecte la série du Crétacé inférieur (absente dans la partie méridionale de la coupe et de la carte géologique 1 :50 000 de Téboursouk [Perthuisot,1978a]). C'est une faille additive.

En effet, elle juxtapose un autre anticlinal à cœur campanien au sud du précédent. Au-dessus des marno-calcaires gris foncé à noirs campaniens se trouve une masse des roches triasiques. Elles se sont mises en place par gravité sur les marno-calcaires du Campanien inférieur par l'intermédiaire d'un contact « sédimentaire » avec remaniement du matériel triasique dans les dépôts du Campanien.

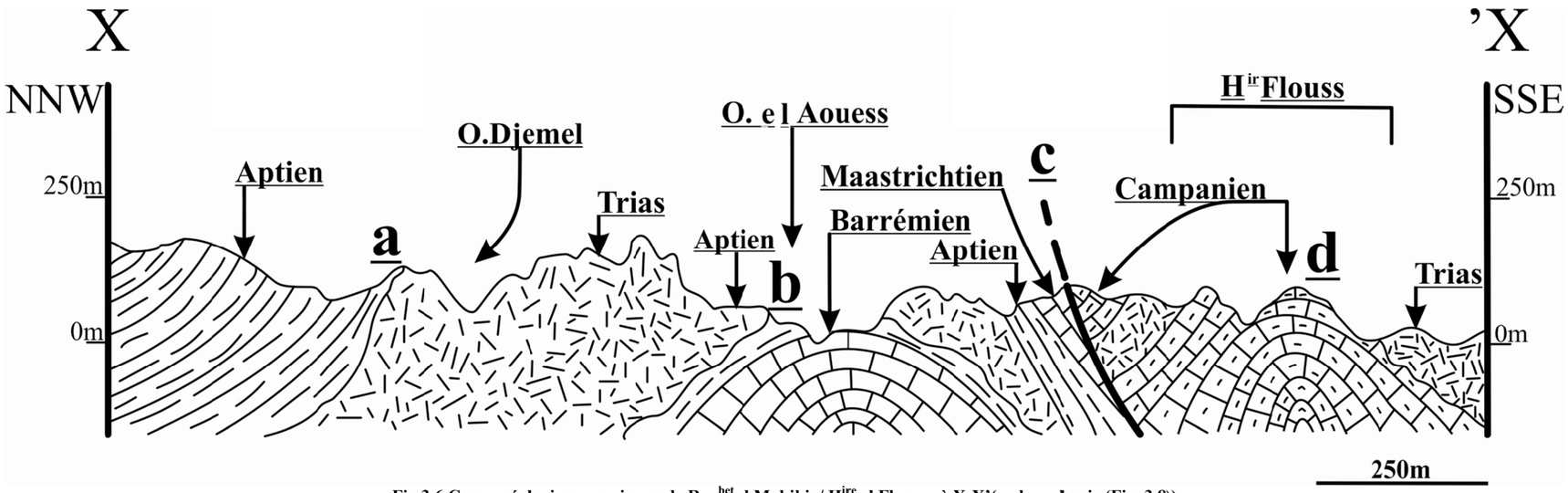


Fig.3.6 Coupe géologique au niveau de Rag^bet el Mahjbia/ H^ire el Flouss où X-X'(a, b, c, d voir (Fig. 3.8))

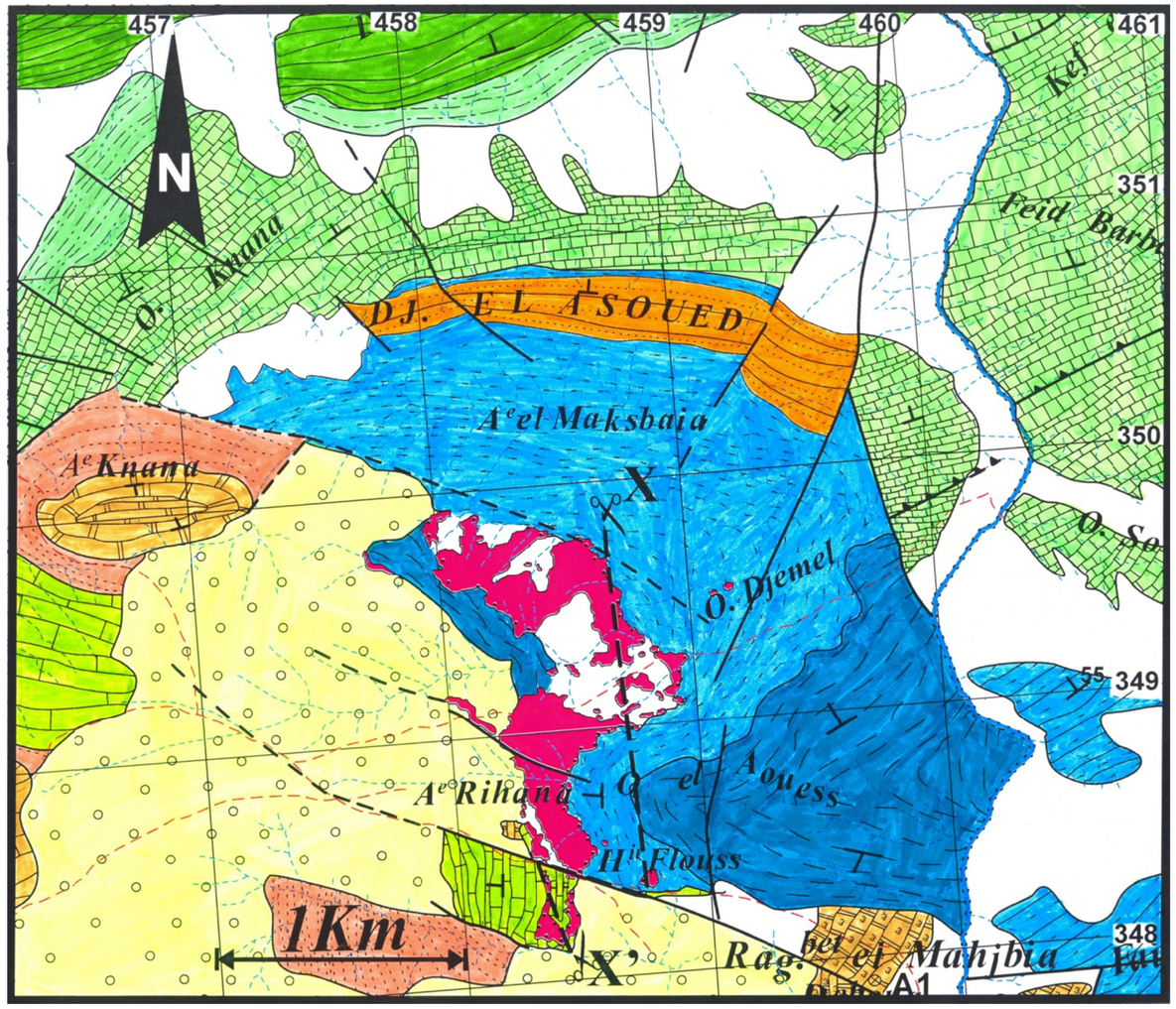


Fig.3.7 Carte géologique du secteur Nord orientale du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (X-X')(légende(Fig.3.9))

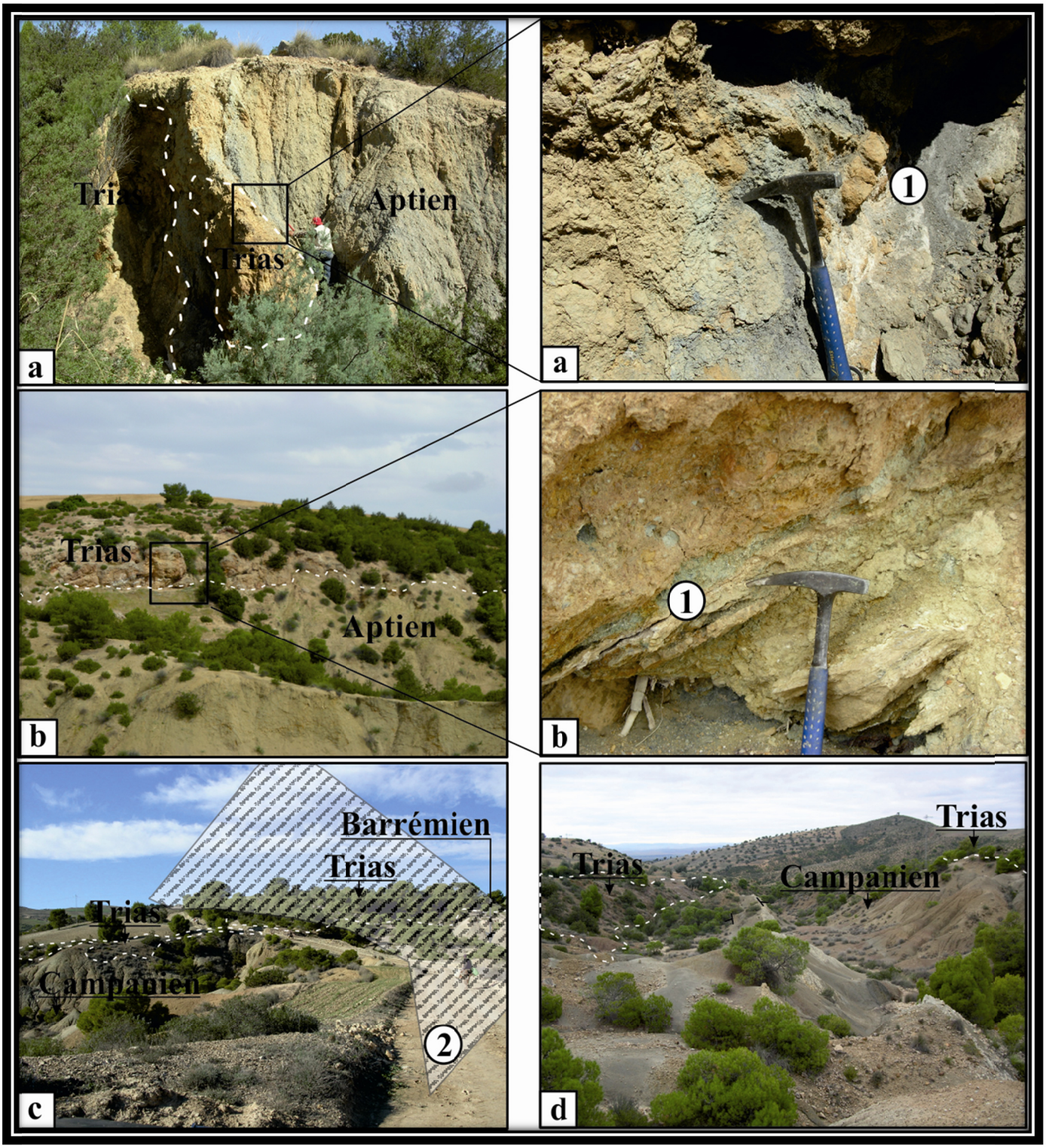


Fig. 3.8 Photos prises au niveau de la Fig.3.6 ; a : contact supérieur Aptien/Trias ; b : contact inférieur Trias/Aptien ; d ; charnière de l'anticlinale à cœur d'âge Campanien ; 1 : glauconies ; 2 : tracé virtuel de la faille cartographiable

3.1.2. Coupe géologique Y-Y' (S^{i} Abd-el-Kader /A^{e} Edroua)

Dans la partie nord-orientale du Jebel Ech Cheid (Fig.3.10, Fig.3.11et Fig. 3.12) apparaissent en allant du NW vers le SE : une série éocène à nummulites qui surmonte un ensemble marneux d'âge paléocène. En allant vers le Sud-est, une série marneuse de la formation d'El Haria repose en discordance sédimentaire sur les calcaires et sur les marnes de la formation d'Abiod d'âge campanien-maastrichtien qui présentent une épaisseur réduite ; Cette dernière est transgressive et repose sur le matériel salifère avec un contact ravinant et conglomératique, au niveau de la terminaison nord-est du J. Ech Cheid ; dans la partie Sud-est de la coupe on note l'absence du Crétacé excepté au niveau du marabout de S^{i} Abdel Kader.

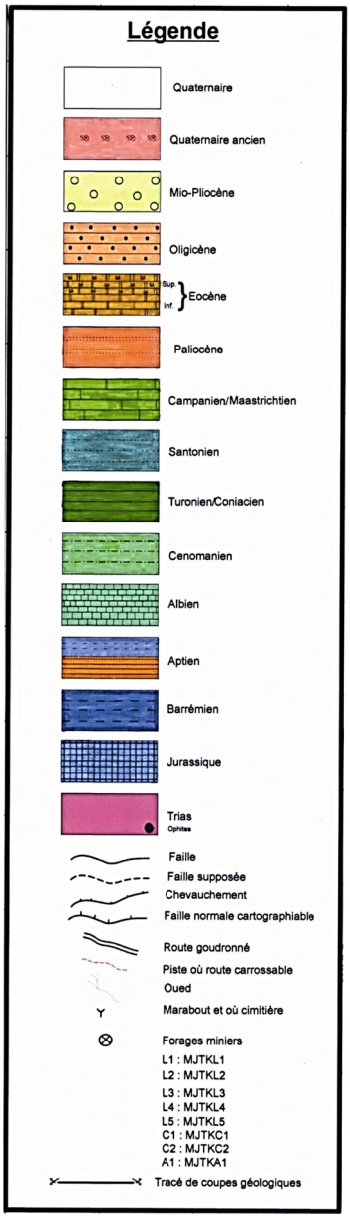


Fig.3.9 Légende commune des cartes géologiques exécutées dans la région du Jebel Ech Cheid

Dans la partie centrale de la coupe apparaissent les sédiments du Mio-Pliocène qui forment une large structure synclinale. Au sud-est de ce synclinale la masse salifère est primitinement recouverte par l'intermédiaire d'un contact sédimentaire ravinant, par la série marneuse santonienne.

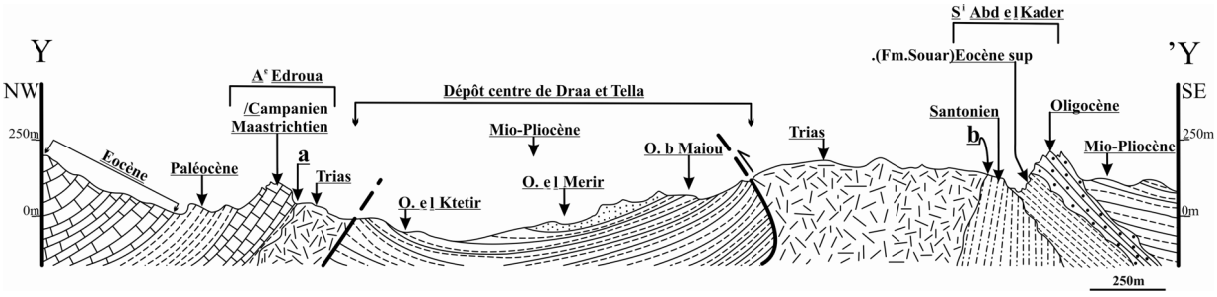


Fig.3.10Coupe géologique Y-Y'

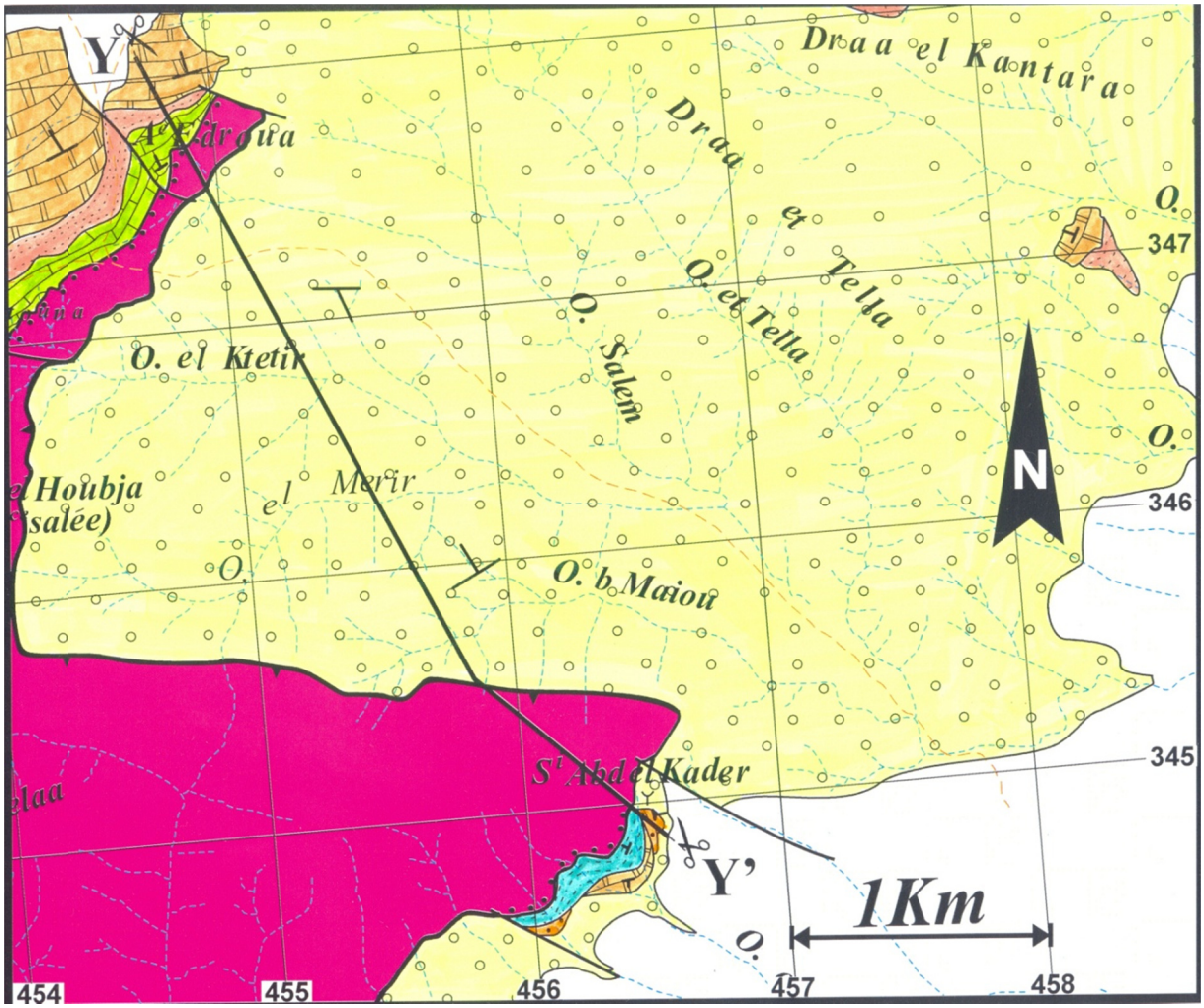


Fig.3.11 Carte géologique de la partie « mâchoire d'alligator» et localisation de la coupe (Y-Y') (légende (Fig.3.9))

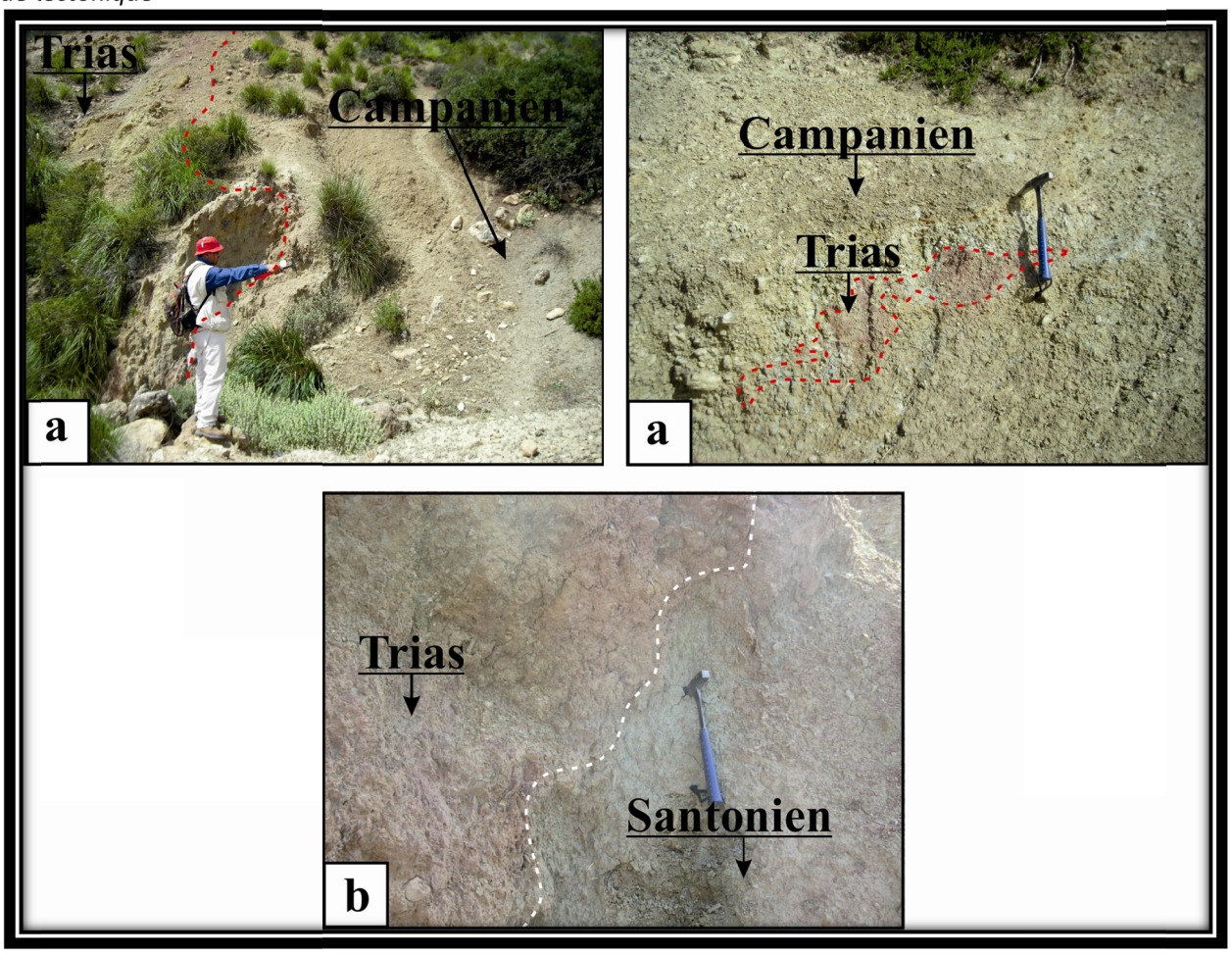


Fig. 3.12 Photos prises au niveau de la Fig.3.10 ; a : contact supérieur Campanien/Trias ; b : Trias\Santonien.

3.1.3. Coupe géologique Z-Z'

Elle est située au centre de la structure du Jebel Ech Cheid (Fig.3.13 et Fig.3.14). Orientée NW- SE, elle passe de l'oued el Kalb au sud-est à l'oued el Guattar au nord-ouest.

Au niveau de l'oued el Kalb, au contact d'une lame de Trias existe un dédoublement des séries du Crétacé supérieur, probablement lié au jeu de deux failles synthétiques chevauchantes enracinées dans le Trias.

Vers le sud-est, la série campano-maastrichtienne supporte par l'intermédiaire d'une surface de discordance sédimentaire des dépôts détritiques d'âge oligocène. La série transgressive argilo-gréseuse du Mio-pliocène repose en discordance sédimentaire sur divers terrains (Fig.3.13).

Au nord-ouest par l'intermédiaire d'un contact mécanique, affleure une série renversée du Barrémien, Aptien et Albien. Elle bute faille repose contre le reste de la série du Crétacé supérieur et Tertiaire. On remarque la discordance sédimentaire de l'Oligocène sur différents terrains d'âge Crétacé inférieur (Fig.3.13 et Fig.3.14)

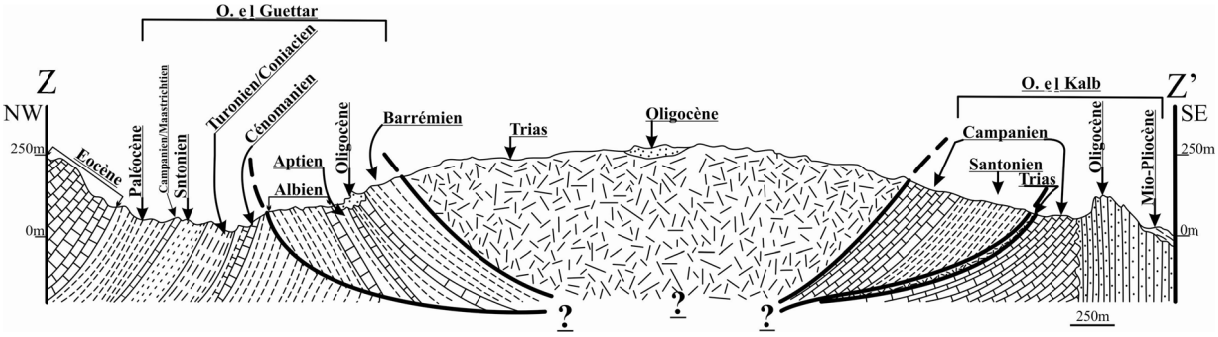


Fig.3.13 Coupe géologique Z Z'

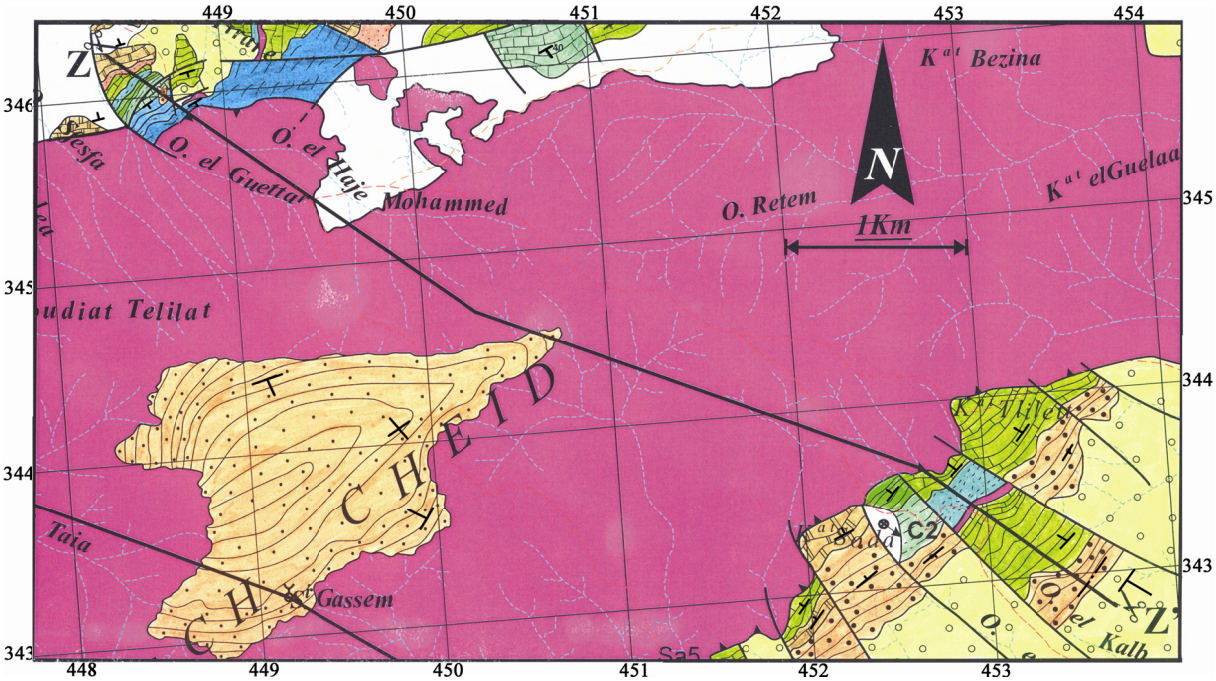


Fig.3.14Carte géologique de la partie médiane de la structure du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (Z-Z') (légende (Fig.3.9))

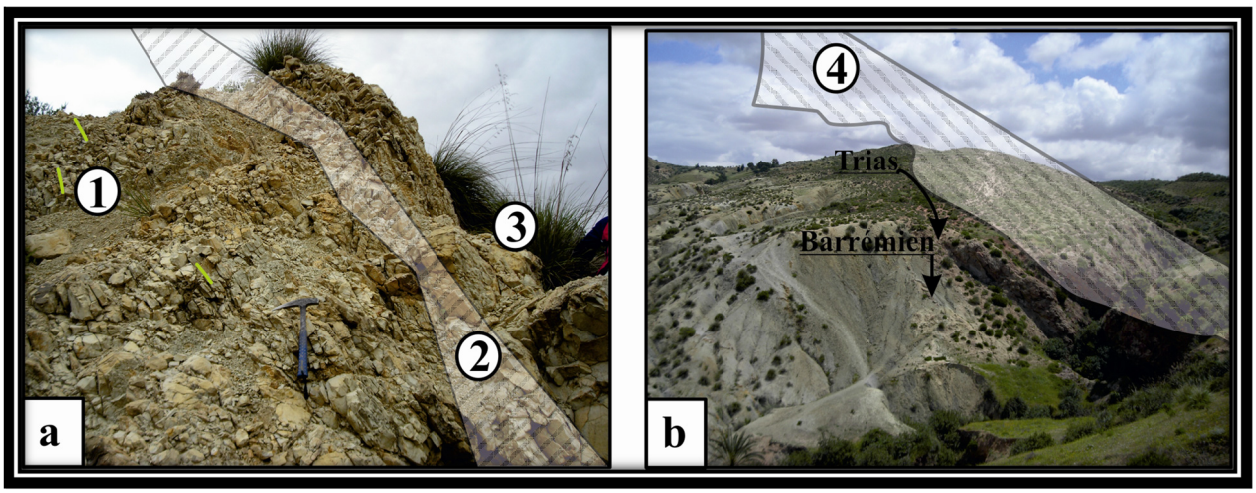


Fig. 3.15 Photos prises sur la partie NW de la coupe ZZ' ; 1 : Albien ; 2 : plan de faille ; 3 : Cénomanien ; 4 : Chevauchement Trias/Barrémien

3.1.4. Coupe géologique W-W'

Cette coupe est d'orientation NW/SE (Fig.3.18). Elle se situe entre l'ancienne mine de Sidi Ayed au SE et le Marabout de S^{i} Abdallah Ech Cheid au NW. Dans la partie sud-est, affleurent en série inverse les terrains de l'Albo-Aptien et du Cénomanien butant contre le matériel triasique.

Au-dessus repose par l'intermédiaire d'un contact ravinant une série gréseuse d'âge oligocène.

Dans la partie Nord-ouest de la coupe WW' nous avons supposé que des sédiments crétacés recouverts par la masse triasique. C'est là qu'un bloc de calcaires siliceux du Jurassique inférieur [Kamoun *et al.*,2001] de la formation Kef el Orma probable est emballé dans les gypses triasiques (Fig.3.17).

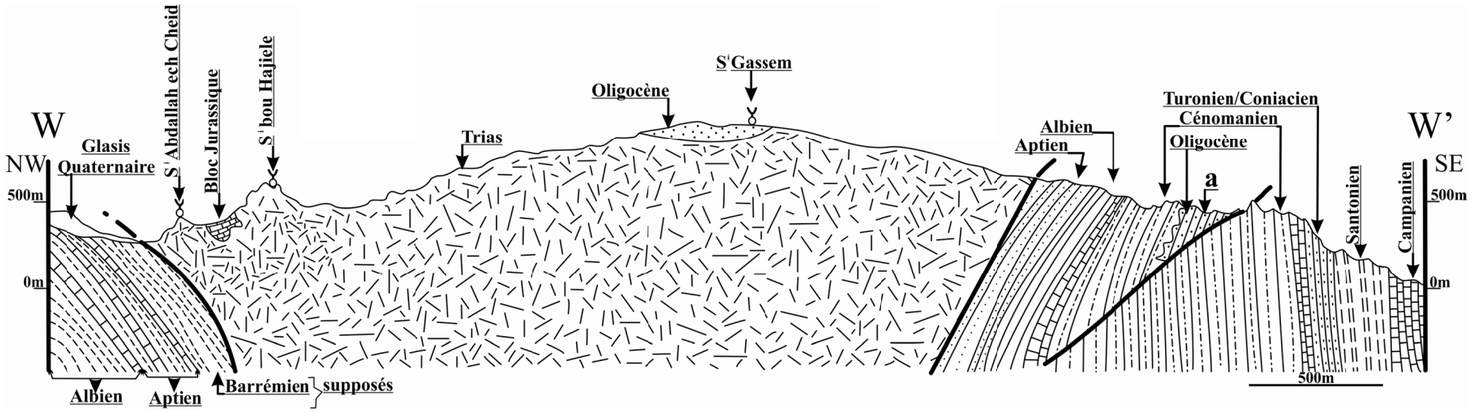


Fig. 3.16 Photo d'une petite faille normale synsédimentaire (voir position (Fig.3.17))

Fig.3.17 Coupe géologique W W'

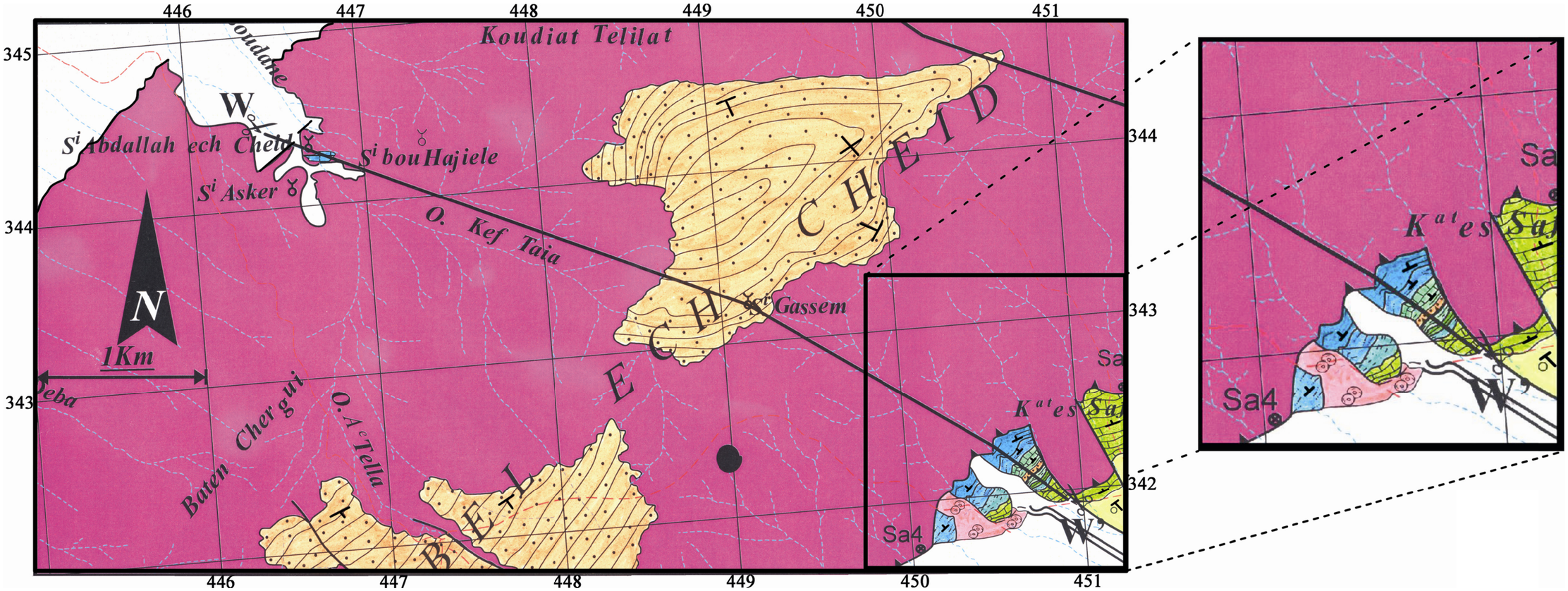


Fig.3.18 Carte géologique de la partie médiane de la structure du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (W-W') (légende (Fig.3.9))

3.1.5. Coupe géologique A-A'

Située au sud-est de la coupe précédente, elle débute au pied Sud de K^{at} Bazina Seria au sud-est jusqu'à l'affluent ouest d'oued El Khemis au Nord-ouest de la structure (Fig.3.19).

Dans la partie sud-est on observe : une écaille de calcaire micritique albien gris clair. Ensuite, on distingue une série de marnes de la formation d'El Haria. Cette dernière supporte normalement les calcaires subcristallins d'âge éocène à remaniement de débris triasiques (Fig. 3.21). Ces calcaires éocènes montrent un pendage vers le nord-ouest. Aux calcaires éocènes font suite avec le nouveau pendage des marnes noires de la Formation de Souar, suivies des barres gréseuses de l'Oligocène.

Dans la partie nord-ouest on observe une série du Crétacé inférieur (Aptien, Albien et Cénomanien) à pendage sub-vertical. Une lame de matériel chaotique est intercalée dans le Cénomanien avec des contacts qui semblent sédimentaires. Au contraire, le contact Trias (masse principale)/Crétacé inférieur est un contact mécanique tardif. Il est scellé par une série grèso-argileuse de l'Oligocène laquelle présente de petites failles normales synsédimentaires (Fig. 3.21 h).

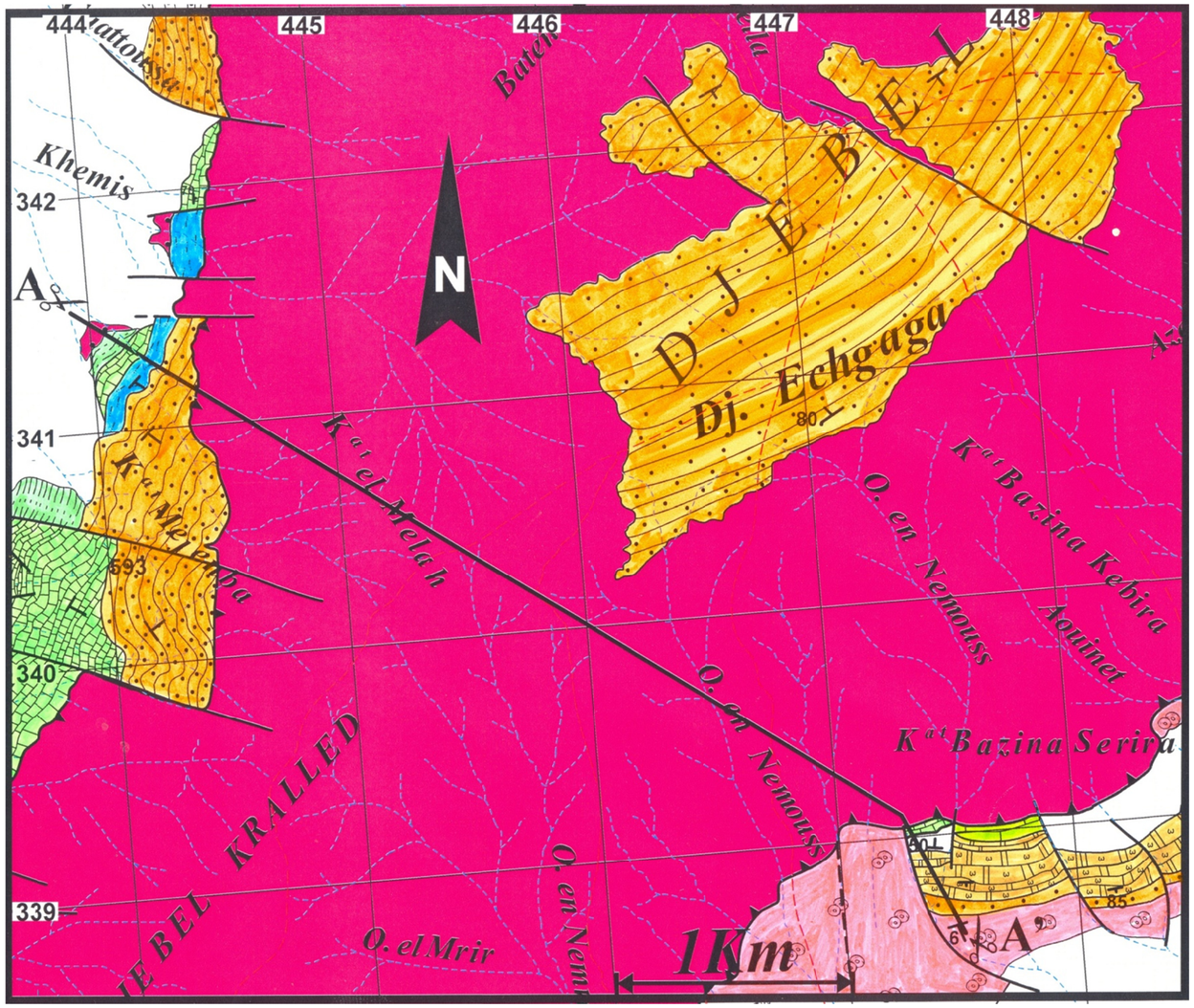


Fig.3.19 Carte géologique de la partie centrale de la structure du Jebel Ech Cheid et la localisation de la coupe (A-A')(légende(Fig.3.9))

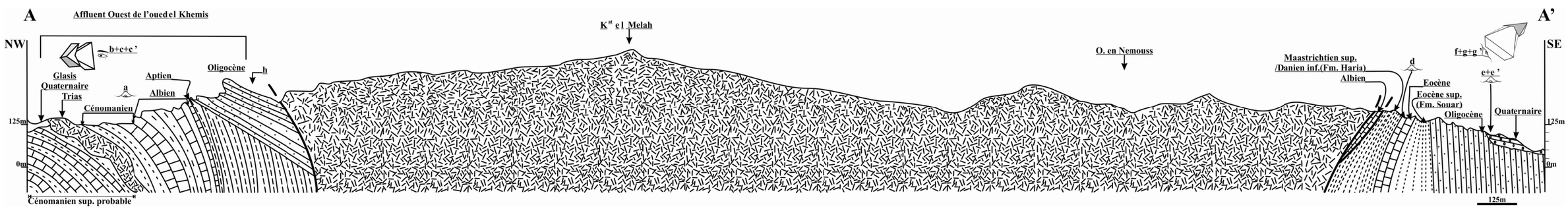


Fig.3.20 Coupe géologique A A'

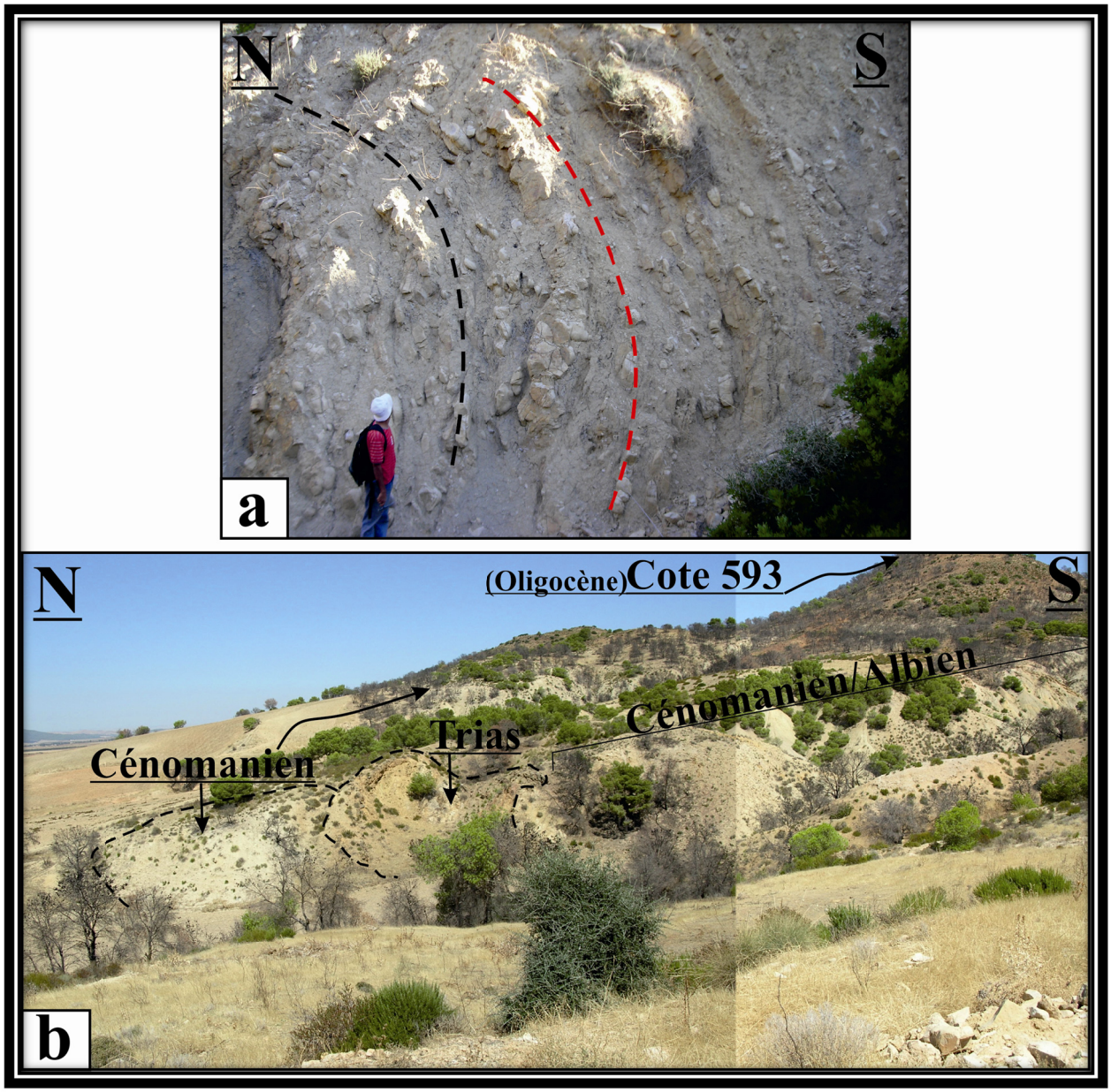
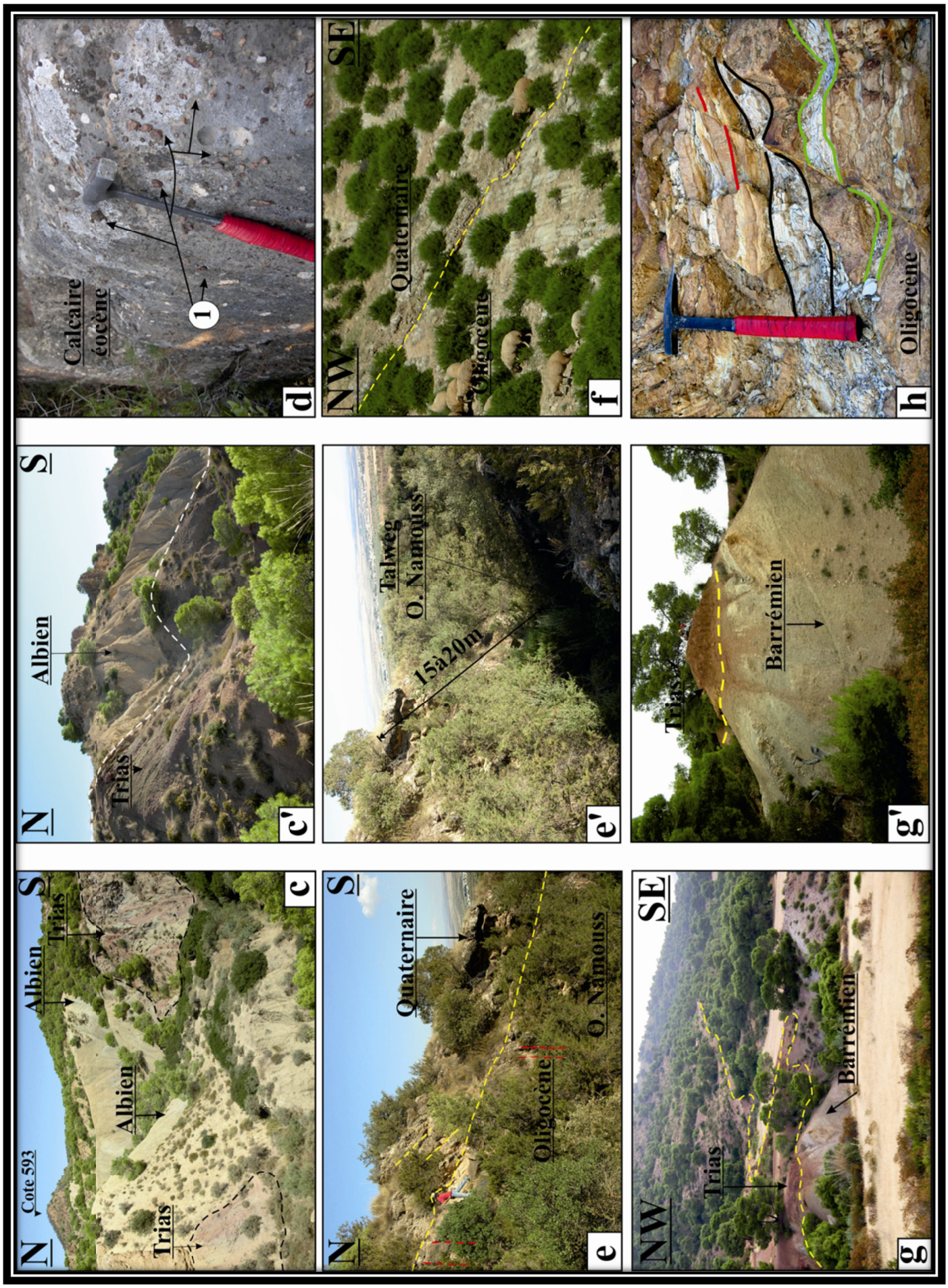


Fig.3.21 Photos prises au niveau de la (Fig.3.20) et dans ses prolongements latéraux ; a : côté sud, couches cénomaniennes renversés ; b : côte nord, vue panoramique du prolongement latéral de la coupe géologique AA' vers le Sud-ouest montrant l'interstratification du Trias entre 2 séries du Crétacé ; c et c' : Trias interstratifié dans des séries du Crétacé , non loin de la photo b ; e : discordance de la série Quaternaire sur l'Oligocène ; e' : montre l'épaisseur de la croute Quaternaire ; f : vue panoramique à proximité de l'oued Aleg (prolongement vers le Nord-est de la coupe géologique AA') : il s'agit d'une discordance angulaire du Quaternaire sur l'Oligocène ; g et g' : photos montrant du Trias dissocié dans la série barrémienne (Nord-est oued el Aleg) ; h : petite faille normale synsédimentaire (Oligocène).



Suite Fig.3.21

3.1.6. Coupe géologique B-B'

Elle est orientée ESE/WNW (Fig.3.22). Elle suit le tracé de l'oued Baida (affleurement Éocène du rond-point Siliana, Gafour et El Krib)/Argoub Adama/oued ed Djecha/oued El Merir.

Dans la partie ESE de la coupe affleure une série Éocène. Elle montre à la base un équivalent de la Formation de Reineche. Le sommet du dernier niveau est occupé par un niveau conglomératique d'épaisseur décimétrique. Il supporte le reste de la série Éocène terminal [Moody et al.,1998]. La base et le sommet sont déposés avec une différence de pendage de 20° (Fig.3.22, Fig.3.23 et Fig. 3.24). Cette différence de pendage correspond à l'enregistrement de l'amorce de la phase atlasique ; ce phénomène est bien visible dans les régions limitrophes [Ben Slama,2004, Masrouhi et al.,2008, Ben Slama et al.,2009].

La base de la série éocène supérieure repose sur les marnes paléocènes. La succession suivante est sous les marnes Paléocène :

- une série continue du Campanien-Maastrichtien à l'Albien moyen ;
- sur l'Albien moyen repose la masse triasique par l'intermédiaire d'un contact « sédimentaire » ; Sur cette dernière repose une série du Campanien d'épaisseur réduite à pendage 65° nord-ouest ;
- dans la partie WNW de la coupe, c'est la série marno-dolomitique de l'Aptien moyen est en contact mécanique avec la masse triasique principale du Jebel Ech Cheid ;
- ensuite on rencontre le cœur d'un anticlinal Aptien (grès et grès à orbitolines). Puis on observe une série de marnes vertes d'âge aptien. Sur cette dernière repose à l'ouest une série marno-calcaire noire de l'Albien inférieur.

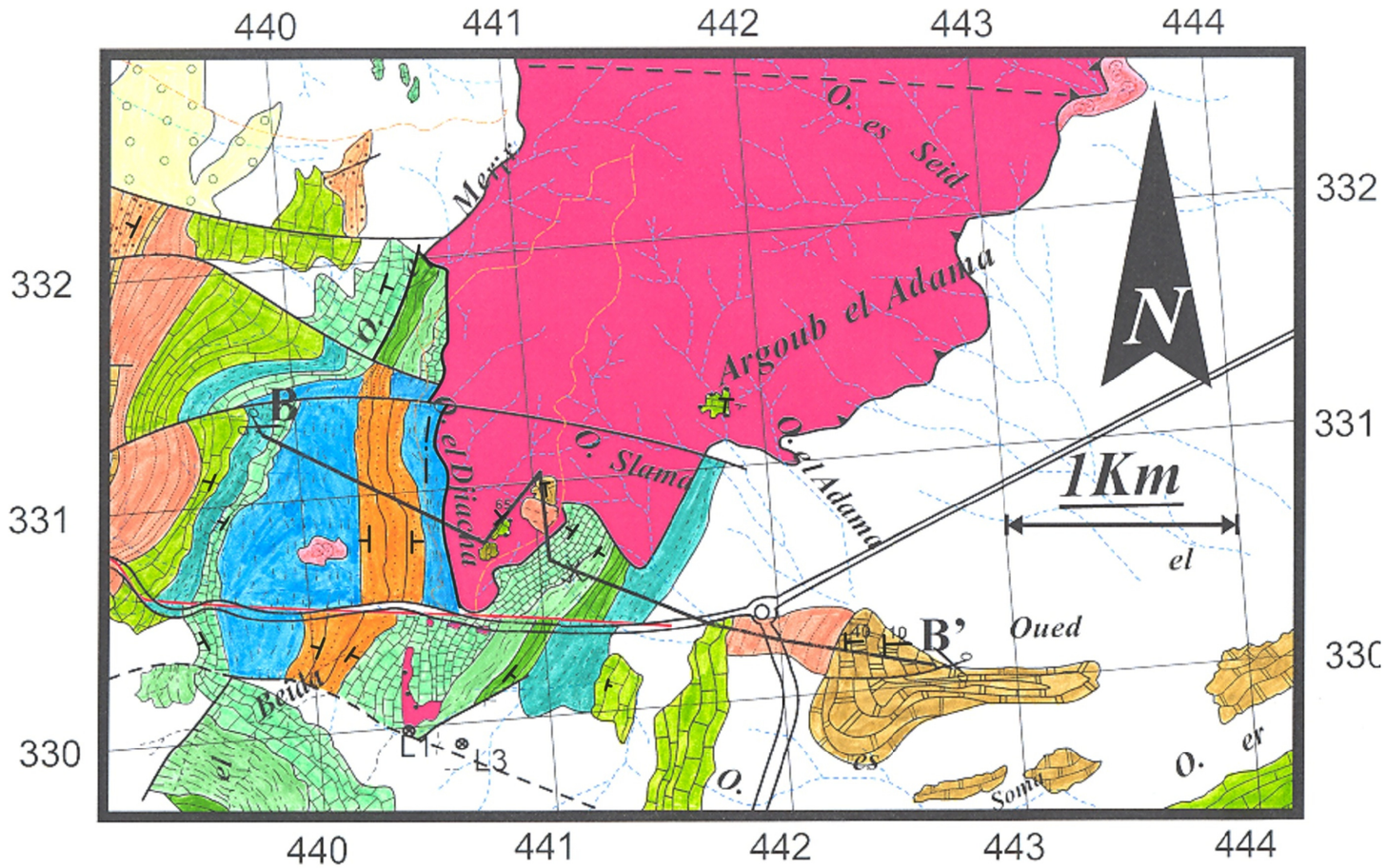


Fig.3.22 Carte géologique de la partie méridionale de la structure du Jebel Ech Cheid et localisation de la coupe (B-B') (légende (Fig.3.9))

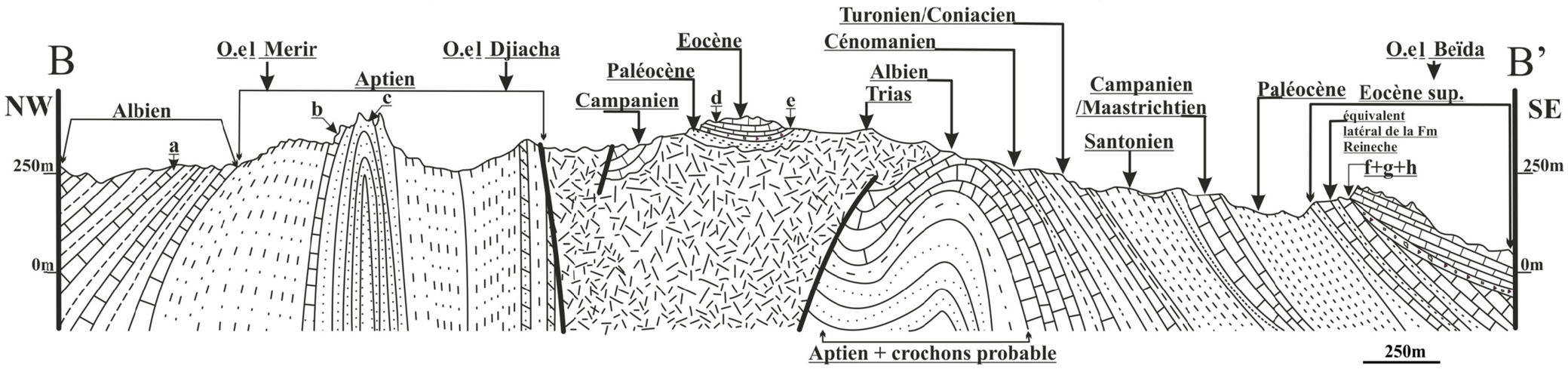


Fig.3.23 Coupe géologique synthétique BB'

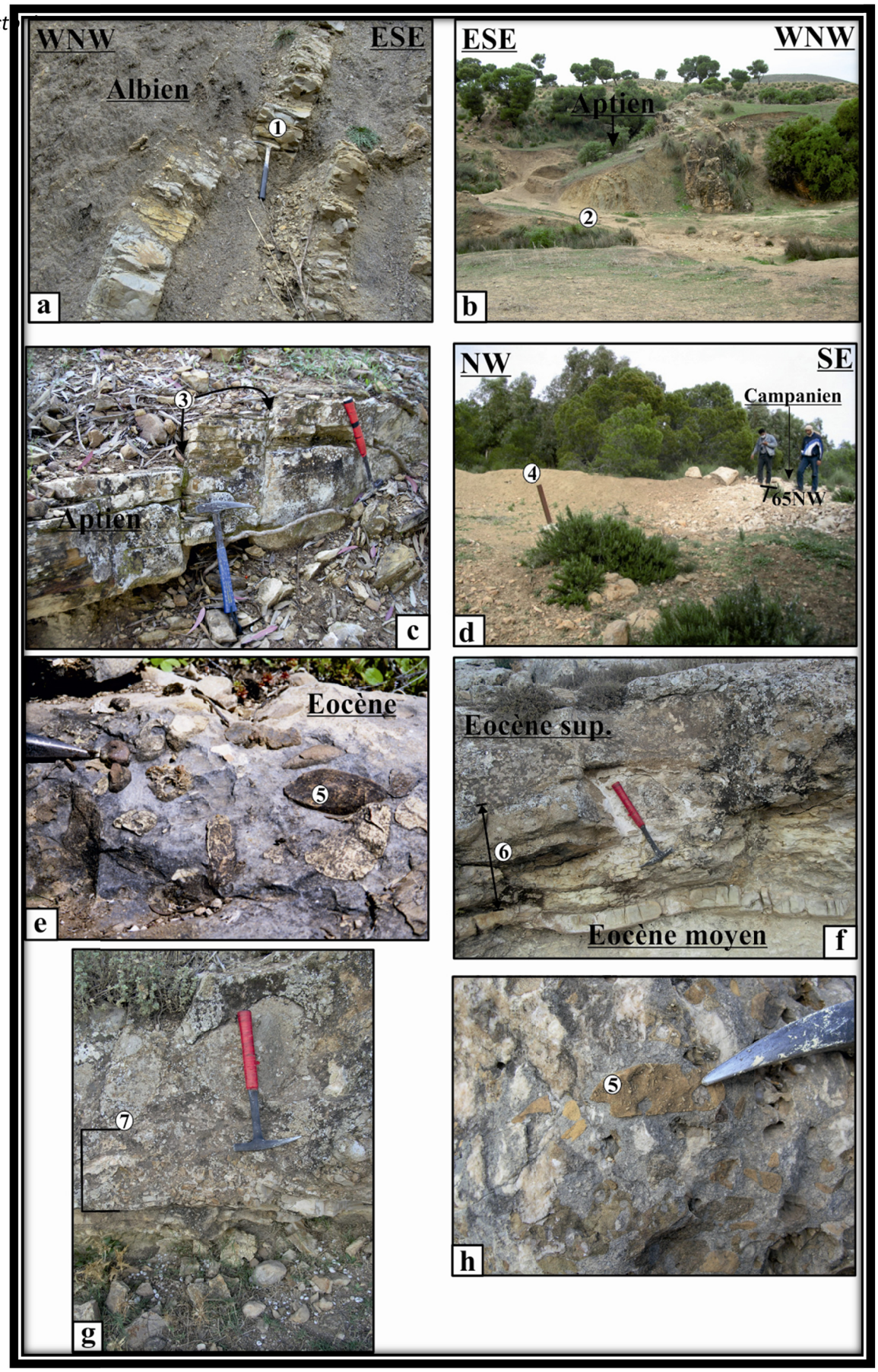


Fig.3.24 Photos prises au niveau de la Fig.3.23 ; a : petite faille normale synsédimentaire dans l'Albien ; b : fermeture de l'anticlinal à cœur aptien ; petites failles normales au sein de la série aptienne ; d : les deux géologues sont sur la une série campanienne ; e : remaniement de débris triasiques au sein de banc de calcaire éocène ; f, g et h détail du niveau conglomératique de la base de l'Eocène supérieur riche en débris triasiques.

3.2. Le secteur de Chitana/ed Djebs

3.2.1. Coupe au niveau du J. Chitana Y-Y'(Fig.3.25)

La coupe en question se situe dans la partie est de la carte 1/50 000 d'Oued Zarga. Cette coupe est orientée NW-SE.

On distingue, du NW au SE :

1. sur les deux rives d'Oued Blidha deux fois le même contact qui se répète, du fait d'une faille transverse N140. ; il s'agit d'une lame de Trias à substratum de calcaires albiens.
2. les calcaires de l'Albien supérieur en contact « sédimentaire » avec la masse triasique d'oued Bel Haj qui plongent de 45°vers le sud-est ;
3. les marnes santoniennes qui sont en contact mécanique avec la masse salifère ; en fait le Santonien est pris en lentille entre le Trias et les séries sus-jacentes par l'intermédiaire de deux failles transversales.
4. les marnes de la formation d'Aleg (Sénonien inférieur), surmonté par une barre de calcaire et une série de marnes d'âge campanien, avec un pendage de 50° vers le SE ;
5. les intercalations marno-calcaires du Maastrichtien supérieur, en contact anormal avec les marnes noires de la Formation d'Aleg ;
6. les marnes du Paléocène ;
7. une barre très riche en glauconie, à base des calcaires d'âge éocène ;
8. l'Éocène qui supporte les grès de l'Oligocène.

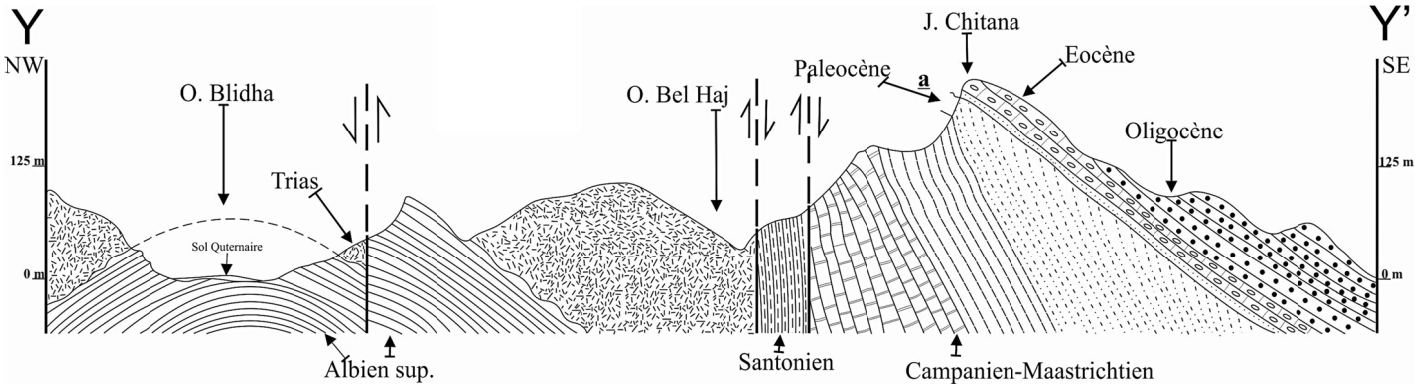


Fig.3.25 Coupe géologique Y-Y' au niveau du Jebel Chitana (le tracé de la coupe est indiqué dans la (Fig.3.2))

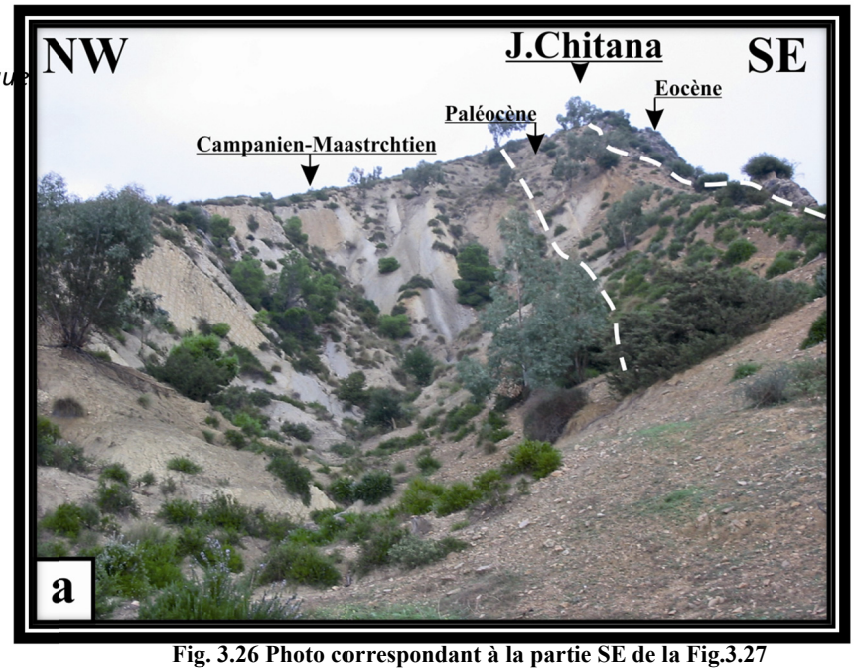


Fig. 3.26 Photo correspondant à la partie SE de la Fig.3.27

3.2.2. Coupe géologique au pied nord-ouest du J. ed Djebs X-X'(Fig.3.27)

La coupe en question se situe dans l'entaille de l'oued el Bégi. Elle est orientée NW-SE. On distingue du nord-ouest :

1. une lame salifère subparallèle playée en anticlinal superposée aux marnes de l'Albien inférieur ; montrant la même structure anticlinale à cœur de marnes aptiennes ; au NW cette lame salifère est recouverte par de l'Albien ;
2. de l'Albien supérieur encadré par deux failles sub-verticales renfermant une la lame triasique avec de l'Albien inférieur en dessous ;
3. au NW une lame salifère interstratifiée dans les marnes de l'Albien inférieur playée en synclinal.

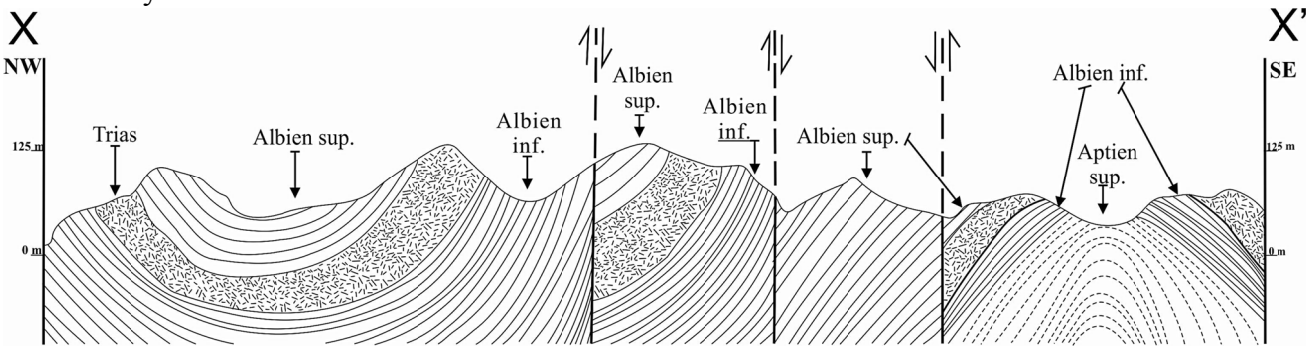


Fig.3.27Coupe géologique X-X' au pied Nord-ouest du Jebel ed Djebs (le tracé de la coupe est indiqué dans la (Fig.3.2))

3.2.3. Coupe géologique NW-SE d'Oued Bou Kralfa Z-Z'(Fig.3.28)

C'est un point-clé pour l'étude de ce secteur

Du SE au NW se succèdent :

- ⇨ les calcaires Éocène, très riches en glauconies, playès en synclinal avec à leurs base une barre conglomératique ;
- ⇨ sous ce dernier une série condensée calcaire albienne ;
- ⇨ ces trois termes sont en contact mécanique par une faille décrochante N40 ;
- ⇨ ce synclinal à cœur d'Éocène enregistre en partie lui aussi l'amorce de la compression atlasique ;
- ⇨ des dépôts du Campanien inférieur reposant sur une lame triasique ; cette dernière est resédimentée dans les dépôts d'âge albien inférieur et fait partie du flanc Sud-est d'un anticlinal à cœur Albien inférieur ;
- ⇨ par l'intermédiaire d'une faille décrochant dextre et à mouvement vertical est visible une alternance marno-calcaire d'âge albien supérieur à pendage vers le nord-ouest ;
- ⇨ au nord-ouest de la coupe la masse salifère du J. Tellet Mabrouka repose sur l'Albien en contact sédimentaire ;

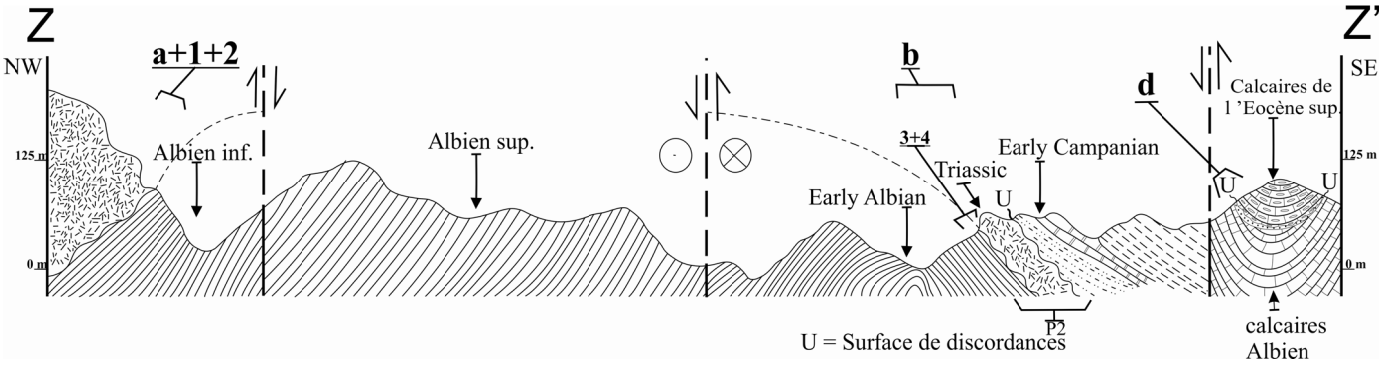


Fig.3.28 Coupe géologique Z-Z 'effectué au Sud du Jebel Sene ed Jemel

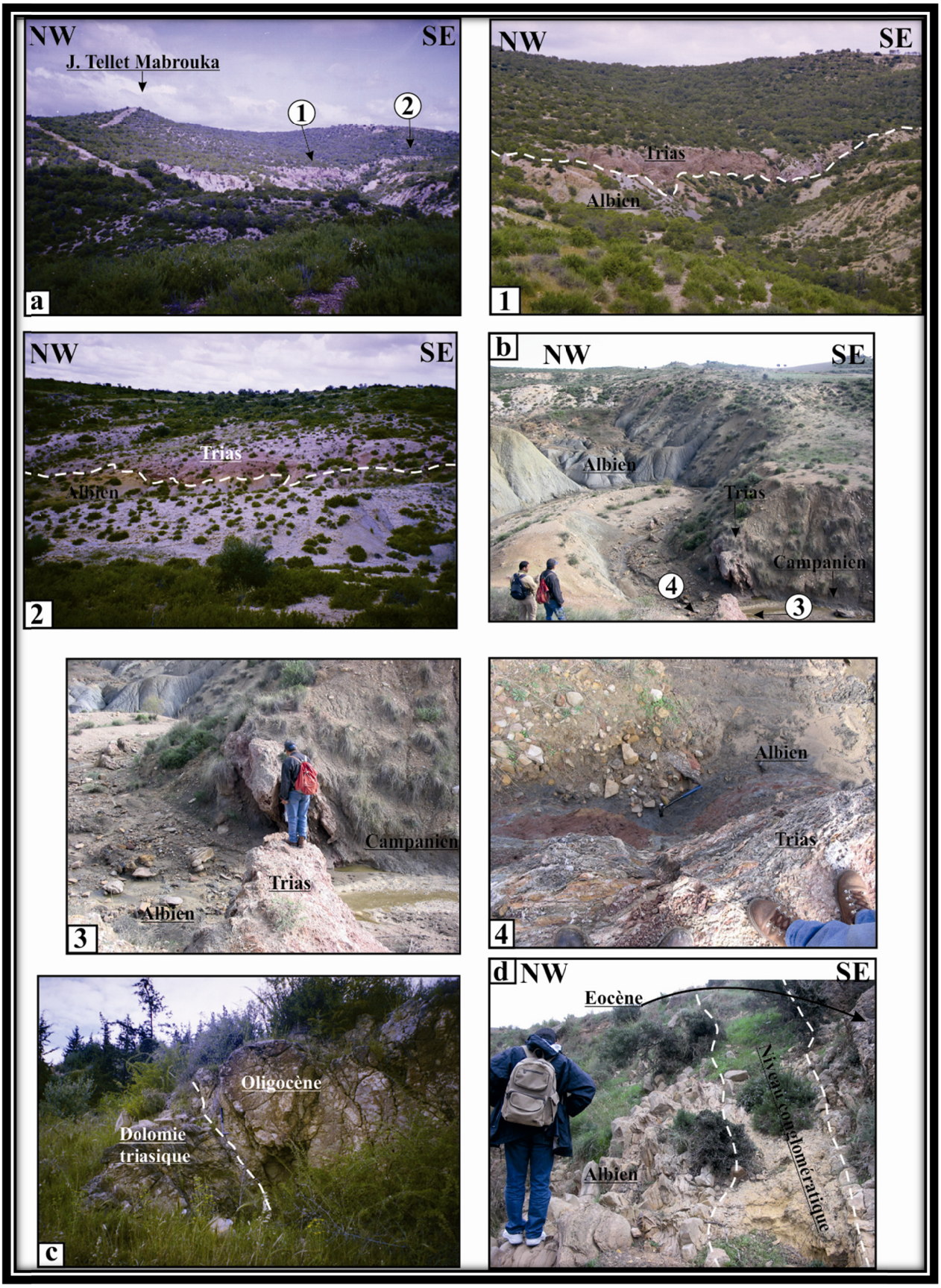


Fig.3.29 Photos prises au niveau de la (Fig.3.28) ; a : vue panoramique du J. Tellet Mabrouka ; 1 et 2: vue de près du contact ravinant Trias/encaissant ; lame du matériel triasique re-sédimenté dans les dépôts de l'Albien et montrant une couverture campanienne ; 3 et 4 détail de la photo b ; c : discordance sédimentaire des dépôts oligocène sur du matériel triasique à proximité d'oued Sene ed Jemel ; d : discordance angulaire des calcaires de l'Eocène moyen à supérieur sur des dépôts albiens.

4. Évolution structurale

Les structures étudiées appartiennent à la province salifère de la Tunisie septentrionale. Elle-même fait partie de la marge sud téthysienne d'Afrique du Nord. Elle a été définie comme une marge passive distensive du Trias au Crétacé [Le Pichon *et al.*,1988, Dercourt *et al.*,1993, Guiraud & Bosworth,1997, Stampfli & Borel,2002, Stampfli *et al.*,2002, Guiraud *et al.*,2005] hormis la partie terminale du Sénonien définie comme époque du début des inversions tectoniques [Vially *et al.*,1994, Guiraud & Bosworth,1997, Guiraud,1998, Frizon De Lamotte et al.,2000, Masrouhi,2002, Ben Slama,2004, Frizon de Lamotte,2005, Masrouhi et al.,2008, Ben Slama et al.,2009]. Comme sur toute la marge Sud téthysienne le Tertiaire correspond aux phases compressives majeures [Le Pichon et al.,1988, Piqué,2001, Stampfli & Borel,2002, Stampfli et al.,2002].

4.1.La structure du Jebel Ech Cheid

La présence du matériel triasique interstratifié à divers niveaux à partir du Barrémien ; les observations de failles synsédimentaires dans les grès à orbitolines aptiennes dans la région d'oued el Merir et dans les dépôts marno-calcaires de l'**Albien** (olistrostromes, failles normales scellées…(Fig. annexe. 25)) à oued el Baida et à proximité du J. el Asoued, aussi encore dans les régions avoisinantes [Chikhaoui,1988, Martinez et al.,1991, Vila,1995, Ghanmi,2003, Ghanmi et al.,2006a]. **Le Cénomanien** est discordant sur le matériel triasique à K^{at} el Mejenba aisi que dans le forage Sa4 [Perthuisot,1978b]. **Au Turonien-Coniacien** des mouvements transtensifs se manifestent au J. Ech Cheid par la variation des épaisseurs de part et d'autre de la structure salifère. Les failles héritées du Crétacé inférieur ont structuré en touches de piano la périphérie de la masse salifère.

L'amincissement des séries sédimentaires turono-coniaciennes (Fig .2.22) à l'approche du J. Ech Cheid est la conséquence d'une architecture transtensive, que l'on trouvera en profondeur dans les profils sismiques.

La période **Santonien/Campanien/Maastrichtien** se distingue par une sédimentation réduite dans la périphérie de la structure salifère, localement transgressive sur le masse principale triasique (Santonien-Campanien à Argoub Adama ; le Maastrichtien à l'Est de Ain Knana) ceci confirme que le Trias s'était répandu au fond du bassin à ce moment ; la majorité des dépôts sont constitué par des séries marno-calcaires ; la majorité des failles passant dans les dépôts du Santonien, Campanien et Maastrichtien sont tardives. Hormis, quelques

observations sur terrain de failles normales scellées dans la série maastrichtienne qui se manifestent à l'oued el Haje Mohammed dans le flanc Nord et au Sud du village de Gafour (Fig. annexe. 26: 10,11 et 12). Régionalement à J. Semmama et J. Douleb en Tunisie centrale et à Jabel Abiod à proximité de Nefza au Nord de la Tunisie, M.Dlala [2002] atteste l'existence d'une phase distensive campano-maastrichtienne.

Toutes ces observations signent l'instabilité d'un plancher sédimentaire organisé en blocs basculés de petite ou de grande amplitude aux cours de cette période, voire l'existence d'une organisation en carapace de tortue qui a contrôlé la sédimentation avant le Crétacé supérieur.

Le Sénonien terminal/Paléocène/Éocène : époque est souligné par la présence de la Formation d'el Haria petits en lambeaux (Fig. 3.2 et Fig. 3.26) transgressifs sur les dépôts antérieurs avec en plus une discordance angulaire marquée par des conglomérats polygéniques : au niveau du rond-point el Krib/Gafour/Siliana, à Jebel Chetlou, à proximité de oued en Namouss, au niveau de k^{at} Oum el Firanne…

L'Oligocène est caractérisé par une phase de « *Stretching* » où de relâchement qui se manifeste par la présence de failles normales synsédimentaires dans l'affluent Ouest de l'oued el Khemis (Fig. 3.29).

Le Mio-Pliocène est caractérisé par la présence de discordances angulaires sur diverses formations, avec présence de niveaux conglomératiques polygéniques dans la région de Draa el Kantra correspondant à plusieurs phases compressives au moins aux cours du Miocène inférieur.

Le Quaternaire est caractérisé par une phase compressive durant sa partie ancienne, avec des discordances à proximité de l'oued el Aleg. Ce Quaternaire enregistre la mobilité du matériel salifère, traduite par le chevauchement du Trias sur le Quaternaire au niveau de l'oued En Nhal et oued el Ghrof…

Conclusion

Les accidents de direction atlasique bordiers et leurs systèmes conjugais des domaines d'études Chitana/ed Djebs et J. Ech Cheid, commandent la sédimentation puis la tectonique dans les régions de Testour-Slouguia et de Gafour-Téboursouk.

CHAPITRE 4

LES DONNEES GEOPHYSIQUES ET LEUR INTERPRETATION

LES DONNEES GEOPHYSIQUES ET LEUR INTERPRETATION

Les données géophysiques sont partiellement disponibles dans la région du Jebel Ech Cheid, alors qu'au niveau de la structure de Chitana/ed Djebs, nous n'avons pu utiliser que la carte gravimétrique au 1 : 50 000 d'Oued Zarga.

La région de Téboursouk/ Gafour [Perthuisot,1978a, Dali,1994] est couverte par des cartes gravimétriques au 1 : 50 000 exécutées par Val d'or Sagax Inc., et Sial Geosciences Inc., [Val d'or Sagax Inc.,1997, Sial Geosciences Inc.,1998] pour le compte de l'Office National des Mines.

La zone limitrophe de l'appareil salifère du massif du Jebel Ech Cheid est couverte par une vingtaine de lignes sismiques. Cependant, il existe un seul forage de calage situé dans la carte géologique du Jebel Mansour [Jauzein & Berthe,1961] soit au Sud de l'affleurement du Jebel Ech Cheid nommé MN1. Nous avons choisie deux profils sismiques au Sud de la structure (nommé A1, A2 sur (Fig.4.4 et Fig. 3.1). Par contre on a choisis un seul profil dans la partie Nord (à défaut du calage) et ceci pour examiner la géométrie des séries dans la gouttière d'oued Khaled (nommé B1) (Fig.4.4 et Fig. 3.1).

1. La gravimétrie

Dans la région du Jebel Ech Cheid, il s'agit des cartes d'anomalie de Bouguer des feuilles de Téboursouk et de Gafour au 1 : 50 000 (Fig.4.3) que nous essayons d'interpréter à la lumière des nouvelles données structurales et cartographiques.

Sur ces documents les courbes isanomales de l'anomalie de Bouguer sont calculées à partir d'une maille de mesure kilométrique. Elles soulignent bien une structure atlasique. Les bordures nord-ouest et sud-est correspondent à des décroissances des valeurs par rapport à la la masse principale triasique (Fig.4.3). Les zones à réponse négative de l'anomalie de Bouguer peuvent correspondre à des structures enracinées (synclinaux, épaississement sédimentaires.)

Ces zones à réponse négatives de l'anomalie de Bouguer sont la plaine de l'Aroussa et celle de Gafour au sud-est et la plaine de Khalled au nord-ouest.

Nous savons qu'il y a du sel de faible densité au J. Ech Cheid, probablement à partir d'une faible profondeur (≃100 m) comme dans les autres massifs de Tunisie du Nord.

Les sources salées sont là pour nous le rappeler (voir Fig.2.3, p.60 en haut)

La coupe gravimétrique proposée par I. Hamdi-Nasr et al [2009] illustre ce qui est évident sur la carte de la Fig. 4.3 (à gauche) : un éxcès de masse là où la puissance de sel (halite) laisse prévoir un défaut de masse : une coupe proposant une grosse accumulation de matériel salifère comme la Fig. 4.1 et 4.2 n'est donc pas recevable.

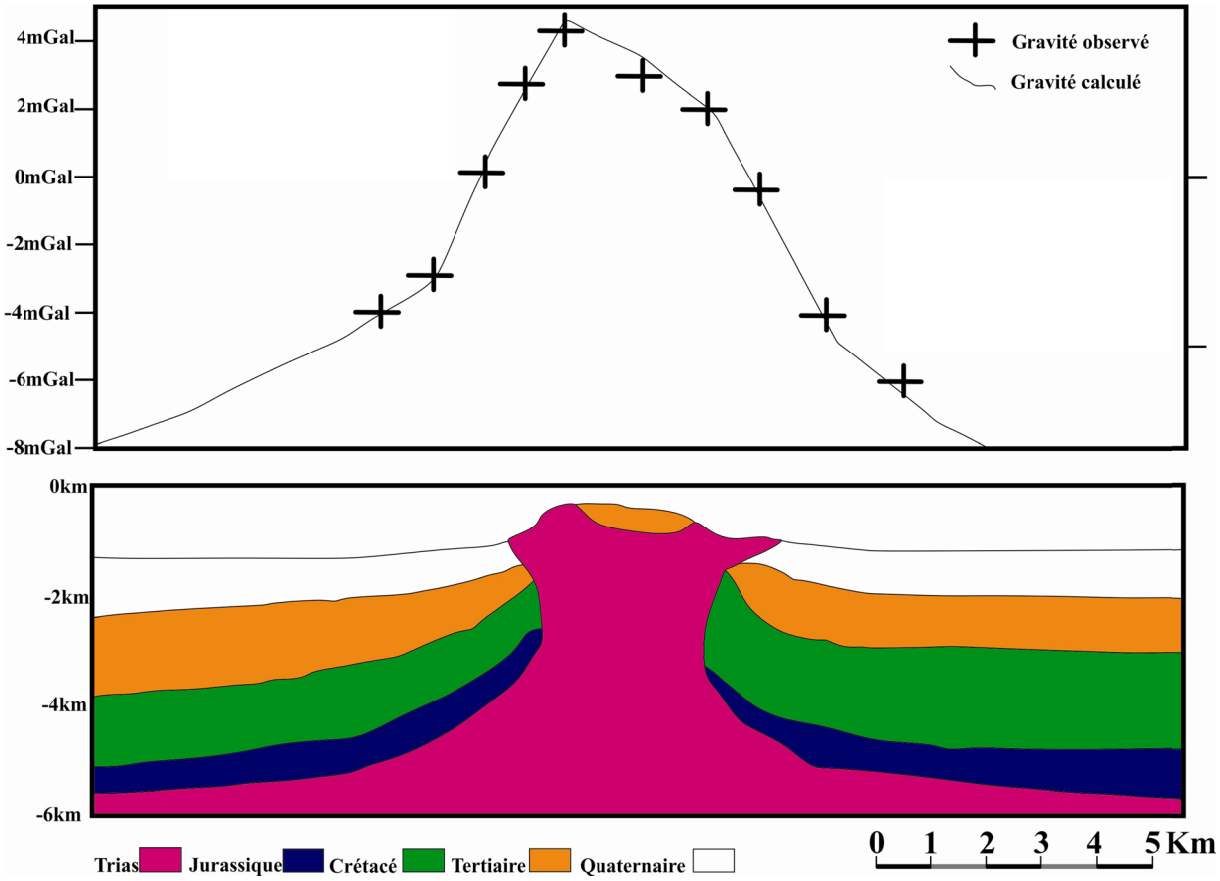


Fig.4.1 Coupe gravimétrique et un modèle de direction NW SE traversant la structure du Jebel Ech Cheid : redessiné d'après I. Hamdi-Nasr et al. [2009].

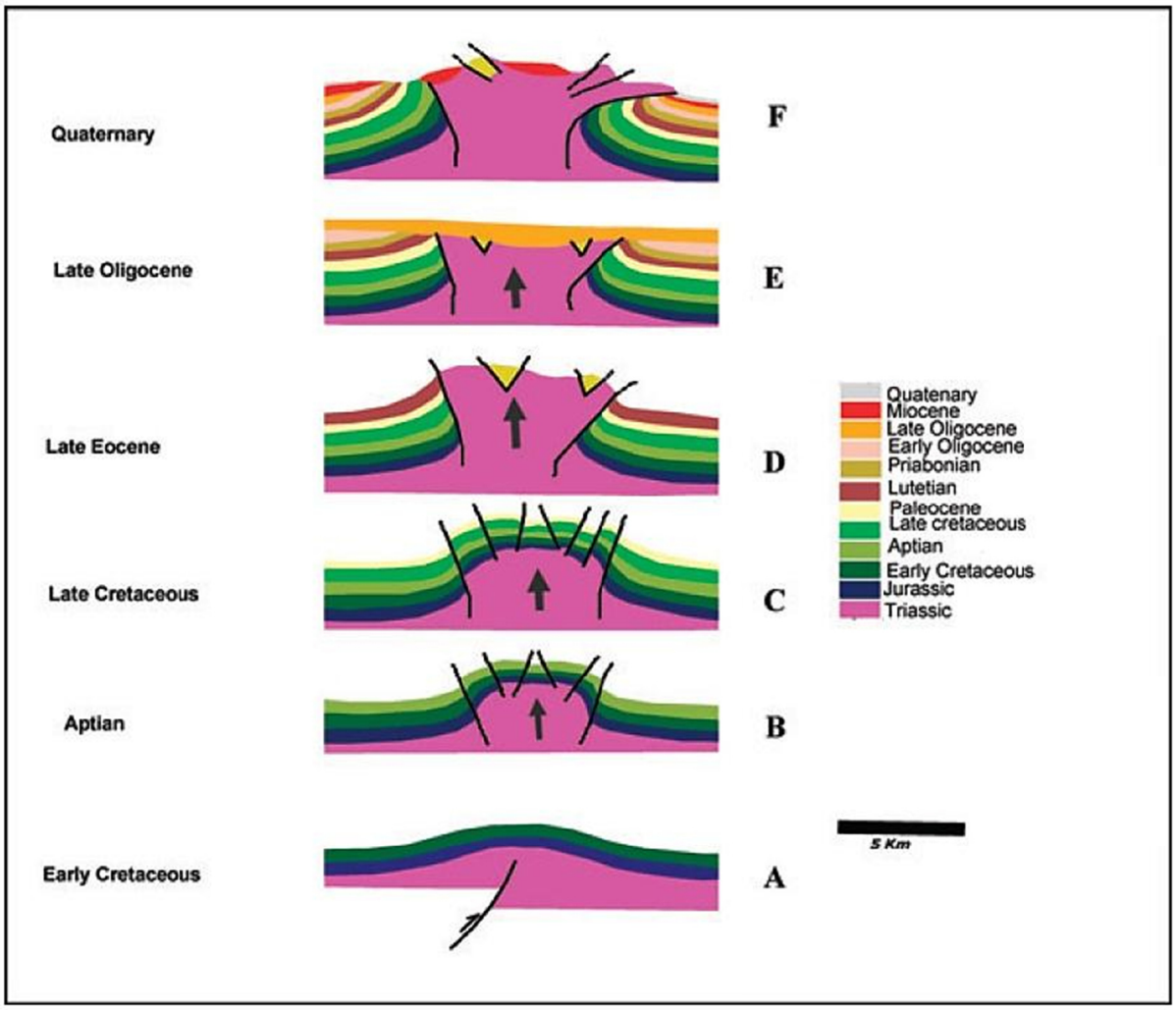


Fig.4.2 Les stades évolutifs de l'appareil du Jebel Ech Cheid d'après I. Hamdi-Nasr et al. [2009].

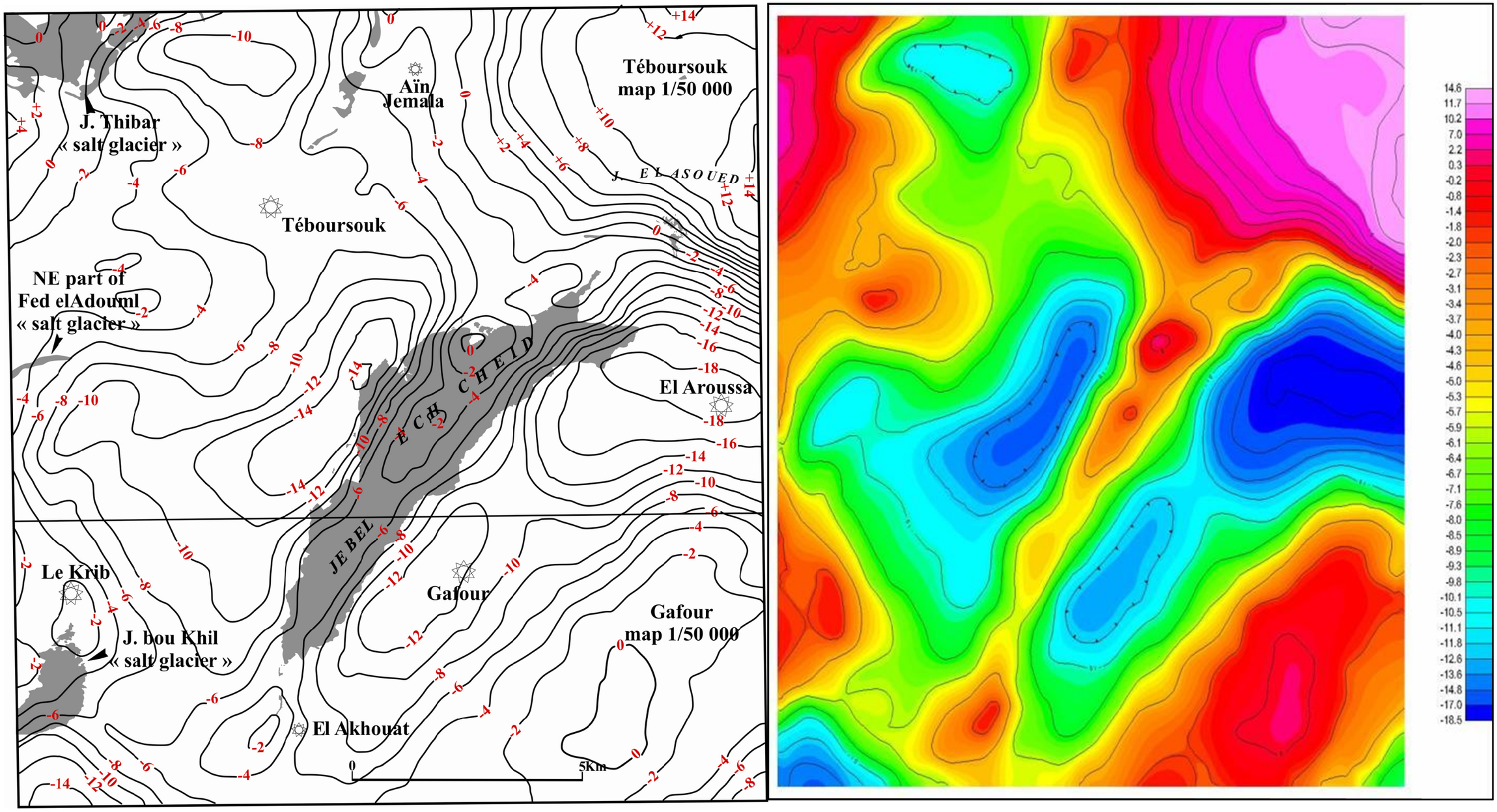


Fig.4.3 Carte gravimétrique de la structure du Jebel Ech Cheid à gauche d'après J.M. Vila et al. [2002], à droite d'après l'O.N.M.

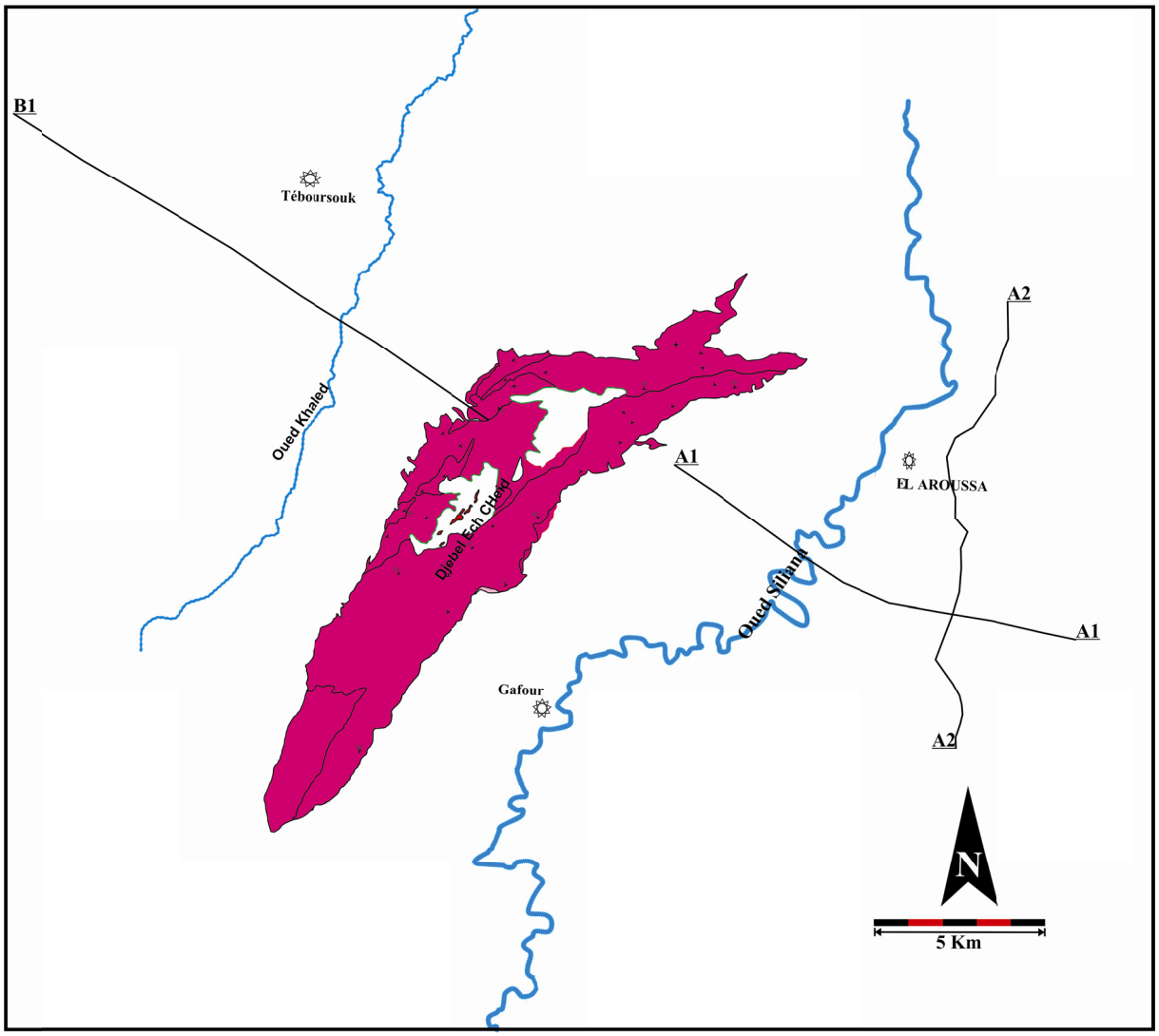


Fig.4.4 Localisation des profils sismiques utilisés dans l'interprétation sismique

2. Analyse et interprétation sismique

La ligne B1(Fig.4.4) s'étend depuis le bord du massif du Jebel Ech Cheid à la plaine de Khalled jusqu'aux monts du nord-ouest de Téboursouk. Pour cette section sismique à défaut du calage nous allons tenter d'interpréter seulement la géométrie des couches.

La cicatrice de Teboursouk des auteurs pourait y correspondre à la faille inverse soulignée au milieu du profil.

En faisant l'hypothèse, d'après la carte, que le profil commence au J. Ech Cheid dans l'Eocène moyen les trois réflecteurs soulignés ont de très fortes chances de se situer dans le Crétacé.

On peut en conclure :

a- qu'il n'y a pas de structure salifères cachée sous la plaine ;

b- que le parallélisme des réflecteurs montre que les variations multiples dépaisseur visibles au J. Ech Cheid n'existent plus.

2.1. La ligne sismique A1

L'examen des deux lignes sismiques effectuées au Sud de la structure salifère du Jebel Ech Cheid nous permet de souligner les traits suivant :

Elle est orienté Nord-ouest/Sud-est ; depuis l'extrémité Sud-est, dans ce travail, nous interprétons une masses de réflecteurs disharmoniques comme une masse salifère chaotique triasique. Cette dernière est surmontée par une discontinuité sismique interprétée comme une faille listrique à plongement Nord-ouest. Cette faille émerge dans l'affleurement au niveau de l'extrémité Nord-ouest de la feuille du Jebel Mansour et elle a un jeu inverse à vergence Sud-est [Jauzein & Berthe,1961]. Au-dessus de la discontinuité précédente nous remarquons la présence de réflecteurs formant au contact de la faille listrique une flexuration vers le bas qui est probablement le produit de la-cinématique de la faille ; cette flexuration s'accentue du SE au NW. Ceci nous amène à penser que les mouvements de cet accident sont permanents aux cours de la sédimentation. Ensuite on distingue des réflecteurs ordonnés qui dessinent l'allure d'un synclinal à cœur Tertiaire. Vers l'oued Siliana (voir sa position de l'oued Siliana sur la Fig.4.8) nous soulignons trois discontinuités. Il s'agit de failles rétro-chevauchantes. Au moins l'une d'entre elles affleure dans le croisement oued Aleg –oued Siliana (Fig.4.5 et Fig.4.6).

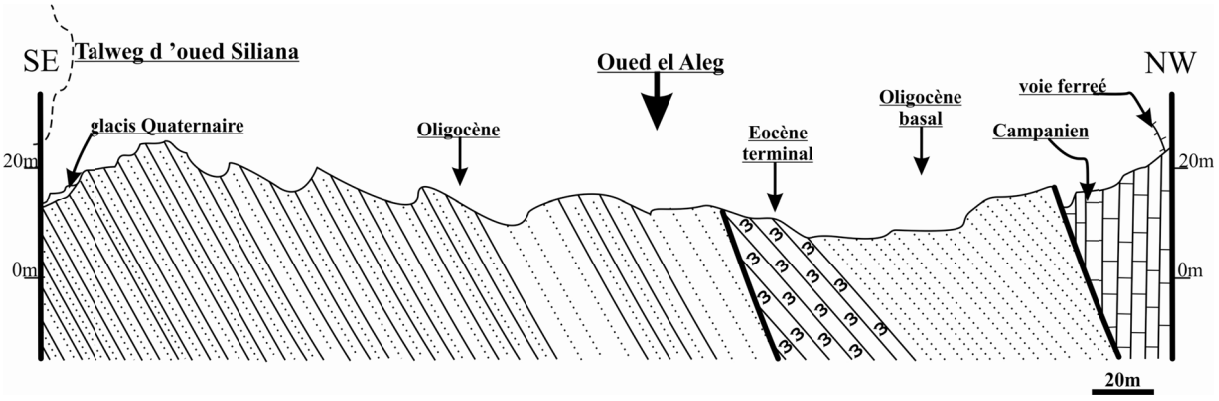


Fig.4.5 Coupe géologique dans l'aval de l'oued Aleg

Sur le profil sismique et en dessous d'oued Siliana, nous remarquons une structure souple tronquée par les failles inverses à vergence NW. Il s'agit d'un empilement d'une antiforme dans une série renversée qui a pu compenser le maximum d'énergie élaboré par la cinématique de l'accident majeur qui souligne une allure d'une faille listrique.

Enfin et à proximité de la masse triasique du Jebel Ech Cheid on remarque que les réflecteurs dessinent une forme de gouttière synclinale : la ligne sismique est distante de la limite de la structure salifère d'un intervalle inférieure ou égal d'un kilomètre. Or, nos observations sur terrain montrent que les séries encaissantes des masses salifères sont renversées. Ce renversement est donc superficiel et localisé à proximité de la structure salifère.

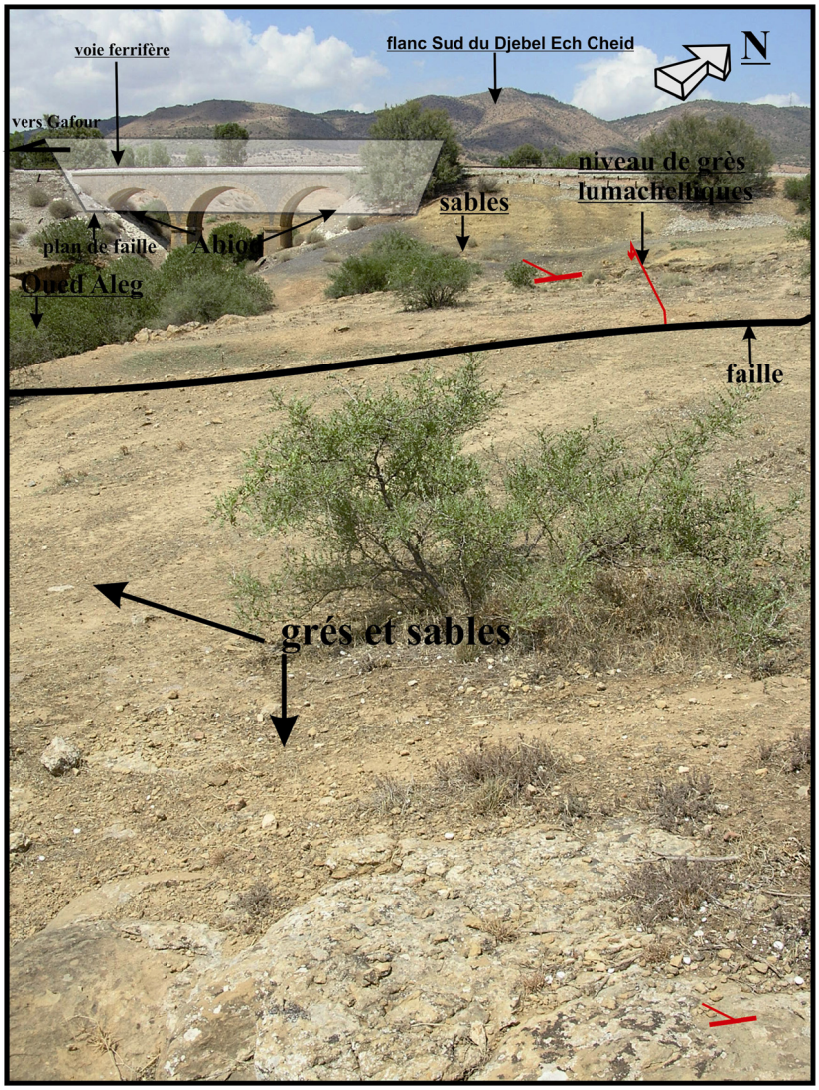


Fig. 4.6 Vue prise au niveau de la (Fig.4.5) en regardant vers le Nord-ouest.

2.2. La ligne sismique A2

Elle est orienté NNE-SSW (Fig.4.9), l'extrémité nord-est de cette ligne A2 est marquée par une discontinuité nette des réflecteurs sismiques. Il s'agit fort probablement d'une faille listrique à plongement vers le SSW. Sur terrain cette faille correspond à la limite septentrionale du fossé de Bou Arada [Mahjoub & Dali,1998]. Dans la région de Ragoubet Mahjbia et dans sa continuité nord-ouest, elle met en contact les dépôts Campanien et les sédiments du Crétacé inférieur. Par contre au niveau de la section A2, elle met en contact le Crétacé inférieur et le Plio-Quaternaire. Ceci nous a mène à penser qu'il s'agit soit d'une érosion qui a touché toute la série Tertiaire, soit que l'accident n'a pas une cinématique homogène. Nous soutenons la dernière supposition car l'accident traverse une multitude de dépôts sédimentaires qui n'ont pas tous la même rhéologie.

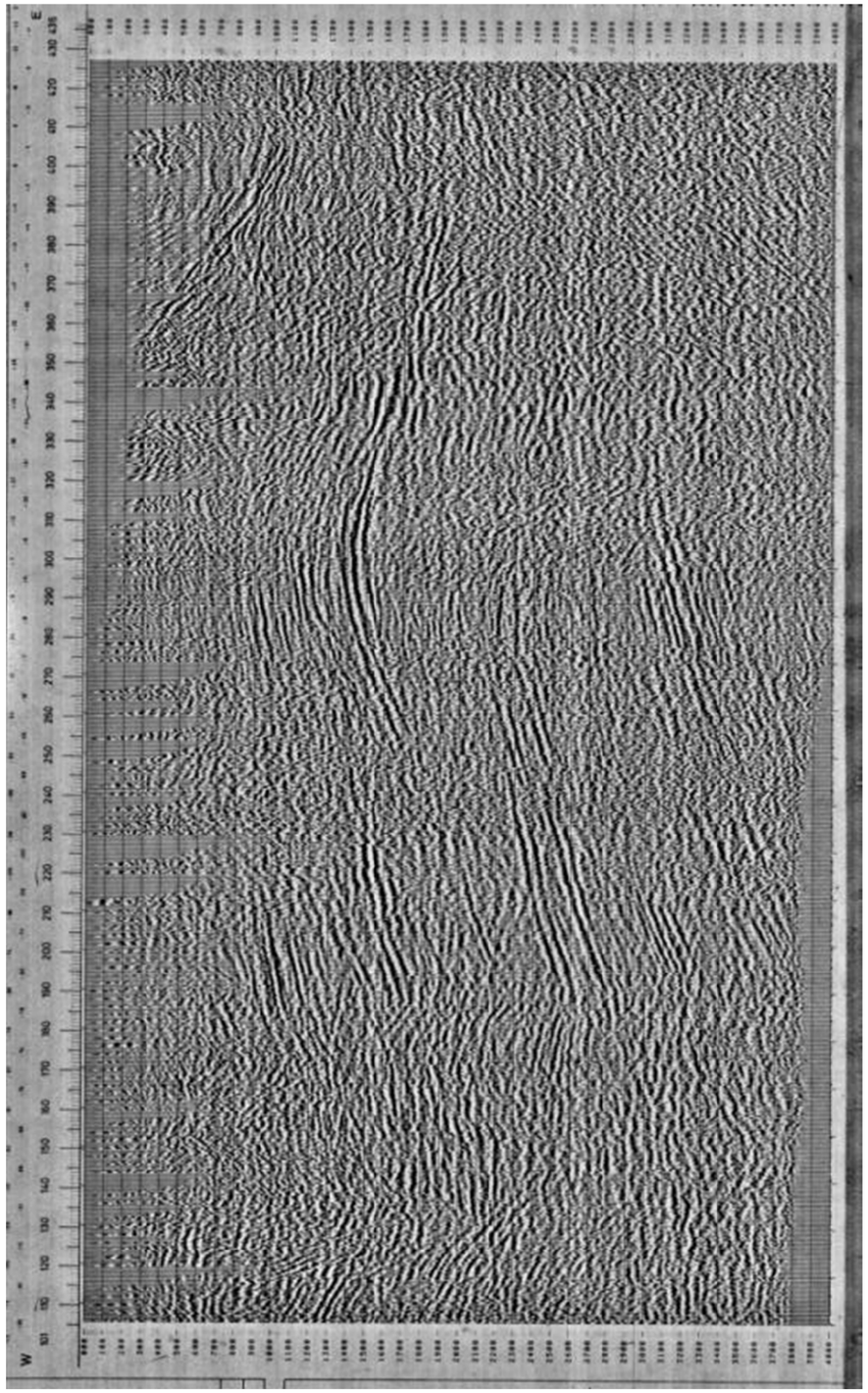
En outre, nous remarquons que cet accident est à jeu normal au moins au niveau du Crétacé. Ceci est confirmé sur terrain au niveau de Ragoubet Mahjebia d'une part, et à travers la section sismique A2 d'autre part. Les réflecteurs en contact avec la faille dessinent: de haut vers le bas l'allure d'un synclinal et les réflecteurs du Crétacé inférieur figurent la forme d'un crochon d'une faille normale.

Vers le SSW nous observons une discontinuité de faille normale à plongement NE au toit d'un anticlinale à cœur Crétacé inférieur. Ceci est enregistré par la présence des réflecteurs du Crétacé inférieur à pendages subhorizontaux. La faille a une nature additive au moins dans la période des dépôts de la formation Abiod.

2.3. Conclusion

En effet d'après les interprétations géophysiques nous pouvons retenir qu'il existe un système de failles listriques synthétiques et antithétiques qui ont probablement la même cinématique. Au sud de la structure salifère et au nord-ouest par l'intermédiaire de la ligne sismique B1 qu'il s'agit d'un complexe de failles inverses qui ont subi probablement une inversion positive lors des plissements tertiaires.

La réponse positives de l'anomalie de Bouguer, nous amène à interpréter la structure du Jebel Ech Cheid comme une structure déracinée (vue la densité du matériel triasiques plus faible que les roches sédimentaires encaissante).



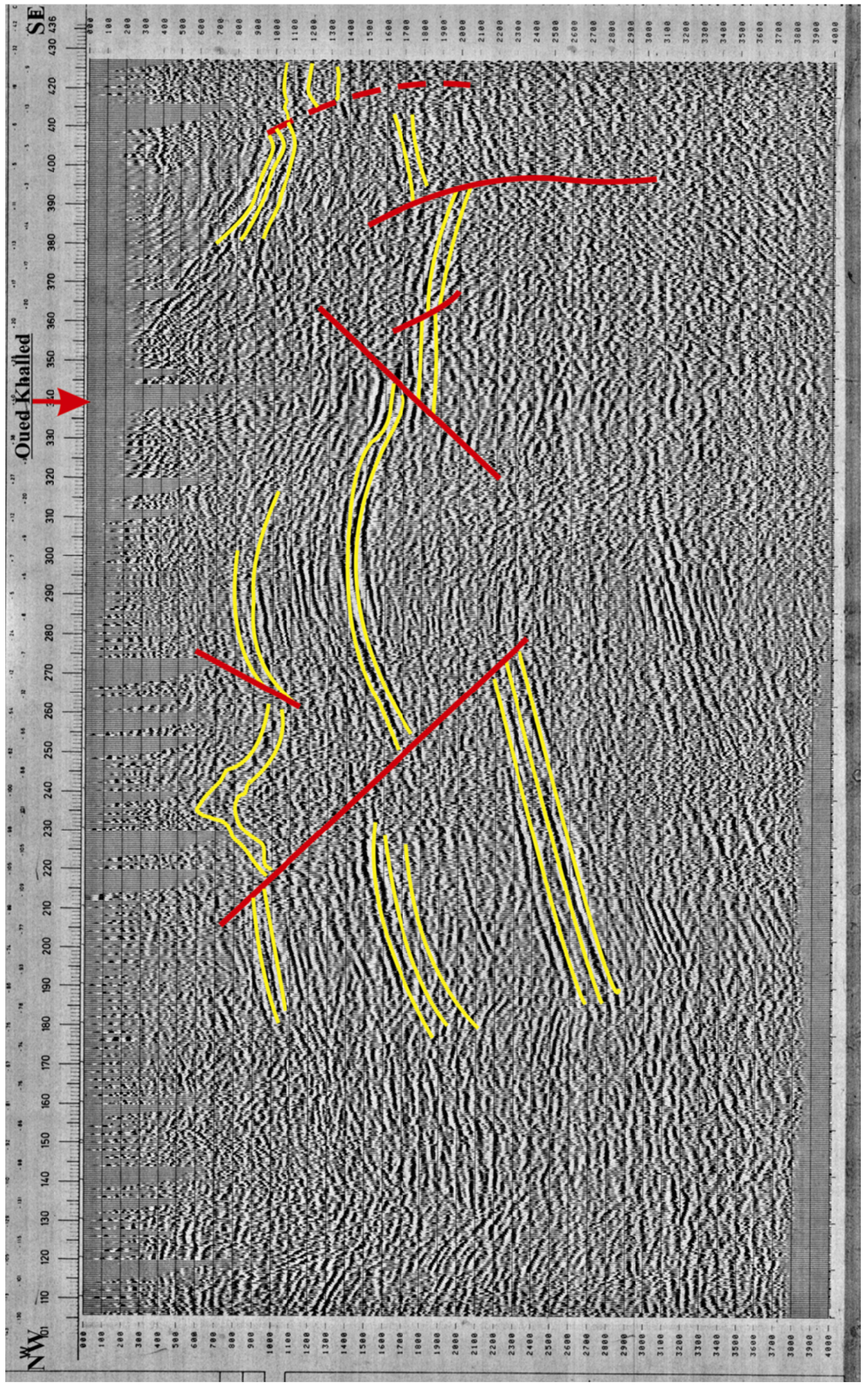
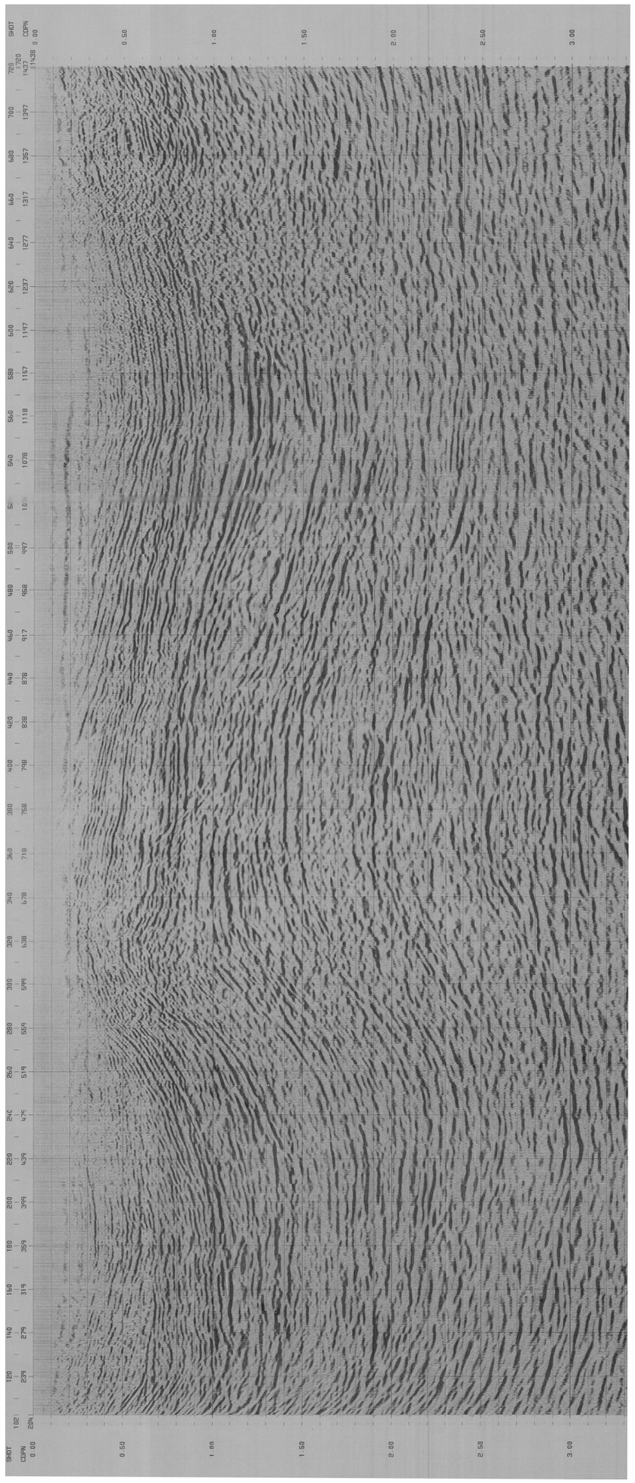


Fig.4.7 Profil sismique B1 interprété dans ce travail



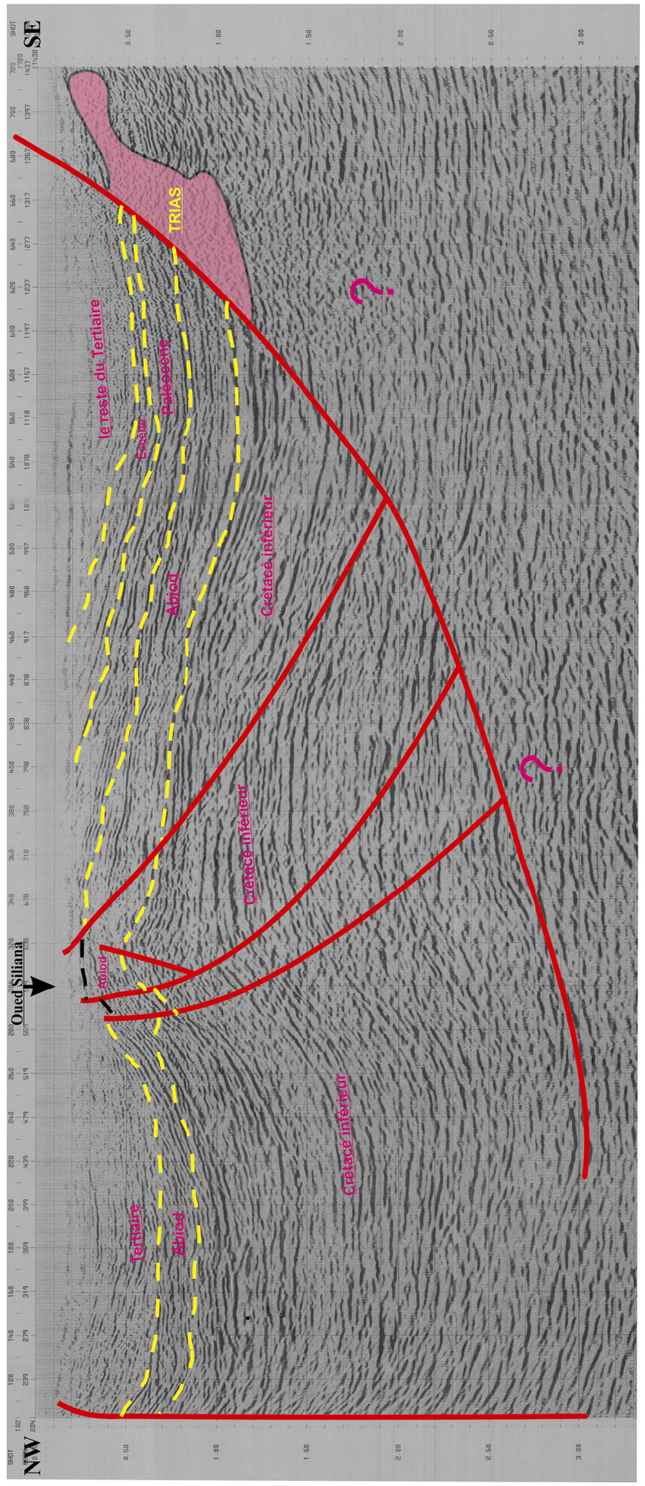
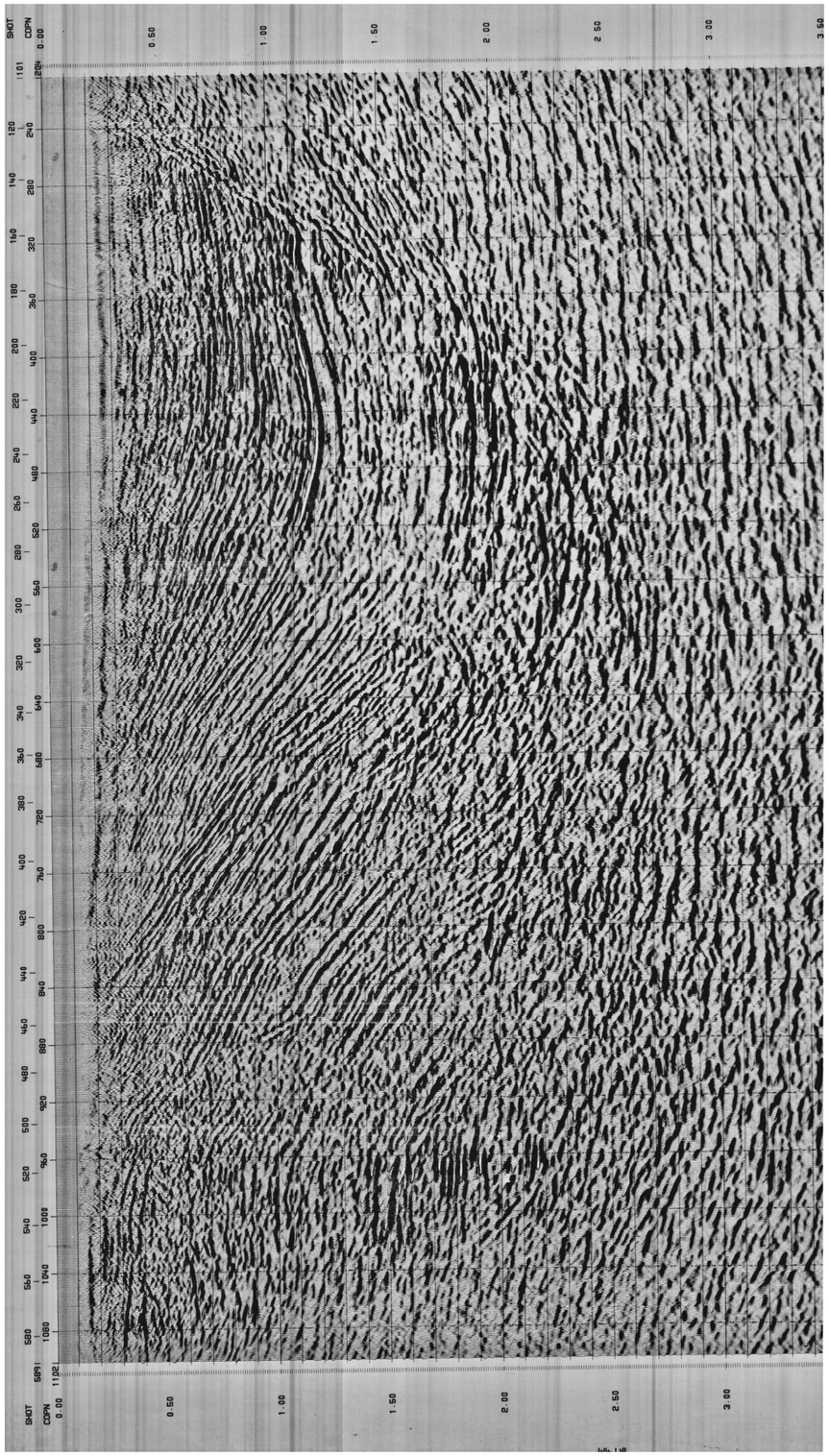


Fig.4.8 Profil sismique A1 interprété dans ce travail



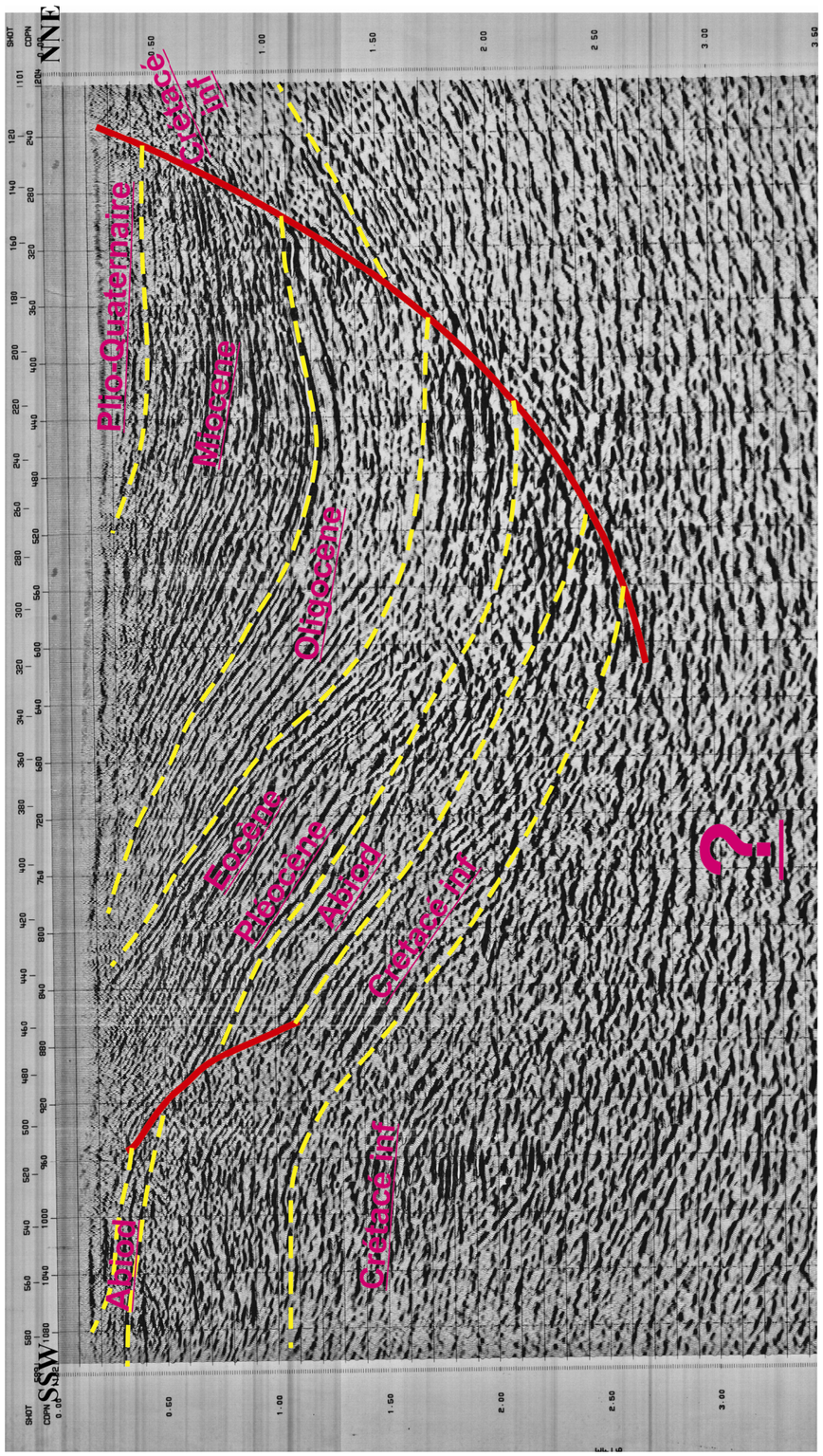


Fig.4.9 Profil sismique A2 interprété dans ce travail

CHAPITRE 5

ESSAI DE MODELISATION, COMPARAISONS ET DISCUSSIONS

ESSAI DE MODELISATION, COMPARAISONS ET DISCUSSIONS

1. Synthèse

1.1. La région du Jebel Ech Cheid

La partie nord du Jebel Ech Cheid correspond à des terrains d'âge crétacé basal à Tertiaire. Les coupes effectuées dans cette partie septentrionale nous ont permis de confirmer localement le renversement des séries au contact de la masse salifère. Mais, ce n'est pas le cas dans l'axe NE où du matériel triasique est interstratifié dans le Crétacé inférieur dans l'anticlinal de l'O. Aouess. Très récement, elle a localement glissé par gravité sur les marnes campaniennes de R^{agbte} el Mahjbia, sous le contrôle de la grande faille qui limite le fossé de Bou Arada/ el Aroussa [Jauzein,1967, Chihi,1995, Mahjoub & Dali,1998].

La partie sud-est limitée par l'oued Siliana, montre une gouttière synclinale (Fig.4.8) remplie par des terrains mio-plio-quaternaires. Les terrains concernés sont le Trias, le Barrémien-Aptien et les dépôts tertiaires. Les coupes faites sur ce flanc nous permettent de souligner le renversement spectaculaire des séries méso-cénozoïque mais nous avons vu que c'est un renversement « superficiel» dû aux plissements tertiaires [Koyi,1998].

La partie Sud-ouest est occupée par l'anticlinal du Jebel el Akhouat/el Kerba. La série affleurant s'étale depuis le Trias jusqu'au Mio-Pliocène. Les coupes effectuées dans cette zone nous permettent de distinguer un anticlinal à cœur Aptien (Fig.3.23 et Fig.3.25) ou le matériel salifère est interstratifié et remanié dans la série albienne.

1.2. La région de Chitana/ed Djebs

L'étude géologique menée dans la région de Testour- Slouguia permet de préciser quelques spécificités concernant l'évolution des bassins sédimentaires de cette région.

Cette partie traite des problèmes qui présentent jusqu'à nos jours, le sujet de nombreuses controverses. Les plus importants résultats sont cités si dessous.

- localement le pendage de l'Oligocène discordant est presque parallèle à la stratification des séries cénomaniennes. Il repose avec un pendage faible sur le matériel salifère et sur tous les dépôts antérieurs. Ce dispositif permet d'écarter

l'hypothèse d'un renversement diapirique précoce au Crétacé inférieur [Bajanik & Biely,1973].

- Les contacts du matériel triasique avec les séries mésozoïques encaissantes sont soit de nature « sédimentaire » (Fig.3.28 et Fig. 3.29) soit mécaniques.
- L'Éocène est discordant sur les séries sous-jacentes. Ce qui exclut la « vieille » hypothèse de l'allochtonie du Trias [Solignac,1923b, 1925, 1927, Daly,1981].
- La discordance angulaire de l'Éocène dans l'O. Bou Kralfa fossilise l'amorce du plissement Éocène moyen à supérieur suivi d'une mise à l'affleurement et d'une érosion, phénomène signalé par [Pervinquière,1903, Burollet,1956, Zargouni,1977, Abbès,1983, Khomsi et al.,2006, Masrouhi,2006, Mzali & Zouari,2006, Ben Slama et al.,2009].

En fonction des discordances visibles, après sa mise en place au Crétacé, le matériel triasique a été porté deux fois à l'affleurement (aérien ou sous une faible tranche d'eau), juste avant les dépôts oligo-miocènes, puis avant celui du Plio-Quaternaire ancien.

Les failles normales héritées depuis les époques crétacées inférieures ont probablement rejoué en jeu inverse aux cours du Tertiaire.

2. Proposition d'un scénario de mise en place de l'architecture actuelle

2.1. Modèle de drapage et tectonique en radeaux soit « *rollovers system* »dans la région du Jebel Ech Cheid

Il peut s'agir soit de la tectonique en radeaux (voir p.22-24) soit d'un système de « failles de croissances/ *rollover system*» (**F.C. /R.S**.) deux réseaux de failles de croissances antithétiques et synthétiques qui ont joué en même temps. Ceci peut expliquer en partie la réduction des épaisseurs des séries crétacées encaissantes du matériel salifère relativement aux épaisseurs des séries du même âge dans les bassins sédimentaires voisins.

Nous avons fait appel à la modélisation analogique très développé dans la littérature internationale. Nous avons choisi le modèle de « failles de croissances/ *rollover system* (**F.C. /R.S**.)»

Pourquoi le choix de ce modèle ? Le modèle **F.C. /R.S** est cohérent avec nos données de terrain, les nouvelles interprétations et les données géophysiques développées dans les chapitres 2,3 et 4.

Comment un tel système fonctionne-t-il ?

Tout d'abord, qu'est-ce qu'un « *rollover* » ? Ce terme vient de l'anglais : « *to roll over* », « rouler dessus ». Il s'agit de structures décrites notament pour l'*offshore* de la Gulf

Coast, en association avec les failles de croissance synsédimentaires ou *growth faults* [Xiao & Suppe,1992, Berg & Avery,1995]. Il est caractérise une distension rapide accompagnée par un fort taux de sédimentation [Faure & Chermette,1989]. Ce dispositif est caractéristique du stade syn-rift des marges passives notamment celles qui présentent un horizon salifère [Boillot & Coulon,1999] (illustrées p.27). Il forme d'excellents pièges d'hydrocarbures. La naissance des *rollovers* s'initie le plus souvent soit par un graben, soit par des blocs basculés ; à proximité des bords du bassin sédimentaire ; ils présentent une allure anticlinale pouvant être confondus avec les structures compressives. La création des *rollovers* est conditionnée par deux éléments agissant simultanément : les assises déposées dans le graben basculent aussitôt déposées [Vila,2000]; ces structures sont bien définies régionalement en Tunisie centrale par [Ladeb *et al.*,1995, Ladeb,2006].

En se basant sur une série d'expériences de modèles analogiques appliquées sur des structures salifères réelles dans la marge passive guinéenne [Mauduit & Brun,1998, Brun & Mauduit,2008, Brun & Fort,2011] comparable à la marge passive sud-téthysienne.

Les *rollovers* synthétique dont la faille de croissance pend dans le sens du déplacement vers l'aval de la pente. Et les *rollovers* antithétiques dont la faille de croissance pend dans le sens opposé au sens du déplacement, vers l'amont de la pente [Mauduit & Brun,1998]. Dans notre cas à Jebel Ech Cheid nous considérons un sens du déplacement qui est celui de la plaque africaine [Stampfli & Borel,2002]. L'étude sédimentaire nous a permis de localiser deux failles de croissancecorrespendant à deux systèmes de *rollovers* (Fig.3.4, Fig.4.4, Fig.4.8 et Fig.4.9). Les F.C. /R.S. évoluant dans deux sens différents l'un vers le Nord et l'autre vers le Sud, donc synthétique et antithétique.

La modélisation analogique [Mauduit & Brun,1998] a permis d'examiner l'agissement dont les *rollovers* synthétiques et antithétiques se développent simultanément et en continuité latérale (Fig.5.1 A). La faille d'accommodation de la croissance du *rollover* synthétique passe latéralement aux failles conjuguées d'extrados du *rollover* antithétique (Fig.4.9) et vice-versa. L'ensemble glisse sur les roches ductiles triasiques dans le sens de la pente (Fig.5.1 A). Ce type de situation est actuellement observé sur la marge passive à horizon salifère [Mauduit & Brun,1998].

En fait, l'architecture du bassin avec un tel réseau ne peut pas être expliquée seulement par le modèle de failles listriques à deux blocs.

En effet, des failles li striques synthétiques et antithétiques, ne sont pas séparées par une faille transformant parallèle à la direction de déplacement. Alors, elles nécessitent d'être

connectées entre elles au niveau du plan basal de glissement. Ainsi, elles s'inhibent mutuellement [Mauduit & Brun,1998].

Le Nord de la structure salifère du Jebel Ech Cheid est limité par un accident majeur nommé la cicatrice de Téboursouk [Jauzein,1967] (Fig.5.1 B). C'est une faille normale héritée d'avant le Crétacé inférieur occupant le bord d'un hémi-graben de l'oued Khalled et considéré comme prolongeant une faille de socle. L'ensemble cicatrice de Téboursouk et le système de failles normales conjuguées d'extrados du *rollover* antithétique évolue dans des conditions syn-rift distensives en dôme de sel (Fig.5.1 C.). Nos observations permettent de penser que ce dôme de sel a cravé à son sommet permettant au sel de s'épancher latéralement pendant le Barrémien-Aptien, l'Aptien, l'Albien inférieur et l'Albien moyen. Enfin, et après les plissements qui commençent à la fin du Crétacé et s'aggravent au Tertiaire la périphérie de la structure salifère est affectée par des failles inverses tardives. D'après l'analyse des données géophysiques (Fig.4.7).

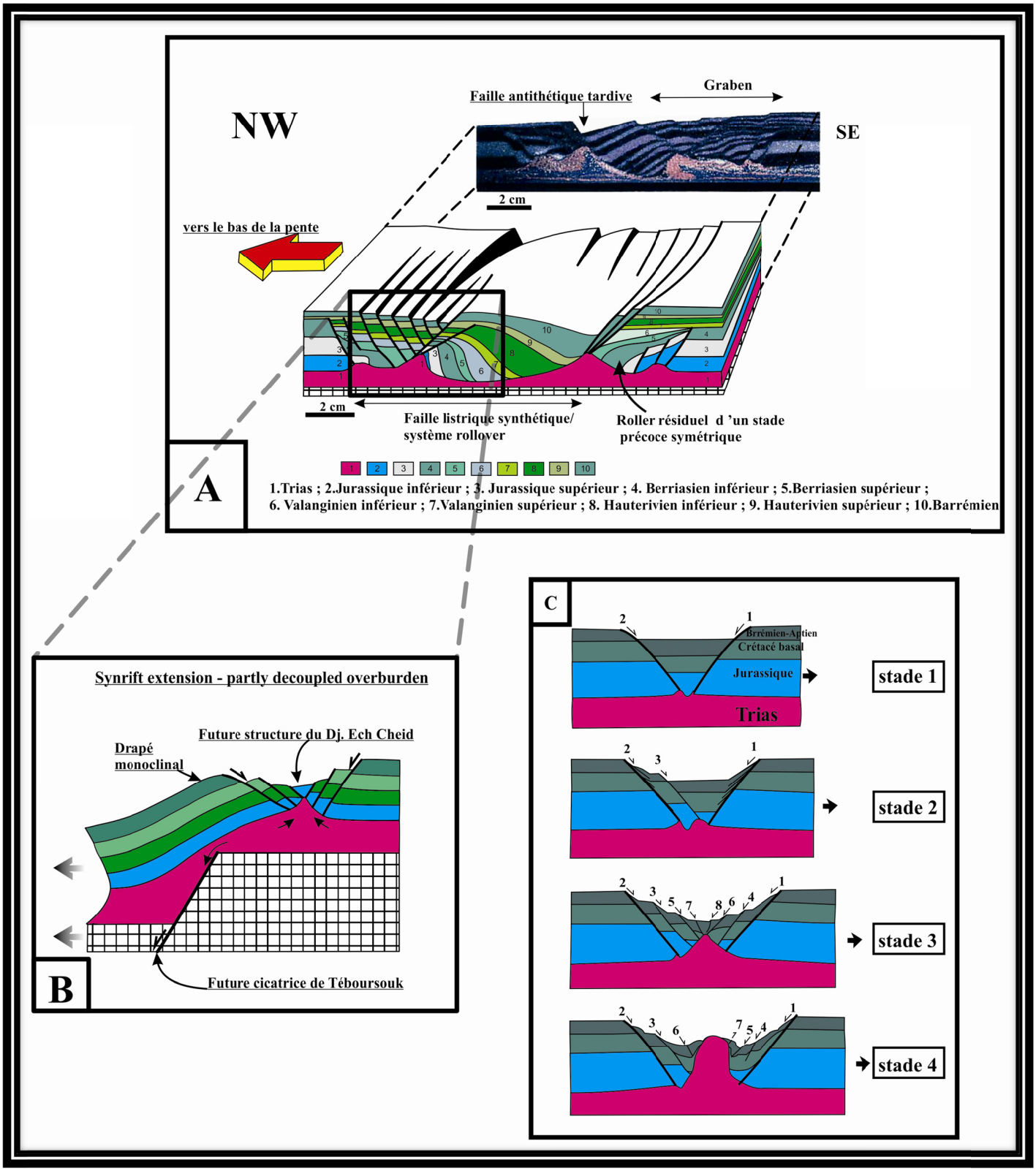


Fig.5.1 Essai de modélisation de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid A : passage latéral d'un *rollover* synthétique à un *rollover* antithétique inspiré de Mauduit & Brun [1998], B : extension synrift avec la création d'un monoclinal de drapage au-dessus d'une faille normale basale, C : cinématique de la future structure du Jebel Ech Cheid en B d'après Jackson & Vendeville, [1994].

2.2. Chitana/ed Djebs Modèle «*Open toe* »

À la lumière de nos apports, il est possible de réinterpréter la relation entre le matériel triasique et les séries mésozoïques encaissantes. Car on trouve du matériel salifère remanié dans la série marno-argileuse de l'Albien inférieur. Nous proposons d'interpréter la mise en place du matériel triasique de la structure de Chitana-Ed Djebs, par épanchement gravitationnel dans une marge passive à l'Albien, à l'image des corps salifères de la province salifère du Gulf Coast du Mexique [Fletcher *et al.*,1995, Hudec & Jackson,2006, Hudec *et al.*,2009]. Un schéma rétro-tectonique (Fig.5.2) de la structure salifère Chitana-Ed Djebs supose que cette mise en place se soit effectuée sur une paléo-pente sous-marine. L'ensemble est ensuite comprimé et inversé tectoniquement après le Campanien avec un paroxysme à l'Éocène moyen à supérieur. Ce dernier est clairement fossilisé par la discordance de l'Éocène moyen-Lutétien sur les séries albiennes.

D'après notre étude sur terrain nous proposons que le matériel salifère situé au Nord de l'oued Medjerda ait évolué à la manière d'un glacier de sel composite sous-marin [Fletcher et al.,1995, Vila et al.,2002]et épanché en premier lieu durant l'Albien inférieur puis une autre fois durant le Vraconien. Parcontre pour la partie située au sud de l'oued Medjerda il s'agirait d'un glacier de sel simple installé durant l'Albien inférieur ou d'une structure « *open toe* » (Fig.5.2) probablement détachée de la zone nourricière aux cours des inversions tectoniques tertiaires.

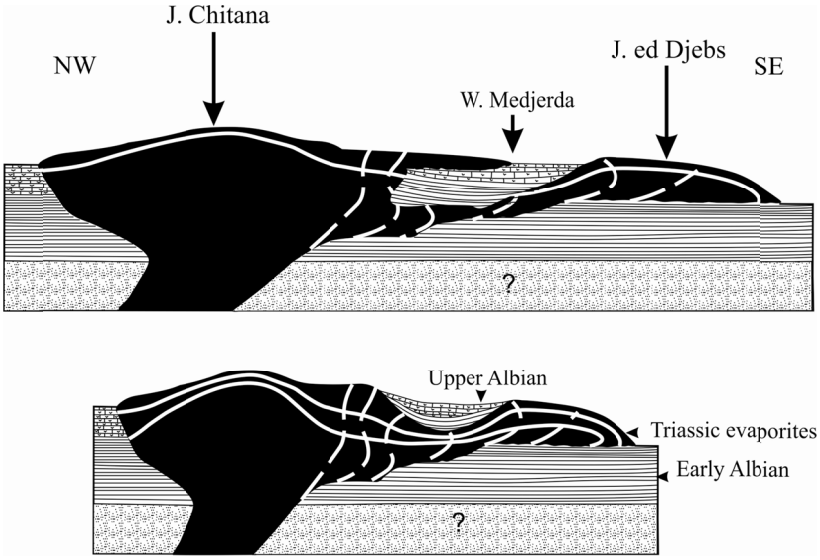


Fig.5.2 Restauration hypothétique de l'évolution de la masse triasique pendant l'Albien, inspirée de Talbot [1993] et de Hudec & Jackson [2006].

3. Essai de modelélisation de la mobilisation du matériel salifère

L'analyse des données bibliographique, nous permet de reconstruire la mobilisation du matériel ductile. Et ceci en se basant sur les travaux de C.J. Talbot & R., J. Jarvis [1984], modèle illustré et simplifié par C.J. Talbot & P. Aftabi [2004] (Fig.5.3).

Appendix: Extrusion and dissolution rates of Qum Kuh using Equation (1)

To apply the Talbot & Jarvis (1984) model to Qum Kuh, we take ρ, the density of the salt as 2200 kg m^{-3}, μ, its viscosity as 10^{13} m^2 s^{-1}, g, the acceleration due to gravity as 9.81 m s^{-2} and the summit height, *a*, as 315 m. To constrain the salt mass flux, *m* (mass/unit time/unit distance in m) of Qum Kuh we substitute these values in

$$m = 0.084\rho g a^3/\mu \text{ and find:}$$

$$m = 0.084 \times 2200 \times 9.81 \times 3153/10^{13}$$

$$= 5.666 \times 10^{10}/10^{13}$$

$$m = 5.666 \times 10^{-3} \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-1} = 0.0057 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$$

Taking the vent as 1000 m across (see Fig. 6a) means that the rate of extrusion, E° = m × 3.16.10^7 seconds in a year /width of the vent × density). This results in an extrusion rate of:

$$E^\circ \approx (0.0057 \times 3.16 \times 10^7)/(1000 \times 2200)$$

$$= 179878/2.2 \times 10^6$$

$$E^\circ \approx 0.08176 \text{ m a}^{-1} \approx 82 \text{ mm a}^{-1}$$

Fig.5.3 Encadré montrant les équations de calcul du taux d'extrusion de la structure de Qum Kuh en Iran [Talbot & Aftabi,2004]

Cette approche néglige toutes contraintes tectoniques, épanchements gravitaires et la dissolution sous l'effet climatique du sel épanché (dans le sillon Tunisien). Elle assume que la masse salifère n'est soumise qu'au poids des sédiments de couverture. La force du poids de la couverture est représentée par « $\rho g h_o$. » et la résistance du matériel salifère est représenté par « $\rho g h_s$ », où l'indice « o » se réfère à la couverture (« *overburden* » ou surcharge) et l'indice « s »pour le sel, « ρ » est la densité, « g » c'est l'accélération gravitationnelle et « h » c'est l'épaisseur.

3.1. La taille potentielle du Jebel Ech Cheid

Les mesures et les données utilisées dans le (Tableau. 5.1) sont déduite à partir des cartes d'isopaques illustrées *in* Ben Ferjani et al. [1990] ; données de forages pétrolier et minier et données de terrain. L'épaisseur de la série triasique est calculée par l'équation :

$$\boldsymbol{\rho s \times g \times hs = \rho o \times g \times ho} \text{ Donc}$$

$$\boldsymbol{hs = \frac{\rho o \times g \times ho}{\rho s \times g}}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{hs = \frac{\rho o \times ho}{\rho s}}$$

Le « *freeboard* » au sens de C.J.Talbot & P.Aftabi [2004] c'est-à-dire la hauteur des limites des sédiments de recouvrement au moment de dépôt des sédiments de couverture est représentée par la différence :

$$\boldsymbol{hs - ho}$$

Les mesures figurées dans le Tableau. 5.1 sont extraite des cartes isopaques, des données de forages pétroliers et miniers et des données de terrain.

Nous avons listé la densité du Trias, la moyenne des densités des sédiments de couverture des masses salifère du futur J. Ech Cheid et les valeurs cumulatives des épaisseurs des sédiments post-triasiques à différentes époques géologiques.

La variation de la masse triasique mobiliser est calculée par l'équation :

$$\boldsymbol{\rho s \times g \times hs = \rho o \times g \times ho}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{hs = \frac{\rho o \times ho}{\rho s}}$$

Le calcul estimatif des extrémités du corps salifère où « *freeboard* » à l'époque aptienne est de **452m** (voir Tableau. 5.1). L'initiation de l'évolution active est adaptée par l'inversion tectonique amorcé dès la fin de l'époque sénonienne [Masrouhi et al.,2008, Ben Slama et al.,2009, Heba & Prichonnet,2009] .

Temps Géologique	Unité de temps Ma	Densité des roches kg m3	Densité moyenne de la couverture kg m3	les deux flancs		Taux de dépôts m/Ma	*hs=(ph0)/ps* Valeur maximale du relief , m	*hs-h0* Potentiel maximal des *freeboard*,m
				Épaisseurs maximales des unités,m	Épaisseurs cumulées de la couverture, m			
Present			2610		6150,00		6716,11	566,11
Campanien sup._Maastrichtien inf	12	2630						
Turonien sup._Campanien inf.	9,5	2630		650				
Turonien moyen	1,5		2630		5500,00		6052,30	552,30
Turonien inférieur	2,5	2630		200				
Cenomanian supérieur	2		2630		5300,00		5832,22	532,22
Albien_Cenomanien	16,5	2630		800		48,48		
Aptian supérieur	2		2630		4500,00		4951,88	451,88
Aptien	4	2630		400		100,00		
Barr_Aptien	9	2630		1200	2900,00	133,33	3191,21	291,21
Crétacé inférieur	17	2630		1900		111,76		
Jurassique	62	2580		1000		16,13		
Trias	44	2390		1600		36,36		

Tableau. 5.1 Données récoltées depuis les cartes isopach, forages et données de terrain.

Paramètres	Nature
m	Le flux de la masse du sel (masse/unité de temps/unité de distance en m)
ρ	la densité du Trias (2390 kg m^3)
g	l'accélération gravitationnelle (9.81 m s^{-2})
a	C'est le produit de la différence entre le sommet le plus haut dans la structure et la valeur (topographique) la plus basse dans la plaine à côté (457m pour J. Ech Cheid)
μ	la cinématique de la viscosité (10^{13} m^2 s^{-1})
3,16 10^7	Nombres de secondes an^{-1}
0,084	Constante [Talbot & Jarvis,1984]

Tableau. 5.2 les différents paramètres utilisés.

3.2.Calcul des vitesses d'épanchement du matériel salifère et comparaisons

Une estimation de la vitesse d'extrusion de sel possible au J. Ech Cheid quand le sel était émergent peut être obtenue en insérant les valeurs probables dans l'expression :

$$m = \frac{0.084 \times \rho \times g \times a^3}{\mu} \text{[Talbot \& Jarvis,1984]}$$

$$m = \frac{0.084 \times 2390 \times 9{,}81 \times 457^3}{10^{13}}$$

$$\Rightarrow \quad m = 18{,}8\ 10^{-3}\ \text{kg s}^{-1}\ \text{m}^{-1}$$

La largeur de « l'orifice » (*the vent*) dans notre structure salifère, elle correspond à la largeur maximale et elle s'étend entre les deux limites Trias/roches encaissantes est d'environs 4500 m . En fonction de la proposition de C.J. Talbot & R.Jravis [1984] on peut estimer que le taux d'épanchement (où d'extrusion) à J. Ech Cheid est de 0, 0552 m an^{-1}≈ 55,2 mm an^{-1}.

Cette valeur d'épanchement est calculée selon l'équation suivante [Talbot & Jarvis,1984, Talbot & Aftabi,2004]:

$$E° \approx \frac{\text{m} \times 3{,}16\ 10^7\ \text{(seconds par an)}}{\text{largeur de l'orifice} \times \text{densité}}$$

Le taux d'épanchement se résulte donc :

$$E° \approx \frac{(0{,}0179 \times 3{,}16\ 10^7)}{(4500 \times 2270)}$$

$$E° \approx 0{,}0552\ \text{m an}^{-1} \simeq 55\ \text{mm an}^{-1}$$

Références	Localité		Taux d'extrusion	Taux
Talbot 2005	Debadib	North Tunisia	16mm/an	3,5 fois
Frumkin, 1996	Sedom (D)	Palestine occupée	6–7 mm/an	7 fois
Reyss et al.,1998	Qeshm(D)	South Iran	5–6 mm/an	9 fois
Talbot et Aftabi 2004	Qum Kuh	central Iran	82 mm/an	2/3 fois
Ce travail	J. Chitana ed Djebs	North Tunisia	18,1mm/an	3 fois
Talbot et al 2000	Kuh-e-Jahani (BF)	Zagros Mountains	1000 mm/an	1/18 fois
Ce travail	J. Ech Cheid	North Tunisia	55,2mm/an	1 fois
	Plus rapide que la vitesse de sédimentation la plus rapide d'âge Barr-Aptien			414 fois

Tableau. 5.3 Comparaison des vitesses d'épanchement de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid et quelques corps salifère en Tunisie et dans le monde (voir références dans le paragraphe qui suit).

La valeur du taux d'extrusion du matériel salifère du Jebel Ech Cheid à l'époque Aptien-Albien inférieur est 9 fois plus rapide que le diapir de Qeshm au Sud Iranien [Reyss *et al.*,1998], 2/3 fois moins rapide que Qum Kuh en Iran centrale [Talbot & Aftabi,2004], 3 et ½ plus rapide que l'appareil du Debadib en Tunisie septentrionale[Talbot,2005], 7 fois plus rapide que le diapir de Sodome à Judée [Frumkin,1994], 1/18 fois moins rapide Kuh-e-Jahani dans les chaines de Zagros [Talbot *et al.*,2000] et 3 fois plus rapide que la structure de Chitana ed Djebs en Tunisie septentrionale . Il est encore 400 fois prompt que le plus rapide des dépôts moyenne de l'époque du Barrémien-Aptien (Tableau. 5.3)

3.3. Rèserves au sujet de l'analyse quantitative de la mobilité du matériel triasique

(01). les caractéristiques mécaniques utilisées dans les calculs négligent la dégradation du taux d'extrusion et l'influence des contraintes tectoniques latérales.

(02). Le « *freeboard* » du matériel triasique à l'époque vers la fin de l'Aptien ne dépasse pas 450 m (Tableau. 5.1) valeur du relief maximum potentiel acquis durant toute l'époque crétacée.

(03). ceci nous permet d'avancer un épanchement latéral du matériel triasique qui a été mis en place aux cours du Barrémien-Aptien, Aptien supérieur, Cénomanien supérieur, Santonien et Campanien inférieur.

(04). les valeurs du « *freeboard* » du J. Ech Cheid oscillent et reflètent le changement d'épaisseur des séries surchargeant le matériel triasique dans sa position originelle.

(05). la suggestion du modèle dynamique nous permet d'avancer que le taux d'extrusion serait autour de 55mm/an

(06). le taux d'extrusion serait 400 fois plus rapide que le taux de sédimentation des séries de couverture.

Ces observations, tendent à déchiffrer le mécanisme de mise en place des roches ductiles triasiques du Jebel Ech Cheid, Chitana/ed Djebs.

Dans le présent travail on ne néglige pas les observations de terrain ni l'analyse de la sismique réflexion.

D'après ces résultats on peut noter que Jebel Ech Cheid a subi un premier épanchement latéral au moins dans une époque anté-Aptien dans le sillon Tunisien, donc il est de plus hydraté ; enrevanche la structure « Kuh E Namak » dans le bassin persique (Fig.5.4) a subi un épanchement à l'air libre. Bref, l'épanchement du matériel salifère de la structure du J. Ech Cheid est plus rapide que celle de la structure « Kuh E Namak ».

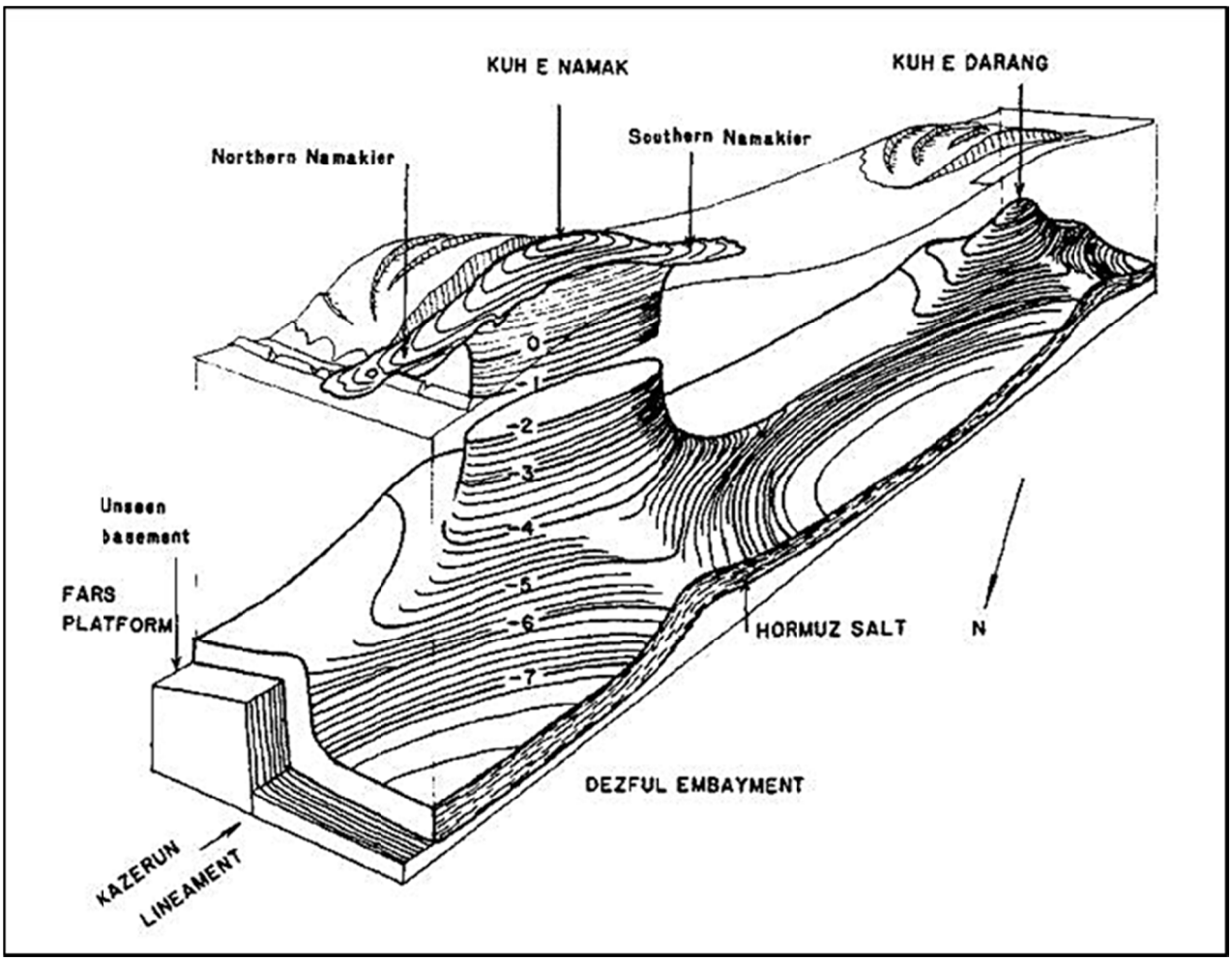


Fig.5.4 Croquis 3D des structures salifères Kuh-e-Namak et Kuh-e-Darang [Talbot & Jarvis,1984]

4. Conclusion

Nous proposons l'évolution figurée dans la Fig.5.1 :

- une époque distensive qui s'étend depuis le Jurassique jusqu'au Crétacé basal est responsable de l'édification de grabens, de blocs basculés et de systèmes de « *rollovers*» ;

- l'époque distensive aboutit à la création de dômes de sel passifs et ceci pour accommoder les déplacements du système de *rollovers* qui est composé essentiellement de deux réseaux de failles « listriques » à pendages opposé (Fig.5.1 A et B) ; nos observations sur terrain montrent que l'appareil salifère à produit plusieurs épanchements latéraux durant les époques : au Barrémien-Aptien, à l'Aptien, à l'Albien inférieur, à l'Albien moyen, au Santonien et au Campanien.

- la comparaison de vitesse d'extrusion des masses salifères durant l'époque Barrémo-aptienne nous amène à adopter une cinématique rapide de l'extrusion des masses salifères ; la structure du J. Ech Cheid aurait toutefois une vitesse 2/3 fois moins rapide que la « rivière de sel » de Qum Kuh [Talbot & Aftabi,2004].

- ensuite tout le complexe (dôme de sel, plis et bassins environnants) sera repris par les plissements tertiaires à quaternaire.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La province salifère du Nord de la Tunisie est un objet d'étude privilégié de la tectonique salifère. Le *rifting* affecte la marge passive téthysienne dès le Jurassique. Les dépôts de sel sont d'âge triasique, installés après une crise de régression de la mer Téthysienne. Le sel de ces évaporites se transforme en un complexe visqueux au cours du temps géologique jouant un rôle moteur dans l'évolution des bassins sédimentaires. Les données sismiques et de forages pétroliers et miniers ainsi qu'une collecte des données de terrain constituent une banque de données pour l'étude de ce phénomène par l'intermédiaire de deux exemples : Jebel Ech Cheid et la structure des Jebels Chitana/ed Djebs. Leur analyse, couplée avec des expériences de modélisation analogique issues de la bibliographie récente, nous a permis dans ce travail de mieux cerner les mécanismes originels de mise en place du matériel salifère, de mettre en relief l'importance d'un système à plusieurs composants : sédimentation-déformation, déformation-sédimentations synchrones et glissement gravitaire.

(01). Évolution structurale des structures salifères étudiées

- **Structure du Jebel Ech Cheid**

Entre les villages de Téboursouk et Gafour, nous avons pu collecter de nouvelle observations et données de paléontologiques. Ainsi l'intégration des données géophysiques (Fig. 3.1, Fig.4.7, Fig.4.8 et Fig.4.9) et forages miniers et pétroliers. Dans la mesure de faire un schéma rétro tectonique de structure salifère (Fig.6.1). Relativement aux observations de terrain nous avons établis le (Tableau.6.1) résumant les époques à épanchements latéraux des masses de sel fossilisé dans les dépôts respectif.

Les sédiments du Jurassique et du Crétacé basal sont absents. Ceci est dû probablement à l'affaissement de ces dépôts lors du *rifting* téthysien.

Les séries sédimentaires affleurant tout autour de la masse salifère s'étale depuis le Barrémien jusqu'au Mio-Plio-Quaternaire ancien ? Elles présentent des épaisseurs réduite au près des dépôts salifères. Ceci est probablement dû au développement d'un système de *rollovers* antithétiques et synthétiques au Sud de la structure du Jebel Ech Cheid. En plus le système est accéléré par l'existence d'un réseau de failles de socle au Nord de la structure salifère : la cicatrice de Téboursouk.

Pour la période Quaternaire, nous proposons un autre scénario pour la simultanéité des failles additives et soustractives relativement dans une même époque :

a.1. La structure du J. Ech Cheid et les limité dans ces abords par deux réseau de failles chevauchantes (Trias sur encaissant).

De plus, elle appartient au domaine de déformation décrochante-compressive [Dlala,1995].

a.2.D'après la carte géologique de M. Dlala & S.Rebai [1994], (Fig. 1.26) et la carte géologique (Fig. 3.1 et Fig. annexe. 27) interprétons la présence simultanée des deux types de réseau par la création d'un système d**'une structure en « queue de cheval »** ; ce dispositif rend compte du système de failles de direction NW/SE existant sur le bord sud de la structure du J. Ech Cheid (Fig. annexe. 27) et permet la coexistence des deux types de failles (Fig. 3.5).

a.3. Les failles inverses de l'époque Quaternaire sont le produit d'un mouvement décro-chevauchant du réseau de failles situé sur le bord Sud de la structure du J. Ech Cheid, les failles normales de direction NW/SE correspondent à une structure en queue de cheval.

a.4. Ici nous avons avancé l'existence **d'une part d'un « *rollover* »** (Fig.4.8, Fig.4.9), **d'autre part l'occupation du cœur du « *rollover* » par un système de failles rétro-chevauchant à vergence NW**.

Localité	Contact supérieur et où inférieur de nature « sédimentaire »	Age
Argoub Adama	Inférieur	Albien moyen
Akhouat	Supérieur et inférieur	Albien sup. et Albien inf.
Est Adama	Supérieur	Campanien
Est O. ed Djecha	Supérieur	Campanien
O. Khemis	Inférieur	Aptien
K^{at} Mejenba	Inférieur et supérieur	Albien inf. et Cénomanien
Knana	Inférieur et supérieur	Barrémien-Aptien
Rag^{bit} Mahjebia	Inférieure et supérieur	Campanien
O. el Aouess	Inférieur et supérieur	Barrémien et Aptien
Si Abd-el-Kader	inférieur	Santonien

Tableau. 6.1 Répartition géographique et chronologiques des épisodes d'épanchement du matériel salifère (J. Ech Cheid).

En effet, nous suggérons une chronologie de la cinématique des mouvements de la masse salifère suivante :

i. A l'époque du rifting téthysien Trias/Jurassique et la création de bassins sédimentaires en horsts et grabens et ceci à l'image de l'évolution des « diapirs » et des dômes en régime transtensif [Vendeville & Jackson,1992] (Fig.1.4) .

D'après le Tableau.6.1 le premier épanchement a été fait à l'époque Barrémien-Aptien et la dernière ré-sédimentation des roches ductiles s'été faite à l'époque santonienne.

Le J. Ech Cheid peut être considéré comme un **dôme de sel** en régime distensif dont la vôute a periodiquement laissé s'épancher dans le bassin adjacent par des failles normales ouvertes des masses de matériel triasique. Le tout a été repris en compression et progressivement été inversés tectoniquement à partir du Crétacé supérieur, mais surtout avec le tertiaire.

En revanche, la proposition du dôme de sel a été avancée par V. Perthuisot [1972] qui avance une cinématique dont le moteur essentiel est l'inversion du gradient de densité. Alors que notre proposition de modèle multi approche (Fig.5.1et Fig.6.2) (Bibliographie récente, terrain, géophysiques et cartographie) propose une autre évolution avec le moteur principale c'est la tectonique transtensive à l'image des structures salifères de la marge Angolaise, ouest Guinienne, le Golfe du Mexique.. [Guglielmo et al.,1998, 2000, Fort et al.,2004] (Modèles reproduit p.25-26). Dans la mesure ou les contacts sédimentaires Trias/encaissant débutent depuis l'époque barrémienne, nous proposons le modèle de **« glacier de sel » composite** à l'image des structures enregistrées dans le Golfe du Mexique en subsurface et à l'Ouenza à l'Est Algérien à l'affleurement [Vila *et al.*,1996b] (Fig.6.2).

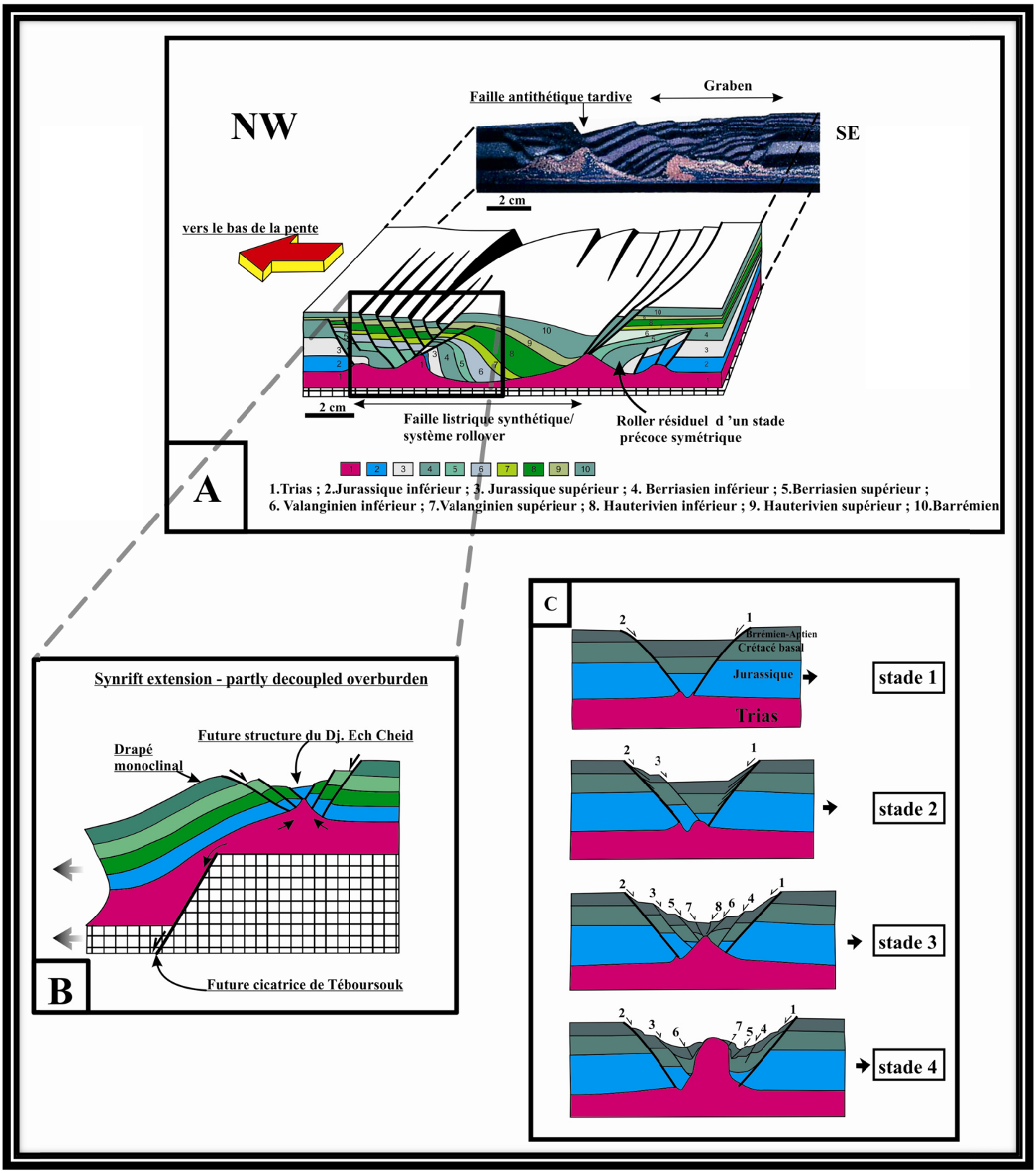


Fig. 6.1 Essai de modélisation de l'appareil salifère du Jebel Ech Cheid A : passage latéral d'un *rollover* synthétique à un *rollover* antithétique inspiré de Mauduit & Brun [1998], B : extension synrift avec la création d'un monoclinal de drapage au-dessus d'une faille normale basale, C : cinématique de la future structure du Jebel Ech Cheid en B d'après Jackson & Vendeville [1994].

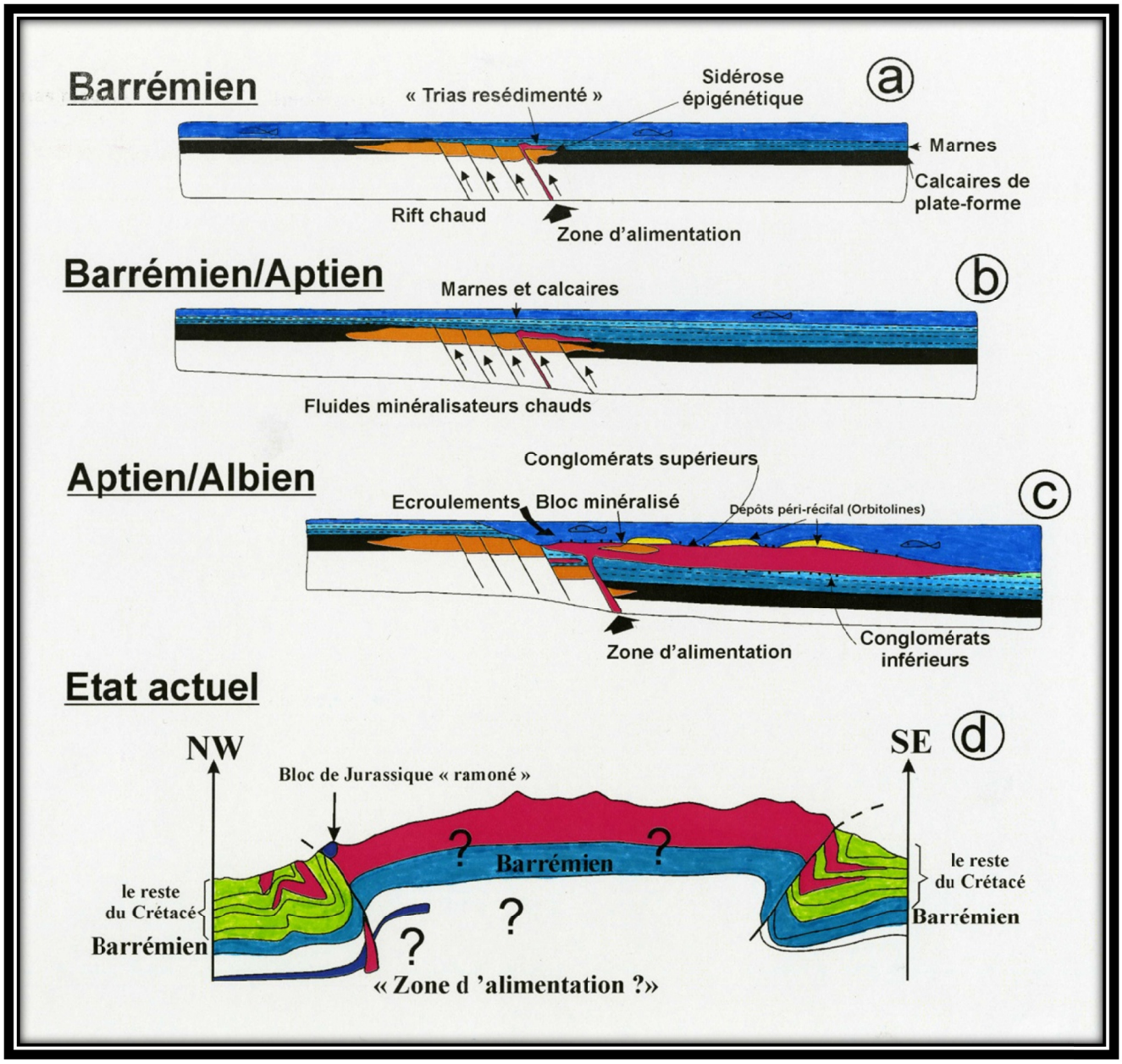


Fig.6.2 Scénario de mise en place du « glacier de sel » du J. Ech Cheid d'après les données fournies dans ce travail et inspiré depuis Vila et al [1996]. a : stade de resédimentation aux cours du Barrémien ; b : stade de remobilisation aux cours du Barrémien/Aptien ; c : stade Aptien/Albien ou on assiste au maximum d'épanchement du matériel salifère ; d : état actuelle après les phases compressives tertiaires et quaternaires.

- **Structure Jebel Chitana/ed Djebs**

Au Nord de la Tunisie, près de Testour/Slouguia, nous avons collecté de nouvelles observations et données biostratigraphiques. À la lumière de ces apports, il est possible de mieux interpréter la relation entre le sel triasique et les séries mésozoïques encaissantes. Auprès de la limite sel/séries encaissantes, on trouve du matériel salifère remanié dans la série marno-argileuse de l'Albien inférieur(Tableau.2.4). Dans tout le secteur, le Jurassique est absent. Nous proposons d'interpréter la mise en place du sel triasique de la structure de Chitana-Ed Djebs,

d'une manière gravitationnelle dans une marge passive à l'Albien, à l'image des corps salifères de la province salifère du Gulf Coast du Mexique. Un schéma rétro-tectonique de la structure salifère Chitana-Ed Djebs durant l'Albien (Fig.5.2), montre que cette mise en place s'est effectuée sur une paléo-pente sous-marine. En outre, on établit les indices de l'amorce de l'inversion tectonique post-campanienne et son paroxysme de l'Éocène moyen à supérieur. Cette dernière est clairement fossilisée par la discordance de l'Éocène moyen-Lutétien sur les séries albiennes.

Les interprétations résumées ci-dessus s'appuient sur l'existence d'un système comprenant principalement les trois faits suivant :

- Sédimentation-déformation : dépôts de sel et dépôts de sa couverture originelle-déformation transtensive. Ce qui implique dans un bassin salifère la naissance obligatoire d'une structure salifère.
- Déformation-sédimentation synchrone : cet élément est nécessaire pour la création des structures *rollovers*.
- Glissement gravitaire est généralement couplé à une pente de glissement : c'est un facteur responsable aux épanchements latéraux des roches ductiles.

(02). <u>Application de la théorie de</u> C.J. Talbot & R. Jarvis [1984]

Le produit des (Tableau. 5.1 et Tableau. 5.3) nous amènes à retenir les conclusions suivantes :

La valeur du taux d'extrusion du matériel salifère du Jebel Ech Cheid à l'époque Aptien-Albien inférieur **(≃55mm/an)** est 9 fois plus rapide que le diapir de Qeshm au Sud Iranien [Reyss et al.,1998], 2/3 fois moins rapide que Qum Kuh en Iran centrale [Talbot & Aftabi,2004], 3 et ½ plus rapide que l'appareil du Debadib en Tunisie septentrionale[Talbot,2005], 7 fois plus rapide le diapir de Sedom en Palestine occupée[Frumkin,1994], 1/18 fois moins rapide Kuh-e-Jahani dans les chaines de Zagros [Talbot et al.,2000] et 3 fois plus rapide que la structure de Chitana ed Djebs en Tunisie septentrionale . Il est encore 400 fois prompt que le plus rapide des dépôts moyenne de l'époque du Barrémien-Aptien (Tableau. 5.3).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABBES C. (1983). –Etude structurale du J. Touila- Extrémité septentrionale du chaînon N-S Sidi Kalif-Nara-El Haoujeb.– Unpublished, Thèse,Univ. Tunis el Manar, Faculté des Sciences.

ADIL S., ALOUANI R. & TLIG S. (1992).– Association of extensional structures and turbidites : proof of inter-Tethys movements in the Upper Triassic of northern Tunisia.– *Notes du Service Geologique Tunisie,* **59** 9-17.

BAIRD A. W., GRANT G. G., GROCOTT J., MANN A., MOODY R. T. J., SANDMAN R. & WRIGHT D. K. (1989).– Report on the structural geology and petroleum potential of the Atlas region of northwest Tunisia.–, Kingston Geological Services, 181p.

BAJANIK S. & BIELY J. (1973).– Geolgical map of Tunisia, Oued Zargua.– Tunisian geological Survey, Tunis, Quadrangle Map n° 26.

BAJANIK S. & SALAJ J. (1971).– Données nouvelles sur la zone de cicatrice de la région d'Oued Zarga (Tunisie septentrionale).– *Note service géologique Tunisie,* **32**, 3-23.

BAJANIK S. & SALAJ J. (1972).– Néogène sous faciès bou Sefra entre Téboursouk et Medjez el Bab (Tunisie septentrionale).– *Note du service géologique Tunisie,* **38**, 121-135.

BALDSCHUHN R., BEST G. & KOCKEL F. (1991). –Inversion tectonics in the north-west German basin.– In: *" Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons"* (edited by M., S. A.) European Association of Geoscientists, Spec.Pub. **1**, 149-159, Oxford University Press, Oxford,U.K.

BÉDIR M., ZITOUNI L., BOUKADI N., SAADI J., ALOUANI R., BEN TIMZAL F., TLIG S. & BOBIER C. (2000).– Rifting, halocinèse et structuration des bassins péri-tethysiens jurassique et crétacé inferieur de subsurface du domaine atlasique central de la Tunisie (région de Gafsa-Sidi Ali Ben Aoun).– *Africa Geos. Rev. ,* **7**,(3), 289-306.

BEL HAJ A., CHIHI L. & RABHI M. (1998).– Le Néogène de Tunisie. Analyse comparative des séries stratigraphiques et rôle de la tectonique et de l'halocinèse dans la genèse des bassins.– *Mém. E.T.A.P. ,* **6**, 59-76.

BEL KAHLA A., SOUSSI M. & BOSENCE D. W. J. (2007).– Early Jurassic (Sinemurian) shallow carbonate platform and associated peritidal cycles of Atlas Tunisia :sedimentary characteristics and controlling factors (eustasy and/or tectonics?).– In: *13th Bathurst Meeting of Carbonate Sedimentologists*, University of East Anglia, Norwich, U.K. , Abstracts, p. 44.

BEN ASSI R. (2009). –Etude géophysique et géologique de structures salifères dans la zone des diapirs en Tunisie septentrionale.– Unpublished, Univ. Tunis-El Manar II.

BEN ASSI R., JALLOULI C., HAMMAMI M. & TURKI M.-M. (2006a).– The structure of Jebel El Mourra, Tunisia: a diapiric structure causing a positive gravity anomaly.– *Terra Nova,* **18**, 432–439.

BEN ASSI R., JALLOULI C. & TURKI M.-M. (2006b).– Analyse des données gravimetriques du Jebel Cheid (Atlas Tunisien septentrional).– In: *Le troisième colloque Maghrébin de Géophysique Apliquée*, Oujda, Maroc, 114-115.

BEN FERJANI A., BUROLLET P.-F. & MEJRI F. (1990).– *Petroleum geology of Tunisia*.– E.T.A.P.

BEN SLAMA M.-M. (2004). –Etude géologique des régions de J. ed Djebs,J. Chitana et Sene ed Djemel (environs de Testour, Tunisie septentrionale) relation structurale du Trias et des séries encaissantes.– Unpublished, D.E.A., University Tunis El ManarII, 116pp.

BEN SLAMA M.-M., GHANMI M., BEN YOUSSEF M., MASROUHI A., KASSAA S. & ZARGOUNI F. (2006).– Présence au Jebel Ech Cheid, à 20 Km au Sud de Téboursouk, de matériel triasique interstratifié dans le Crétacé inférieur.– In: *5ème réunion du Groupe Marocain du Permien et du Trias* 26-29 Avril El Jadida, Maroc.

BEN SLAMA M.-M., MASROUHI A., GHANMI M., BEN YOUSSEF M. & ZARGOUNI F. (2009).– Albian extrusion evidences of the Triassic salt and the clues of the beginning of the Eocene atlasic phase from the example of the Chitana-Ed Djebs structure (N.Tunisia) : Implication in the North African Tethyan margin recorded events, comparisons.– *Comptes Rendus Geoscience,* **341**,(7), 547–556.

BEN YAGOUB J. (1978). –Etude géologique de la région de Bou Arada (Atlas Tunisien).– Unpublished, Thèse Sc.Terre, Univ. Paris VI, p.87.

BERG R. R. & AVERY A. H. (1995).– Sealing properties of Tertiary growth faults, Texas Gulf coast.– *A. A. P. G. Bulltin,* **79**,(3), 375-393.

BOILLOT G. & COULON C. (1999).– *La déchirure continentale et l'ouverture océanique. Géologie des marges passives, 208 p.*– Gordon & Breach Science Publishers, Paris.

BOLZE J. (1950).– Diapirs triasiques et phases orogeniques dans les Monts de Teboursouk.– *C. R. Ac. Sc. Paris,* **231**,(8), 480-482.

BOUAZIZ S., BARRIER E., SOUSSI M., TURKI M. M. & ZOUARI H. (2002).– Tectonic evolution of the northern African margin in Tunisia from paleostress data and sedimentary record.– *Tectonophysics,* **357**, 227– 253.

BOUGHDIRI M., CORDEY F., SALLOUHI H., MAALAOUI K., MASROUHI A. & SOUSSI M. (2007).– Jurassic radiolarian-bearing series of Tunisia: biostratigraphy and significance to western Tethys correlations.– *Swiss j. geosci,* **100**,(3), 431-441.

BOUGHDIRI M., OLORIZ F., LOPEZ MARQUES B., LAYEB M., DE MATOS E. & SALLOUHI H. (2005).– Upper Kimmeridgian and Tithonian Ammonites from the Tunisian "Dorsale" (NE Tunisia): updated biostratigraphy from J. Oust.– *Rivista Italiana di Stratigrafia e Paleontologia,* **111**, 305–316.

BOUGHDIRI M., SALLOUHI H., HADDAD S., CORDEY F. & SOUSSI M. (2009).– Integrated biostratigraphy and regional correlations of Upper Jurassic–lowermost Cretaceous series in northern Tunisia.– *G. F. F.,* **131**, 71–81.

BOUGHDIRI M., SALLOUHI H., MAALAOUI K., SOUSSI M. & CORDEY F. (2006).– Calpionellid zonation of the Jurassic–Cretaceous transition in North-Atlasic Tunisia. Updated Upper Jurassic stratigraphy of the 'Tunisian trough' and regional correlations.– *Compte Rendu Geoscience,* **338**, 1250–1259.

BOUTIB L., MELKI F. & ZARGOUNI F. (2000).– Tectonique synsédimentaire d'âge crétacé supérieur en Tunisie nord orientale : blocs basculés et réorganisation d'aires de subsidences. .– *Bulletin de la Société géologique de France,* **171**,(4), 431-440.

BRUN J.-P. & MAUDUIT T. P. (2008).– Rollovers in salt tectonics: The inadequacy of the listric fault model.– *Tectonophysics,* **457**, 1-11.

BRUN J. P. & FORT X. (2011).– Salt tectonics at passive margins: Geology versus models.– *Marine and Petroleum Geology,* **28**, 1123-1145.

BUROLLET P.-F. (1951).– *Etude géologique des basins Mio-Pliocènes du Nord-Est de la Tunisie : Région entre Mateur, Ferryville et Porto-Farina*.– Ann. Min. Géol. , Tunis, 94pp.

BUROLLET P.-F. (1956).– *Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale*.– Ann. Min. Géol., Tunis,352pp.

BUROLLET P.-F. (1975).– Tectonique en radeaux en Angola.– *Bulletin de la Société géologique de France,* **7**, 503-504.

BUROLLET P.-F. & DARDEL R. (1953).– Levés et interprétation structurale de la région de Téboursouk – Archive inédite, S.N.A.P.

BUROLLET P. F. (1973).– Importance des facteurs salifères dans la tectonique tunisienne.– *Annales des Mines et de la Géologie de Tunisie,* **26**, 111–120.

CAINELLI C. & MOHRIAK W. U. (1999).– Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the eastern Brazilian continental margin. .– *Episodes,* **22**,(3), 206–216.

CHABBI S. (2002). –Etude tectonique, microtectonique et champ de contraintes aux environs de Gafour (Atlas Tunisien central).– Unpublished, D.E.A.,Univ Tunis El Manar II,82pp.

CHIHAOUI A. (2009). –La transgression albienne dans la région de Tajerouine en Tunisie centrale : stratigraphie, sédimentologie et tectonique synsédimentaire.– Unpublished, Thèse, Université Joseph Fourier-Grenoble I, 290pp.

CHIHI L. (1995). –Les fossés néogènes à quaternaires de la Tunisie de la mer pélagienne: leur signification dans le cadre géodynamique de la méditerranée centrale.– Unpublished, Université de Tunis El Manar II,Thèse de Doctorat d'Etat,324pp.

CHIKHAOUI M. (1988). –Succession distension-compression dans le sillon tunisien. Secteur de Nebeur-El Kef, Tunisie du Centre-Nord. Role des extrusions triasiques précoces lors des serrages alpins.– Unpublished, Thèse 3ème cycle, Univ. Nice,143pp.

CHIKHAOUI M., MAAMOURI A.-L., SALAJ J., TURKI M. M., SAADI J., BEN YOUSSEF M., GHANMI M. & ZARBOUT M. (1998).– Tilted blocks during the Early Cretaceous in the Le Kef area (north-westernTunisia).– *Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Paris,* **327**,(4), 265-270.

CORDEY F., BOUGHDIRI M. & SALLOUHI H. (2005).– First direct age determination from the Jurassic radiolarian-bearing siliceous series (Jédidi Formation) of northwestern Tunisia.– *Comptes Rendus Geoscience,* **337**, 777–785.

DALI T. (1979a). –Etude géologique de la régionde Gafour (Atlas Tunisien) – Unpublished, Thèse 3ème cycle, Univ. P.et M. Curie, 94pp.

DALI T. (1979b).– Géologie et tectonique du secteur Sud-Ouest du Djebel Ech Cheid.– *Note du service géologique de Tunisie,* **45**, 19-38.

DALI T. (1994).– Geolgical map of Tunisia, Gaafour.– Tunisian geological Survey, Quadrangle Map n° 40.

DALY K. (1981). –Etude tectonique tangentielle dans les monts de Mejez El Bab.– In: *premier congrès National des sciences de la Terre, .* **Tome 1**, Tunis, 321-331.

DERCOURT J., RICOU L. E. & VRIELINCK B. (1993).– *Atlas Tethys Palaeoenvironmental Maps, Gauthier-Villars*.–, Paris.

DLALA M. (1995). –Evolution géodynamique et tectoniques superposées en Tunisie : Implications sur la tectonique récente et la sismicité.– Unpublished, Thèse d'Etat, Univ.Tunis El Manar II, 389pp.

DLALA M. (2002).– Les manifestations tectono-sédimentaires d'âge Campanien–Maastrichtien en Tunisie : implications sur l'évolution géodynamique de la marge Nord-Africaine. .– *Comptes Rendus Geoscience* **334**, 135–140.

DLALA M. & REBAI S. (1994).– Relation compression-extension Miocène supérieur à Quaternaire en Tunisie : implication sismotectonique.– *C. R. Ac. Sc. Paris,* **319**, 945-950.

DUVAL B., C. CRAMEZ, D. D. SCHULTZ-ELA & JACKSON M. P. A. (1993).– Extension, reactive diapirism, salt welding, and contraction at Cegonha, Kwanza Basin, Angola.– AAPG Hedberg Research Conference on Salt Tectonics, unpaginated.

E.T.A.P. (2002).– Tunisian stratigraphic chart.– E.T.A.P.

EL OUARDI H. (1996). –Halocinèse et rôle des décrochements dans l'évolution géodynamique de la partie médiane de la zone des dômes.– Unpublished, Thèse, Univ. of El Manar II, 242pp. .

EL OUARDI H. & TURKI M.-M. (2000).– Discution sur l'âge et le cadre structural de la sédimentation néogène dans la zone des dômes en Tunisie septentrionale.– *Géologie Méditerranéenne,* **27**,(1), 47-55.

FAURE J.-L. & CHERMETTE J.-C. (1989).– Deformation of tilted blocks, concequences on block geometry and extension mesurement.– *Bull. Soc. géol, France,* **8**,(3), 461-476.

FISHER J. H., BARRATT M. W., DROSTE J. B. & SHAVER R. H. (1988). –Michigan Basin.– In: *Sedirnentary cover-North American Craton: U.S.: Boulder, Colorado* (edited by Sloss, L. L.) Geological Society of America. **Decade of North American Geology, Volume D2**, 361-383.

FLETCHER R. C., HUDEC M. R. & WATSON I. A. (1995). –Salt glacier and composite sediment-salt glacier models for the emplacement and early burial of allochthonous salt sheets.– In: *Salt tectonics : A Global Prespective* (edited by Jackson, M. P. A., Roberts, D.J., Snelson, S.) Amer.Associ.Petrol.Geol. **65**, 77-108.

FORT X., BRUN J.-P. & CHAUVEL F. (2004).– Salt tectonics on the Angolan margin, synsedimentary deformation processes.– *Amer.Associ.Petrol.Geol.,* **11**,(88), 1523–1544.

FRIZON DE LAMOTTE D. (2005).– About the Cenozoic inversion of the Atlas domain in North Africa.– *Comptes Rendus Geoscience* **337**, 475–476.

FRIZON DE LAMOTTE D., SAINT-BEZAR B., BARCENE R. & MERCIER E. (2000).– The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean.– *Tectonics,* **19**,(4), 740-761.

FRUMKIN A. (1994).– Hydrogeology and denudation rates of halite karst.– *Journal of Hydrology,* **162**, 171-189.

GHANMI M. (2003). –Géodynamique de la plate-forme saharienne et de sa marge septentrionale au Crétacé. Son évolution vers l'Atlas septentrional, interférences du rifting et de l'halocinèse.– Unpublished, Habilitation, Univ. Tunis El Manar II, 347pp.

GHANMI M., BEN SALEM H. & BEN HAJ ALI M. (1996).– Aperçu sur la géologie de la Tunisie. Bibliographie géologique et minière de la Tunisie.– *Serv.Géol.Tunisie, p.13-25,* **numéro hors série**.

GHANMI M., BEN YOUSSEF M., JOUIROU M., ZARGOUNI F. & VILA J.-M. (2001).– Halocinèse crétacée au Jebel Kebbouch (Nord-Ouest tunisien) : mise en place à fleur d'eau et évolution d'un « glacier de sel » albien, comparaisons.– *Eclog. Geol. Helv.,* **94**, 153-160.

GHANMI M., MASROUHI A., BEN SLAMA M.-M., KASSAA S., BEN YOUSSEF M., ZARGOUNI F. & J.-M. V. (2005).– Extension du domaine des « glaciers de sel » sous-marins jusqu'aux environs de Tunis : Observations nouvelles, données gravimétriques dans les monts de Medjez El Bab (Tunisie du Nord) Halocinèse crétacée et Halotectonique Tertiaire.– In: *18ème Colloque des Bassins Sédimentaires Marocains,10-11-12 Nov.Fès, p.106-107.*, Fès.

GHANMI M., VILA J.-M., BEN YOUSSEF M., JOUIROU M. & ZARGOUNI F. (2006a).– Diversité des corps salifères du Nord-Est du Maghreb: Les lames et les lentilles

triasiques de Touireuf à Nebeur (Moyen mellègue, Nord-Ouest Tunisien) : Un "Glacier de sel" sous-marin composite et segmenté du Crétacé inférieur ; Intérêt pétrolier.– In: *Procedings of the 10th Tunisian petroleum exploration & production conference* (edited by E.T.A.P.). **10**, Tunis,October 30th-November 3rd, 144-172.

GHANMI M., VILA J.-M., BEN YOUSSEF M., JOUIROU M. & ZARGOUNI F. (2006b).– Variety of north-eastern Maghreb salt bodies : the Triassic sheets and lenses from Touireuf to Nebeur (middle Mellegue River, north-western Tunisia) : An lower Cretaceous submarine " salt glacier", composite and segmented ; petroleum interests.– In: *Exploring deep targets & new areas for more reserves* E.T.A.P., The 10th Tunisian Petroleum Exploraton & Production Tunis.

GUARDADO L. R., GAMBOA L. A. P. & LUCCHESI C. F. (1989). –Petroleum geology of the Campos Basin,Brazil. A model for a producing Atlantic-type basin.– In: *Divergent/Passive Margin Basins* (edited by Edwards, J. D. & Santogrossi, P. A.) American Association of Petroleum Geologists. **Memoir, 48**, Tsula, 3–79.

GUGLIELMO G. J., VENDEVILLE B. C. & JACKSON M. P. A. (1998).– Animations of extensional diapirism overprinted by shortening.– In: *A BEG hypertext multimedia publication on the Internet at:*, http://www.beg.utexas.edu/indassoc/agl/animations/AGL98-MM-006/index.html.

GUGLIELMO G. J., VENDEVILLE B. C. & JACKSON M. P. A. (2000).– 3-D Visualization and Isochore Analysis of Extensional Diapirs Overprinted by Compression.– *A. A. P. G. Bulltin,* **84**,(8), 1095-1108.

GUIRAUD R. (1998). –Mesozoic rifting and basin inversion along the northern African Tethyan margin: an overview.– In: *Petroleum geology of North Africa* (edited by Macgregor, D. S., Moody, R. T. J., Clark-Lowes, D. D.) Geological Society. **132**, London, 217-229.

GUIRAUD R. & BOSWORTH W. (1997).– Senonian basin inversion and rejuvenation of rifting in Africa and Arabia: synthesis and implications to plate-scale tectonics.– *Tectonophysics,* **282**, 39-82.

GUIRAUD R., BOSWORTH W., THIERRY J. & DELPLANQUE A. (2005).– Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview.– *Journal of African Earth Sciences* **43**, 83–143.

HACHANI F. (2006). –Etude géophysique par gravimétrie d'Ech Chehid et de ses environs Tunisie septentrionale, implications structurales.– Unpublished, Univ. Carthage.

HACHANI F., GASMI M., KADRI A., TRABILSI H., KHATTACH D. & ABDERBI J. (2006).– Etude géophysique par gravimétrie du Jebel Ech Cheid et de ces environs (Tunisie septentrionale) implications structurales.– In: *Le troisième colloque Maghrébin de Géophysique Appliquée, 11,12 et 13 Mai,* , Oujda, Maroc, 161-162.

HAFEID M., ATTAFI K., ARSOVSKI M., JANCEVSKI J., DOMURDZANOV N., CHADI M., PANCEVA B., TRABELSI H., ALLOUCHE M. & TURKI M.-M. (1994).– Carte sismotectonique de la Tunisie.– Institut National de Météorologie, Tunis.

HAMDI-NASR I., INOUBLI M.-H., BEN SALEM A., TLIG S. & MANSOURI A. (2009).– Gravity contributions to the understanding of salt tectonics from the Jebel Cheid area (dome zone, Northern Tunisia).– *Geophysical Prospecting,* **57**, 719-728.

HAMMAMI A. (2007). –Modèle tectonique et évolution cinématique des structures de Jebel Mansour à Krechem el Hamar, Tunisie du Nord. Complémentarité de la géologie du terrain et de la sismique.– Unpublished, Ms. Univ. Tunis el Manar II, 132 pp.

HAMMAMI M., BRAHAM A., HATIRA N. & BEN AYED N. (2001).– Potentialités en resources minérales de la partie médiane de la zone des dômes.– *Notes du Service Géologique Tunisie,* **68**, 83-112.

HATIRA N., SAMATI A., MANSOURI A., PERTHUISOT V. & ROUVIER H. (2000).– Le Trias à caractère extrusif de la zone des dômes : exemple de la structure de Débadib-Ben Gasseur (Tunisie septentrionale).– *Bull. Soc. Géol. Fr,* **171**,(3), 319-326.

HEATON R. C., M. P. A. JACKSON, M. BAMAHMOUD & NANI A. S. O. (1996). –Superposed Neogene Extension, Contraction, and Salt Canopy Emplacement in the Yemeni

Red Sea.– In: *Salt tectonics: a global perspective* (edited by M. P. A. Jackson, D. G. R., and S. Snelson) AAPG memoir. **65**, 333-351.

HEBA G. & PRICHONNET G. (2009).– L'instabilité fini-Crétacé-Éocène de la marge passive d'Apulie en Albanie (plate-forme carbonatée de Kruja) et ses impacts sur la sédimentation.– *Bulletin de la Société géologique de France,* **180**,(5), 431-448.

HUDEC M. R. & JACKSON M. P. A. (2006).– Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens.– *Bulletin American Association of Petroleum Geologists,* **90**, 1535–1564.

HUDEC M. R., JACKSON M. P. A. & SCHULTZ-ELA D. D. (2009).– The paradox of minibasin subsidence into salt: Clues to the evolution of crustal basins.– *GSA Bulletin,* **121**,(1/2), 201–221.

INGERSOLL R. V. (1988).– Tectonics of sedimentary basins.– *Bull. Amer.Associ.Petrol.Geol.,* **100**, 1704-1719.

JACKSON M. P. A. (1995). –Retrospective salt tectonics.– In: *Salt tectonics: A global perspective* (edited by M.P.A Jackson, D.G. Roberts & Snelson, S.) American Association of Petroleum Geologists. **Memoir 65**, 1-28.

JACKSON M. P. A., CORNELIUS R. R., CRAIG C. H., GANSSER A., STOCKLIN J. & TALBOT C. J. (1990).– Salt diapirs of the Great Kavir, central Iran.– Geological Society of America.

JACKSON M. P. A. & TALBOT C. J. (1991a).– A glossary of salt tectonics.– *In: Geological Circular 91-4, Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin*, 44pp.

JACKSON M. P. A. & TALBOT C. J. (1991b).– A glossary of salt tectonics.– *The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Geological* **Circular No. 91**, 4-44

JACKSON M. P. A. & TALBOT C. J. (1994).– "Advances in Salt Tectonics".– In: *Continental Deformation* (edited by P.L.Hancock) Pergamon, Oxford, 159-179.

JACKSON M. P. A. & VENDEVILLE B. C. (1994).– Regional extension as a geologie trigger for diapirism.– *Geological Society of America Bulletin,* **106**,(1), 57-73.

JACKSON M. P. A., VENDEVILLE B. C. & SCHULTZ-ELA D. D. (1994).– Structural dynamics of salt systems.– *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.,* **22**, 93-117.

JALLOULI C., CHIKHAOUI M., BRAHAM A., TURKI M.-M., MICKUS K. & BENASSI R. (2005a).– Evidence for Triassic salt domes in the Tunisian Atlas from gravity and geological data.– *Tectonophysics* **396**, 209– 225.

JALLOULI C., CHIKHAOUI M., BRAHAM A., TURKI M.-M., MICKUS K. & BENASSI R. (2005b).– Reply to the discussion by C.J. Talbot on "Evidence for Triassic salt domes in the Tunisian Atlas from gravity and geological data" by C. Jallouli et al.,[Tectonophysics 396 (2005) 209–225].– *Tectonophysics,* **406**, 249– 254.

JAPAN I. C. A. & METAL MINING A. J. (2001).– Report on the mineral exploration in the Krib-Mejez el Bab area the republic of Tunisia (Phase2).–, O.N.M.,Tunis, 524 p.

JAPAN I. C. A. & METAL MINING A. J. (2002).– Report on the mineral exploration in the Krib-Mejez el Bab area the republic of Tunisia (Consolidated report).–, O.N.M.,Tunis, 258 p.

JAUZEIN A. (1967).– Contribution à l'étude des confins de la dorsale tunisienne (Tunisie septentrionale).–. **22**, Tunis, pp.475.

JAUZEIN A. & BERTHE D. (1961).– Carte géologique de la Tunisie, Djebel Mansour.– Serv.Géol.Tunisie, Tunis, Carte n° 41.

JOHNSON K. S., AMSDEN T. W., DENISON R. E., DUTTON S. P., GOLDSTEIN A. G., RASCOE B., JR., , SUTHERLAND P. K. & THOMPSON D. M. (1988). –Southern Midcontinent region.– In: *Sedirnentary cover-North American Craton: U.S.: Boulder, Colorado* (edited by Sloss, L. L.) Geological Society of America. **Decade of North American Geology, Volume D2**, 307-361.

KAMOUN F., PEYBERNÈS B., CISZAK R. & CALZADA S. (2001).– Triassic paleogeography of Tunisia.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* **172**,(1-2), 223-242.

KAMOUN F., PEYBERNES B., MARTINI R., ZANINETTI L., VILA J.-M., A, TRIGUI B. & RIGANE A. (1998).– Associations de foraminifères benthiques dans les séquences de dépôt du Trias Moyen?-superieur de l'Atlas Tunisien central et méridional.– *Geobios,* **31**,(6), 703-714.

KEEN C. E., MACLEAN B. C. & KAY W. A. (1991).– A deep seismic reflection profile across the Nova Scotia continental margin, offshore eastern Canada.– *Canadian Journal of Earth Sciences,* **28**, 1112–1120.

KHOMSI S., BEDIR M., SOUSSI M., BEN JEMIA G.-M. & BEN ISMAIL-LATTRACHE K. (2006).– Mise en évidence en subsurface d'événements compressifs Éocène moyen–supérieur en Tunisie orientale (Sahel) : généralité de la phase atlasique en Afrique du Nord.– *Compte Rendu Geoscience* **338**, 41-49.

KOYI H. A. (1998).– The shaping of salt diapirs.– *Journal of Structural Geology,* **20**,(4), 321-338.

KRÉZSEK C., ADAM J. & GRUJIC D. (2007). –Mechanics of fault and expulsion rollover systems developed on passive margins detached on salt: insights from analogue modelling and optical strain monitoring.– In: *Structurally Complex Reservoirs* (edited by Jolley, S. J., Barr, D., Walsh, J. J., & Knipe, R. J.) Geological Society Special Publications. **292**, London, 103–121.

LADEB M. F. (2006). –Modèles tectoniques d'inversion oblique de grabens : exemples du graben Rhénan Sud supérieur, Sidi El Itayem et le bassin inférieur de Saxe (Données de subsurface), Chambi et Semmama (Données de Terrain) – Unpublished, Thèse Doct. Sci. Géol.Univ. Tunis El Manar II,pp.151.

LADEB M. F., HORRENBERGER J.-C., CAILLEUX Y. & ZARGOUNI F. (1995).– Structures mésoscopiques associées à la distension aptienne en Tunisie centrale (dj. Semmama).– *Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Paris,* **321**, 333-338.

LARIDHI–OUAZAA N. (1994). –Etude minéralogique et géochimique des manifestations volcaniques mésozoïques et miocènes de la Tunisie.– Unpublished, Thèse, Doc. D'Etat, Sci. Géol.Univ. Tunis el Manar II,pp.465.

LARIDHI–OUAZAA N. & DALI T. (1991).– Etude minéralogique des roches volcaniques métamorphisées du Trias diapirique de la Tunisie septentrionale.– *Note du service géologique de Tunisie,* **58**, 101-110.

LE NINDRE Y.-M., GROS Y., ELSASSN P. & SAHLI R. (1984).– Aptian-Albian deposits of the " zone des Dômes" (Northern Tunisia) Stratigraphy and sedimentology of the type section.– In: *Principaux résultats scientifiques et techniques du BRGM. Résumés* (edited by B.R.G.M.), 76-78.

LE PICHON X., BERGERAT F. & ROULET M. J. (1988). –Plate kinematics and tectonic leading to Alpine belt formation: A new analysis.– (edited by Deformation, C. L.) Spec. Pap. Geol. Soc. Am. **218**, 111-131.

MADON H. & NOUVEL J. (1973).– Carte géologique de la région de Koudiat Safra, 1/12 500.– Rapport inedit ,O.N.M. .

MAHJOUB K. & DALI T. (1998).– Carte géologique de la Tunisie, Bou Arada.– Serv.Géol.Tunisie, Feuille et notice n° 34.

MARTINEZ C., CHIKHAOUI M., TRUILLET R., OUALI J. & CREUSOT G. (1991).– Le contexte géodynamique de la distension albo-aptienne en Tunisie septentrionale et centrale: structuration éocrétacée de l'Atlas tunisien.– *Eclogae geol. Helv,* **84**,(1), 61-82.

MASROUHI A. (2000). –Etude géologique et structurale du plateau de Lansarine, Atlas Tunisien Septentrional.– Unpublished, Tunis el Manar.

MASROUHI A. (2002). –Etude géologique et structurale du plateau de Lansarine, Atlas Tunisien Septentrional.– Unpublished, Tunis el Manar.

MASROUHI A. (2006). –Les appareils salifères des régions de Mateur, Tébourba et de Medjez-el-Bab (Tunisie du Nord).– Unpublished, Thèse Doct. Sci. Géol.Univ. Tunis El Manar II, pp258.

MASROUHI A., GHANMI M., BEN SLAMA M.-M., BEN YOUSSEF M., VILA J.-M. & ZARGOUNI F. (2008).– New tectono-sedimentary evidence constraining the timing of the positive tectonic inversion and the Eocene Atlasic phase in northern Tunisia:

Implication for the North African paleo-margin evolution.– *Compte Rendu Géoscience,* **340**,(11), 771-778.

MASROUHI A., GHANMI M., BEN YOUSSEF M., VILA J.-M. & ZARGOUNI F. (2007).– Mise en évidence d'une nappe de charriage à deux unités paléogènes au plateau de Lansarine (Tunisie du nord) : définition d'un nouvel élément structural de l'Atlas tunisien et réévaluation du calendrier des serrages tertiaires. .– *Comptes Rendus Geoscience* **339**, 441–448.

MAUDUIT T. & BRUN J.-P. (1998).– Growth fault/rollover systems: birth, growth, and decay.– *Journal of Geophysical Research,* **103**, 119-136.

MEHDI D., CIRILLI S., BURATTI N. & KAMOUN F., TRIGUI, A. . (2009).– Palynological characterisation of the Lower Carnian of the KEA5 borehole (Koudiat El Halfa Dome; Central Atlas, Tunisia).– *Geobios,* **42**, 63-71.

MODICA C. J. & BRUSH E. R. (2004).– Post rift sequence stratigraphy, paleogeography, and fill history of the deep-water Santos Basin offshore southeast Brazil.– *American Association of Petroleum Geologists Bulletin,* **88**, 923–945.

MOODY R., BROWN A. & LOUCKS B. (1998). –Programme and Field Localities.– In: *Tertiary to Recent Larger Foraminifera:Their Depositional Environments and Importance as Petroleum Reservoirs : Fieldtrip: February 19-24th, 1998 Central and North-West Tunisia* (edited by Grocott, J., Moody, R., Brown, A. and Loucks, R.) ARCO-BG plc-Carthago oil-Chevron. Tunis, 84.

MZALI H. & ZOUARI H. (2006).– Caractérisation géométrique et cinématique des structures liées aux phases compressives de l'Éocène au Quaternaire inférieur en Tunisie : exemple de la Tunisie nord-orientale.– *Comptes Rendus Geoscience,* **338**, 742–749.

NILSEN K. T., B. C. VENDEVILLE & JOHANSEN J.-T. (1995). –Influence of regional tectonics on halokinesis in the Nordkapp basin, Barents Sea.– In: *Salt tectonics: a global perspective* (edited by M. P. A. Jackson, D. G. R., and S. Snelson) AAPG Memoir **65**, 413–436.

NOUVEL J. & NICOLAÏ J. (1966).– Carte géologique du Jebel Ech Cheid.– Archive inédite, O.N.M.

PERTHUISOT V. (1972).– L'évolution structurale d'un diapir Tunisien : Le Djebel Ech Cheid.– *Rev.géog. Phy.et géol..Dynam.,* **XIV**,(2), 145-152.

PERTHUISOT V. (1974).– L'Eocène moyen dans la region de Teboursouk (zone des .diapirs, Tunisie septentrionale) : implications paleogeographiques et structurales.– *Bulletin de la Société géologique de France,* **17**,(7), 319-323.

PERTHUISOT V. (1976).– Un exemple de diapirisme polyphasé en Tunisie: le Djebel Lorbeus.– *Géologie. Méditerranéenne* **VI**,(4), 465–476.

PERTHUISOT V. (1978a).– Carte géologique de la Tunisie Téboursouk 1: 50 000.– Feuille n° 33, Office National des Mines.

PERTHUISOT V. (1978b). –Dynamique et pétrogenèse des extrusions triasiques en Tunisie septentrionale.– Unpublished, Presse de l'Ecole normale supérieure.

PERTHUISOT V. (1978c).– Geolgical map of Tunisia, Téboursouk.– Tunisian geological Survey, Quadrangle Map n° 33.

PERTHUISOT V. (1981).– Diapirism in Northern Tunisia.– *Journal of Structural Geology,* **3**,(3), 231-235.

PERTHUISOT V. & SALIOT P. (1976).– Paragenèses métamorphiques dans les carbonates des diapirs triasiques de Tunisie. Contribution à l'étude de l'association phlogopite-phengite.– *Rev.géog. phys.et géol.dynam.,* **XVIII**,(4), 313-322.

PERVINQUIERE L. (1903).– *Etude géologique de la Tunisie centrale*.–, Paris, pp.360.

PETERSON J. A. (1988). –Phanerozoic stratigraphy of the northern Rocky Mountain region.– In: *Sedirnentary cover-North American Craton: U.S.: Boulder, Colorado* (edited by Sloss, L. L.) Geological Society of America. **Decade of North American Geology, Volume D2**, 83-109.

PEYBERNES B., KAMOUN F., DURAND-DELGA M., FAURE P., DOMMERGUES J.-L., VILA J. M., CUGNY P. & BEN YOUSSEF M. (1996).– Le Jurassique et le Crétacé basal de la

Tunisie Nord-occidentale: essai de correlations avec les séries de la dorsale tunisienne et de la "ride" Amar-Djédeida – *C. R. Ac. Sc. Paris,* **323**, 153-162.

PINI S., SALAJ J. & (1969).– Découverte de Jurassique à l'Ouest de Medjez-el-Bab (Tunisie septentrionale).– *Notes Serv. Géol. Tunisie,* **31**, 25-35.

PIQUÉ A. (2001).– *Geology of Northwest Africa*.–, Engl. text by M.S.N.Carpenter, Berlin, Stuttgart: Borntraeger, 310p.

POSEPNY F. (1871).– Studien aus dem Salinargebiete Siebenbürgens: Kaiserlich-Këniglichen.– *Geol. Reich. Iahrbuch,* **21**, 123-186.

RAIS J., GAYA S., ALOUANI R., MOUGUINA E. M. & TLIG S. (1991).– Le sillon tunisien : structuration synsédimentaire jurassique. Rift avorté et cicatrisé au Dogger supérieur-Malm, à la marge SE de la Téthys maghrébide.– *Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Paris,* **312**,(10), 1169-1175.

REBAÏ S. (1992). –Sismotectonique et champ de contrainte dans les chaînes alpines et dans les plates-formes de l'Europe, d'Afrique du Nord, et du Moyen-Orient.– Unpublished, Thèse Doct. Sci. Géol.Univ.Sci.Tech.Languedoc, 214pp.

REBAÏ S. (1993).– Recent tectonics in Northern Tunisia: coexistence of compressive and extensional structures.– *Annales Tectonicae,* **VII** (2), 129-141.

REBAÏ S., PHILIP H. & TABOADA A. (1992).– Modern tectonic stress field in the Mediterranean region: evidence for variation in stress directions at different scales.– *Geophys. J. Int.,* **110**, 106-140.

REYSS J. L., PIRAZZOLI P. A., HAGHIPOR A., HATTE C. & FONTUGNE M. (1998). –Quaternary marine terraces and tectonic uplift rates on the south coast of Iran.– In: *Coastal Tectonics* (edited by Stewart, I. S., Vita-Finzi,C.) Spec. Publ.-Geol. Soc. London. **146**, 225– 237.

ROUVIER H. (1977). –Géologie de l'extrême nord-tunisien: tectoniques et paléogéographies superposées à l'extrémité orientale de la chaîne nord-maghrébine.– Unpublished, Thèse d'Etat, Univ. Pierre-et-Marie-Curie, 898 pp. .

SAINFELD P. (1952).– Les gites plombo-zincifères de Tunisie.– Ann. Mines Géol, Tunis, 285.

SALAJ J. & BAJANIK S. (1972).– Contribution à la stratigraphie du Crétacé et du Paléogène de la région de l'Oued Zarga – *Note service géologique Tunisie,* **38**, 63-71.

SALLOUHI H. (2008). –Biostratigraphie intégrée du Malm-Berriasien moyen du «Sillon Tunisien» (Tunisie septentrionale). Paléobiodiversité et évolution des marqueurs.– Unpublished Ph.D. thesis, University of Tunis-Carthage, Tunisia.

SASSI S., BOUHLEL S., SASSI B. A. & SOUAYED M. (1991).– Etude et Modèle de dépôt des grès de I'Aptien et de l' Albien de Tunisie Septentrionale, zone des diapirs.– (edited by report, O. N. M. i.), Tunis, O.N.M. inedite report, 129.

SIAL GEOSCIENCES INC. (1998).– Gravimétrie en Tunisie (feuillets au 1:50 000: Béja, Oued Zargua, Gafour, Ouergha, Le Kef et Tadjérouine. Rapp. int. Office National des Mines. inéd., Tunis.–.

SKILLING I. P., WHITE J. D. L. & J. M. (2002).– Peperite: a review of magma-sediment mingling.– *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **114**,(17).

SOLIGNAC M. (1923a).– Feuille de Makthar 1: 200 000 – S.G.A.

SOLIGNAC M. (1923b).– Feuille de Tunis 1: 200 000.– S.G.A.

SOLIGNAC M. (1925).– *Les recherches de pétrole en Tunisie*.–, Paris.

SOLIGNAC M. (1927).– *Etude géologique de la Tunisie septentrionale*.– Serv. Mines Dir. Gén. Trav. Publ., Tunis.

SOUQUET P., PEYBERNES B., SAADI J., BEN YOUSSEF M., GHANMI M., ZARBOUT M., CHIKHAOUI M. & KAMOUN F. (1997).– Séquences et cycles d'ordre 2 en régime extensif et transtensif : exemple du Crétacé inférieur de l'Atlas tunisien.– *Bull., Soc., Géol., Fr.,* **168**, 373-386.

STAMPFLI G. M. & BOREL G. D. (2002).– A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons.– *Earth and Planetary Science Letters,* **196**, 17-33.

STAMPFLI G. M., BOREL G. D., MARCHANT R. & MOSAR J. (2002).– Western Alps geological constraints on western Tethyan reconstructions. In: Rosenbaum, G. and Lister, G. S. 2002. Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen.– *Journal of the Virtual Explorer,* **7**, 75-104.

TALBOT C. J. (1993).– Spreading of salt structures in the Gulf of Mexico.– *Tectonophysics* **228**, 151–166.

TALBOT C. J. (2005).– "Evidence for Triassic salt domes in the Tunisian Atlas from gravity and geological data" by C. Jallouli et al.,Tectonophysics 396 (2005) 209–225.– *Tectonophysics,* **406**, 249– 254.

TALBOT C. J. & AFTABI P. (2004).– Geology and models of salt extrusion at Qum Kuh, central Iran.– *J. Geol. Soc. (Lond.),* **161**, 321– 334.

TALBOT C. J. & JACKSON M. P. A. (1987).– Internal kinematics of salt diapirs.– *A. A. P. G. Bulltin,* **71**,(9), 1068-1093.

TALBOT C. J. & JARVIS R., J. (1984).– Age, budjet and dynamics of an active salt extrusion in Iran.– *Journal of structural geology,* **6**, 521-533.

TALBOT C. J., MEDVEDEV S., ALAVI M., SHAHRIVAR H. & HEIDARI E. (2000).– Salt extrusion rates at Kuh-e-Jahani, Iran : June 1994 to November 1997.– *Sepc. Publ. Geol. Soc. London,* **174**, 93-110.

TARI G. C. & MOLNAR J. (2006).– Correlation of syn-rift structures between Morocco and Nova Scotia, Canada.– In: *25th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference, Extended Abstract CD*, 132–150.

TRUSHEIM F. (1960).– Mechanism of salt migration in Northern Germany.– *Bull.Amer. Associ. Petrol. Geol.,* **44**, 1519-1540.

VAL D'OR SAGAX INC. (1997).– Gravimétrie en Tunisie (feuillet au 1:50 000: Téboursouk. Rapp. int. Office National des Mines. inéd., Tunis.–.

VENDEVILLE B. C. & JACKSON M. P. A. (1992).– The rise of diapirs during thinskinned extension.– *Marine Petroleum Geology,* **9**, 331–353.

VENDEVILLE B. C. & NILSEN K. T. (1995).– Episodic growth of salt diapirs driven by horizontal shortening.– In: *GCSSEPM Foundation 16th Annual Research Conference : Salt, Sediment and Hydrocarbons*, 285–295.

VIALLY R., LETOUZEY J., BENARD F., HADDADI N., DESFORGES G., ASKRI H. & BOUDJEMA A. (1994). –Basin inversion along the North African Margin the Saharan Atlas (Algeria).– In: *Peri-tethyan Platforms* (edited by Roure, F.) Technip Edition. Paris, 79-118.

VILA J.-M., BEN YOUSSEF M., CHIKHAOUI M. & GHANMI M. (1996a).– Un grand "glacier de sel" sous marin albien du Nord-Ouest tunisien (250 km2 ?) : le matériel salifère triasique du « diapir » de Ben Gasseur et de l'anticlinal d'El Kef.– *Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Paris,* **t.322**,(Sér. II a), 221-227.

VILA J.-M., GHANMI M., BEN YOUSSEF M. & JOUIROU M. (2002).– Les "glaciers de sel" sous marins des marges continentales passives du nord-est du Maghreb (Algérie-Tunisie) et de la Gulf Coast (USA) : comparaisons, nouveau regard sur les « glaciers de sel » composites, illustré par celui de Fedj el Adoum (Nord-Ouest tunisien) et revue globale. .– *Eclog. Geol. Helv.,* **95**, 347-380.

VILA J.-M., KASSAA S., BOUHLEL S., BEN YOUSSEF M., DALI T. & GHANMI M. (1999).– Inversion tectonique de structures halocinétiques et localisation des minéralisations (Zn, Sr) : émergence au jebel Bou Khil (Nord-Ouest tunisien) d'un chevauchement entre un domaine nord à «glaciers de sel» sous-marins et un domaine sud à « diapirs typiques ».– *Bulletin de la Société géologique de France,* **170**,(2), 161-172.

VILA J. M. (1995).– Première étude de surface d'un grand "glacier de sel" sous-marin : l'est de la structure Ouenza-Ladjebel-Meridef (confins algéro-tunisiens). Proposition d'un scénario de mise en place et comparaisons.– *Bull. Soc. géol, France,* **166**,(2), 149-167.

VILA J. M. (1997).– Définition des structures halocinétiques du 3ème type : Les dômes de sel-plis du Sud-est constantinois (Anticlinaux à coeur salifère et à amincissements synsédimentaires antérieurs) (Poster).– In: *Les Marges Téthysiennes d'Afrique du Nord* Séance spécialisée de la Société Géologique de France, du Groupe

Français du Crétacé et de la Société Géologique d'Algérie, Maison de la Géologie, Paris, 93-94.

VILA J. M. (2000).– *Dictionaire de la tectonique des plaques et de la géodynamique*.– S.G.F.Collection Géosciences, Gordon and Breach Science, 542 p.

VILA J. M., BEN YOUSSEF M., CHIKHAOUI M., GHANMI M. & KECHID-BENKHEROUF F. (1996b). –Les grands "glaciers de sel" sous marins albiens des confins algéro-tunisien.– In: *Proceedings of the 5th Tunisian petroleum exploration conference* (edited by E.T.A.P.) E.T.A.P., Tunis, Octobre 15th-18th, 273-322.

VILLE L. (1856).– Notice géologique sur les salines des Zahrez et les gites de sel gemme de Rang el Meleh et d'Ain Hadjera (Algerie).– In: *Annales des Mines*. **15**, 351-410.

WADE J. A. & MACLEAN B. C. (1990). –The geology of the southeastern margin of Canada.– In: *Geology of Continental Margin of Eastern Canada* (edited by Keen, M. J. & Williams, G. L.) Geological Survey of Canada. **2**, 167–238.

WALKER J. D. & GEISSMAN J. W. (2009).– Geologic Time Scale.– *Geological Society of America Bulletin*.

XIAO H. & SUPPE J. (1992).– Origin of rollover.– *A. A. P. G. Bulltin,* **76**,(4), 530-546.

ZAIER A., BEJI-SASSI A., SASSI S. & MOODY R. T. J. (1998). –Basin evolution and deposition during the Early Paleogene in Tunisia.– In: *Petroleum Geology of North Africa* (edited by Macgregor, D. S., Moody, R. T. J. & Clark-Lowes, D. D.) Geological Society, London, Special Publication **132** 375-393.

ZARGOUNI F. (1977).– Etude des mouvements ascensionnels du complexe triasique dans la chaine de Lansarine (Atlas Tunisien-Zone des “Diapirs”.– *Note du service géologique de Tunisie,* **43**, 13-21.

ZARGOUNI F. (1986).– *Tectonique de l’Atlas méridional de Tunisie : évolution géométrique et cinématique des structures en zone de cisaillement*.–, 304 p.

ZIEGLER P. A. (1983). –Inverted basins in the Alpine foreland.– In: *Seismic Expression of Structural Styles, Inverted Extensional Features* (edited by Bally, A. W.)

Bull.Amer.Associ.Petrol.Geol., Tulsa, Studies in Geology, Ser. 15, vol.3, p.8-10, Tsula.

ZIEGLER P. A. (1989). –Geodynamic model for Alpine intra-plate compressional deformations. Western and Central Europe.– In: *"Inversion Tectonics"* (edited by Cooper, M. A. & Williams, G. A.) Geol. Soc. Sp. Publ. **44**, London, 63-85, London, U.K.

ANNEXES

ANNEXE

Les données des forages miniers

Les données de puits miniers ont été fournies par l'office National des Mines (O.N.M.). Nous avons pu ré-échantillonné quatre nouveaux forages fait par l'O.N.M. et Japan & Metal mining (2000, 2001, 2002): MJTKL1, MJTKL2, MJTKL5, MJTKC1. Néanmoins, les forages MJTKL3, MJTKL4, MJTKC2 et MJTKA1 seront présenté en coupes géologiques extraites des rapports internes de l'O.N.M. Aussi on va présenter quelques anciens forages miniers et coupes interprétatives des forages : SA1, SA2, SA3, SA4 et SA5 extraits de rapports inédits O.N.M. [Perthuisot,1978b, Hammami et al.,2001] .

I. Les forages miniers

a. Le forage MJTK-L1, 399.5 m

Le profil dessiné par [Japan & Metal mining,2002] montre que le forage MJTK-L1 passe en partie par une formation présumée aptiennes. En revanche notre examen des carottes du forage montre qu'il s'agit dans sa totalité du matériel triasique.

Le forage MJTK-L1 (

Fig.2.4) présente de haut en bas 150 mètres de gypses 180 mètres de marnes et argiles noires triasiques à nos yeux et une série gréseuse d'environs 50 mètre.

Il se termine par une série gypseuse à la base. La lithologie du MJTK-L1 permet une corrélation avec des coupes lithostratigraphiques faites par [Kamoun et al.,1998, Kamoun et al.,2001, Mehdi et al.,2009] dans les sédiments triasiques. Ceci nous permet d'attribuer la colonne du MJTK-L1 au **Rhétien/ Norien** (

Fig.2.4).

b. Le forage MJTK-L2 : 383.6 m

Le forage débute par une série marno-calcaire clair attribué au Turonien (Fig. annexe. 2): série qui ne dépasse pas les sept mètres. Les séries sous-jacentes présentent une alternance de marno-calcaires attribué au Cénomanien ; épaisse de 147 mètres. La série cénomanienne se inférieure est dominer par un niveau très riche en *heterohelix* caractérisant la limite Cénomanien/Albien Supérieur (la base de la formation Bahloul en Tunisie Centro-septentrionale). Ensuite, le forage traverse une série épaisse attribué à l'Albien épaisse de 237 mètres, série caractérisée essentiellement par une alternance marno-calcaire.

Mais encore, d'après la géométrie présentée dans le profil ci-dessous (Fig. annexe. 1) on peut avancer une couverture d'âge Albien du matériel triasique.

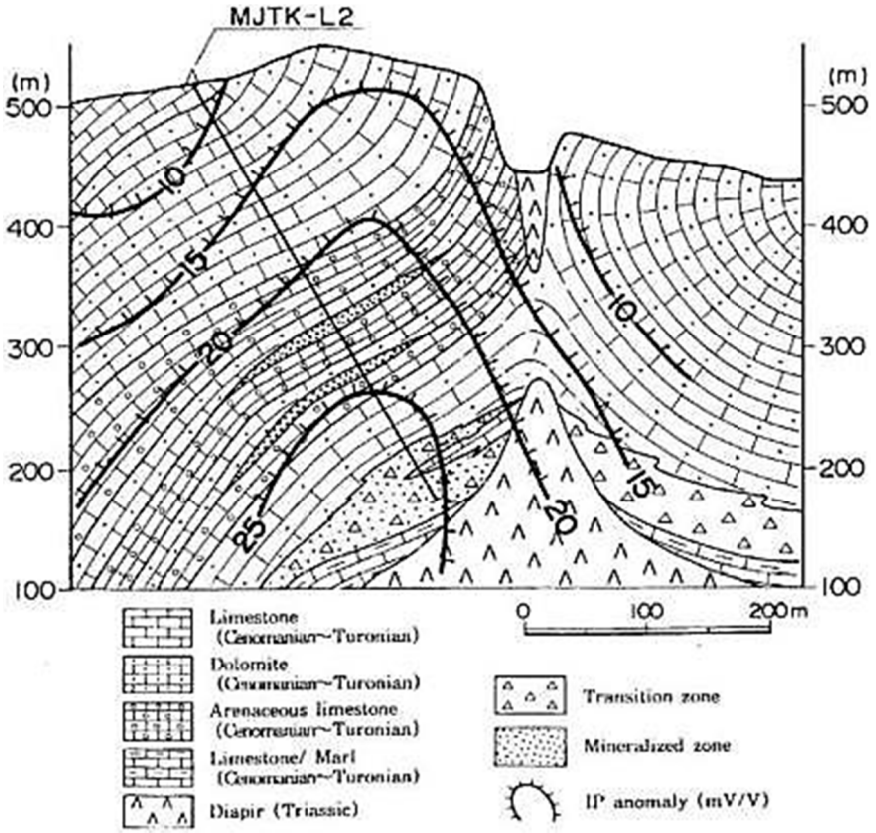


Fig. annexe. 1 Profil géologique passant par les forages MJTKL2 [Japan & Metal mining,2001]

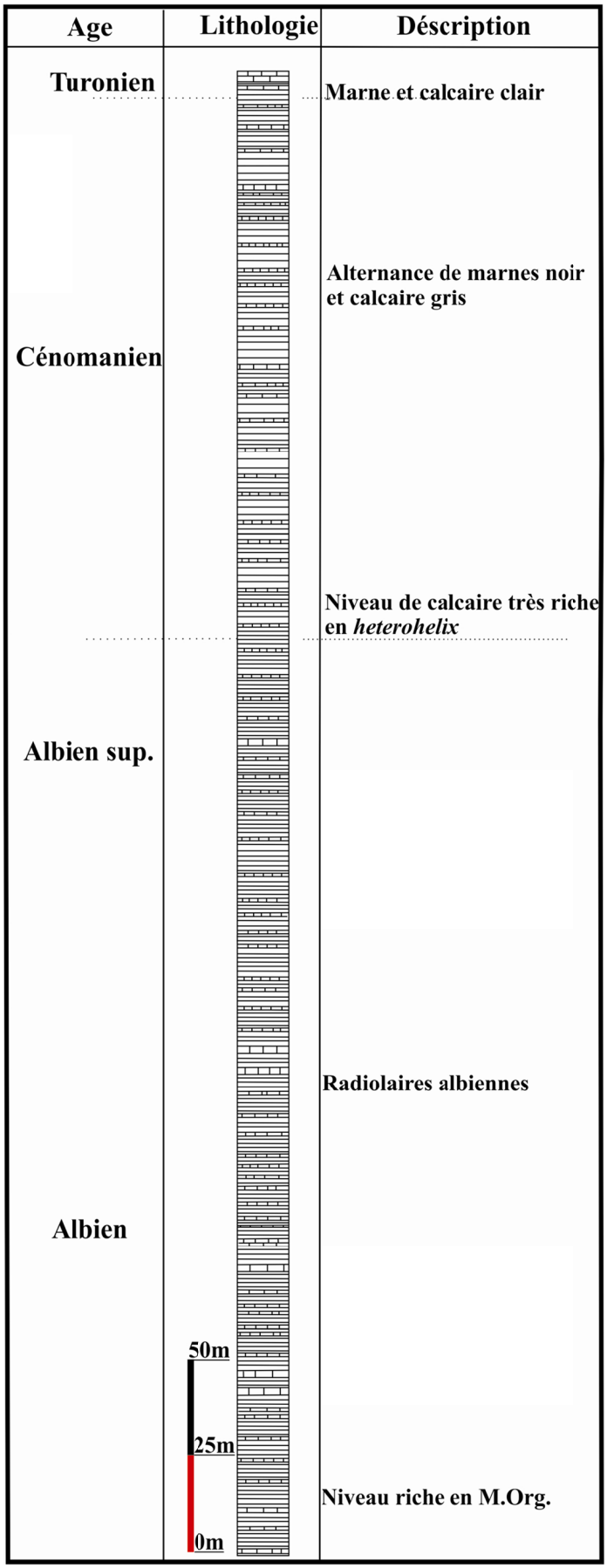


Fig. annexe. 2 Représentation lithostratigraphique du forage MJTKL2

c. Le forage MJTK-L5 245.1 m

Le forage débute par une alternance marno-calcaire de 18 mètres d'épaisseur attribué au Cénomanien. Ensuite on trouve une alternance de marnes et calcaires riche en matière organique d'épaisseur ne dépasse pas les 40 mètres attribué au Vraconien. Puis, on observe, une série d'alternance de marno-calcaire de l'Albien supérieur soit 187 mètres.

A la différence de l'attribution de la société Japonaise (Fig. annexe. 3), nous avons pu mettre en évidence une nouvelle datation biostratigraphiques (Fig. annexe. 4).

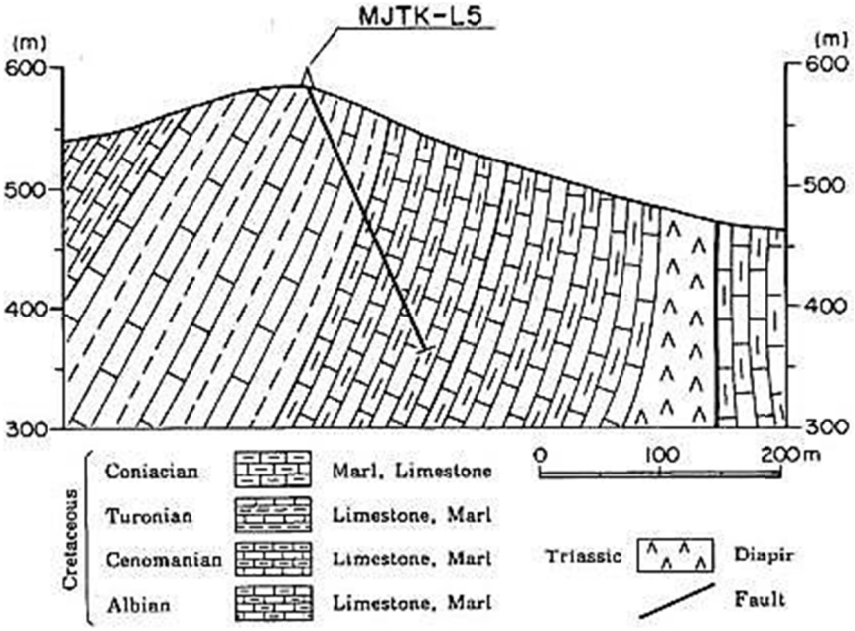


Fig. annexe. 3 Profile géologique passant par les forages MJTKL5 [Japan & Metal mining,2001]

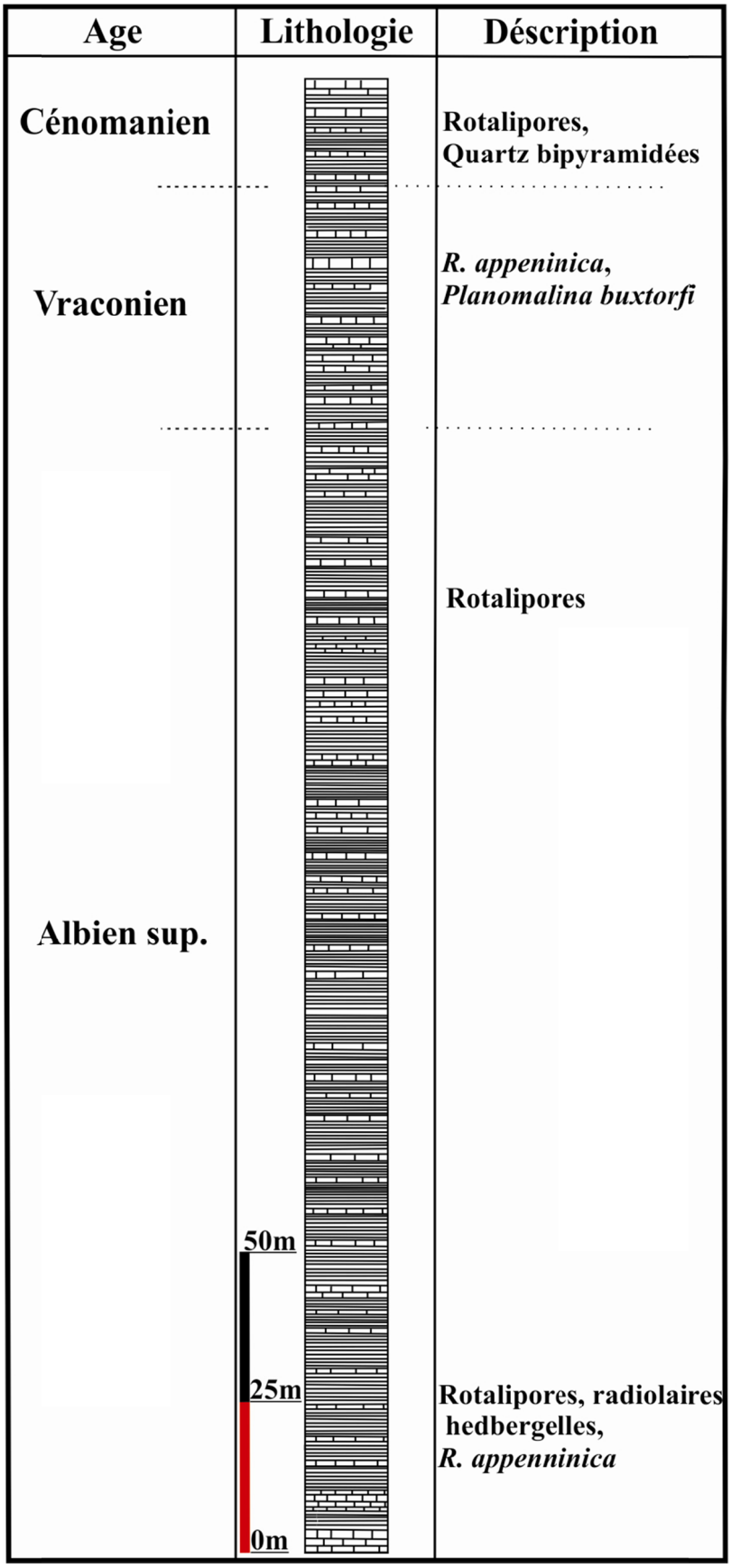


Fig. annexe. 4 Représentation lithostratigraphique du forage MJTKL5

d. Le forage MJTK-C1, 310.2 m

Le forage commence par une vingtaine de mètres de conglomeras, sol argileux du Quaternaire récent. Ensuite, on observe une alternance de bancs grèseux et grès micritiques soit 118 mètres d'épaisseur attribué à l'Aptien. Puis on trouve une alternance marno-calcaire à influence détritique attribuée à l'Albien inférieur (Fig. annexe. 5).

Dans un autre côté, le profil présenté par les travaux miniers récents présente la succession suivante : de haut en bas :

Quaternaire/ Aptien/Faille/Albien/Cénomanien/Faille/Aptien/Albien/Cénomanien.

Par suite, nous allons présenter notre interprétation en se basant sur les nouvelles datations biostratigraphiques (Fig. annexe. 6), il s'agit de haut en bas pour la localisation du forage voir (Fig. annexe. 19) :

- une assise de conglomérats polygénique d'environ 23 mètres d'épaisseur : il s'agit du Quaternaire.
- une alternance de micrite gréseuse et grès biomicritique d'environ 118 mètres attribué à l'Aptien
- alternance de marnes grèseuses riche en matière organique et de minces bancs de calcaires noires ayant une épaisseur d'environ 168 mètres, cette alternance est attribué à l'Albien inférieur.

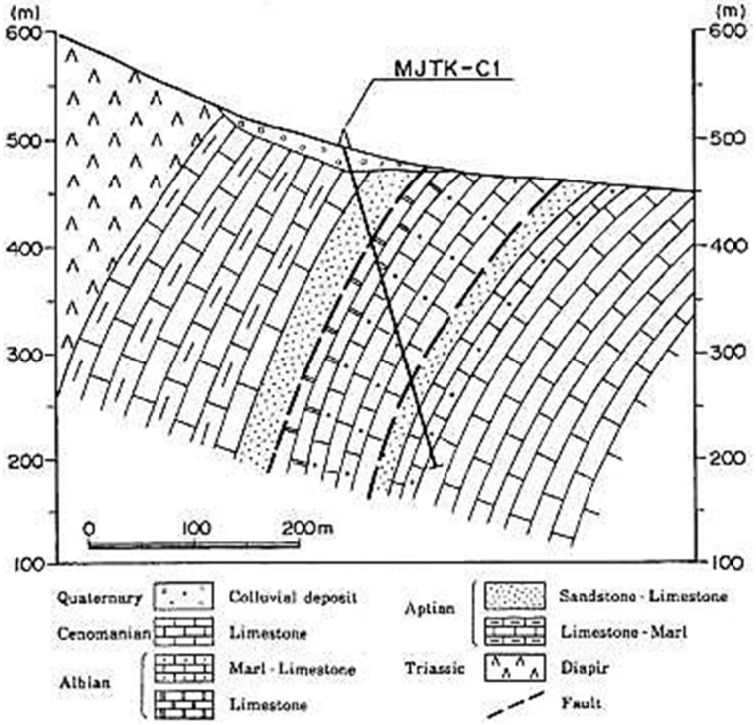


Fig. annexe. 5 Profil géologique passant par les forages MJTKC1 [Japan & Metal mining,2001]

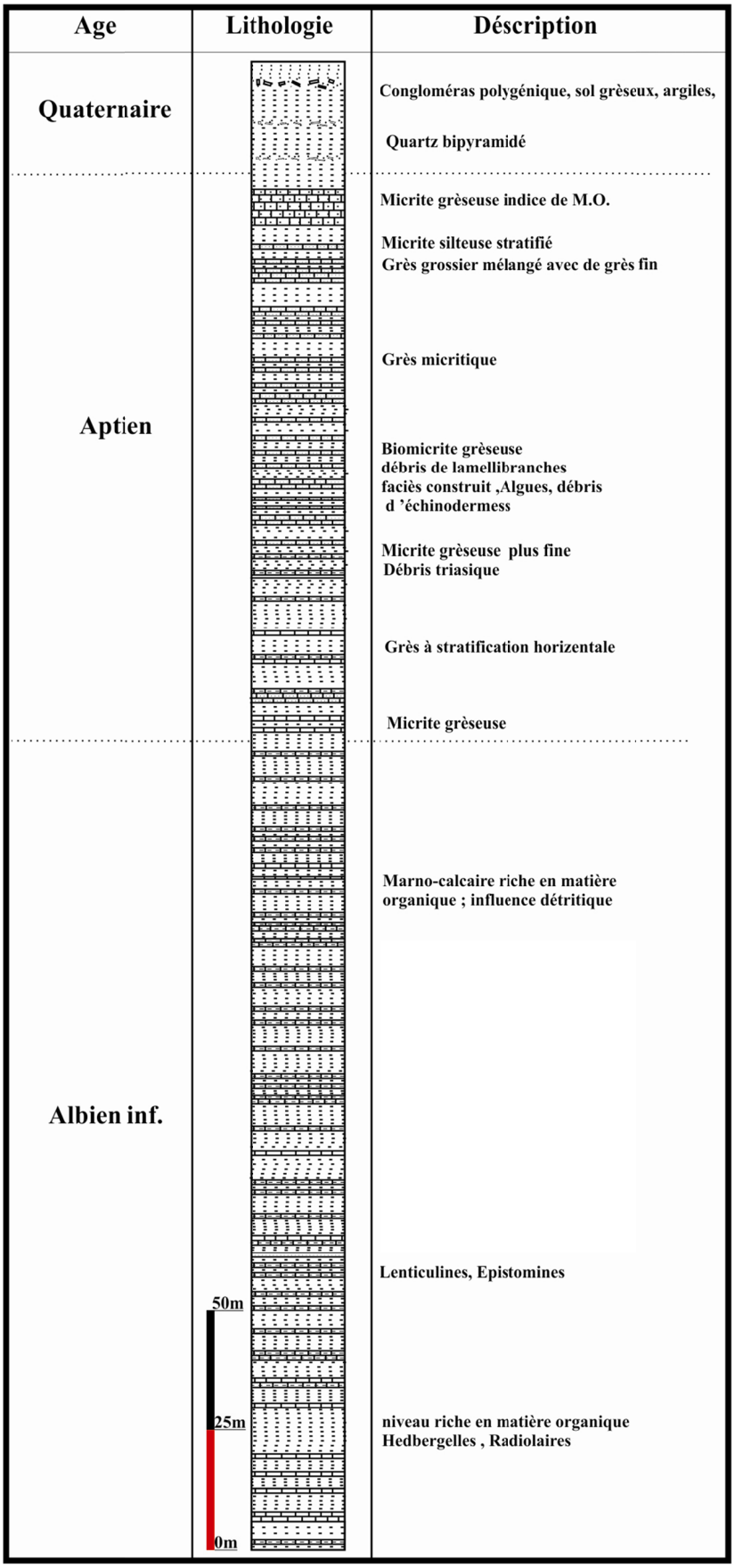


Fig. annexe. 6 séries lithostratigraphique du forage MJTK-C1

e. Le forage MJTK-L4, 384m

Il traverse une série albienne de marnes et marno calcaires longueur totale d'environ 394 mètres.

D'après le profil (Fig. annexe. 7), nous pouvons noter l'existence de deux couvertures différentes du complexe salifère : albienne et cénomanienne.

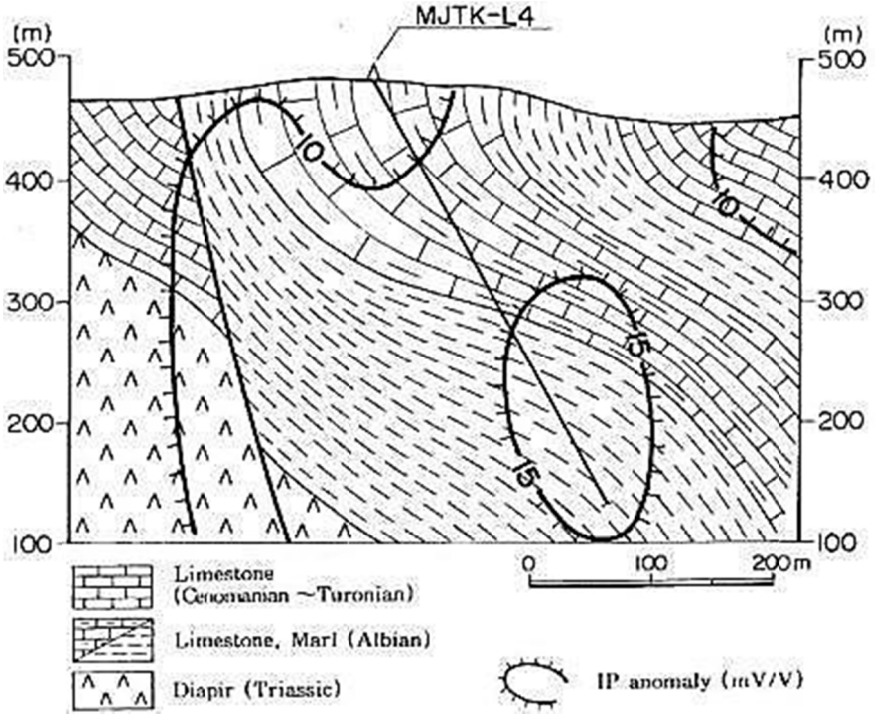


Fig. annexe. 7Profil géologique passant par le forage MJTK-L4 [Japan & Metal mining,2001]

f. Le forage MJTKC2, 322 m

Le forage MJTK-C2 traverse le Trias ensuite une série grèseuse du Tertiaire, puis il retraverse la formation triasique. On peut retenir de ce profil l'existence d'un réseau de failles enraciné dans le Trias. Mais encore, le profil (Fig. annexe. 8) atteste une couverture du matériel salifère d'âge Albien (voir le segment médian entre les deux failles (Fig. annexe. 8)).

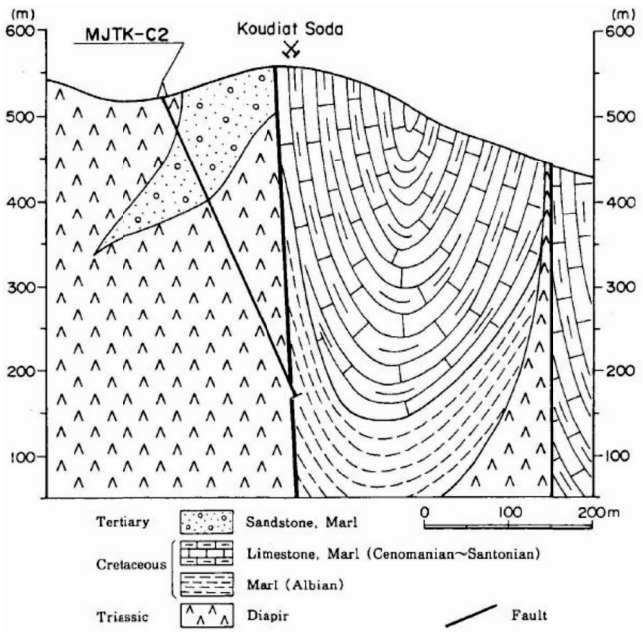


Fig. annexe. 8 Profil géologique passant par les forages MJTK-C2 [Japan & Metal mining,2001]

g. Le forage MJTK-A1

Le forage MJTKA1 est situé à Rag.^{bet} el Mahjebia. Il a une longueur de carottage de 137 mètres (Fig. annexe. 9 et Fig. annexe. 20). Le profile géologique passant par le forage MJTKA1 montre depuis la position du forage série marno-calcaire aptienne tronqué par une faille tertiaire et elle est surmonté par une série de marnes barrémiennes. Cette dernière montre des amincissements au fur et à mesure qu'on se rapproche du matériel salifère.

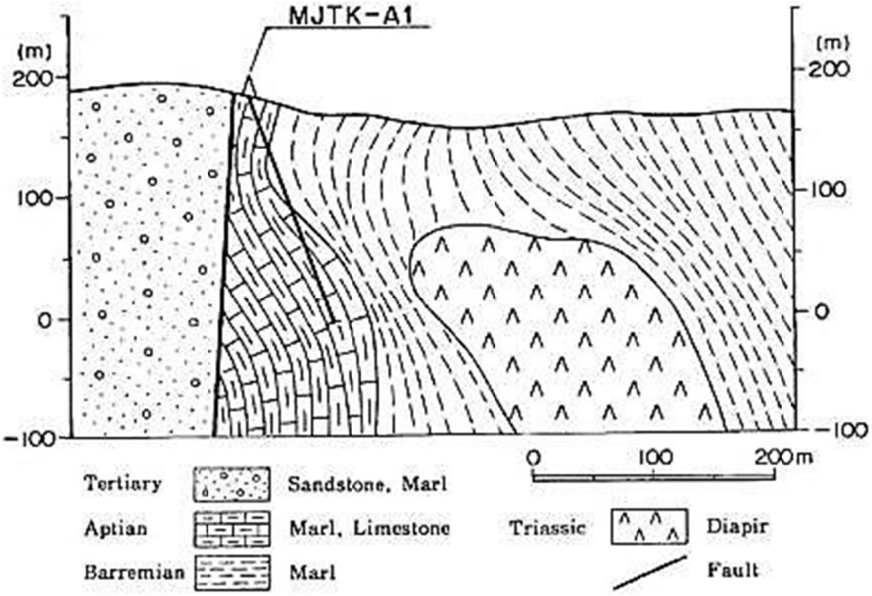


Fig. annexe. 9 Profil géologique passant par le forage MJTK-A1 [Japan & Metal mining,2001]

h. Les anciens forages

➢ Les forages SA1 et SA3

Les forages miniers SA1 et SA3 exécutés dans la bordure méridionale du Jebel Ech Cheid (Fig. annexe. 18). Ils présentent la même lithologie. D'après le profil géologique (Fig. annexe. 10et Fig. annexe. 11) nous distinguons la succession suivante : du haut en bas : Trias/Barrémien/Aptien/Albien et en fin Cénomanien qui parait transgressif [Perthuisot,1978b].

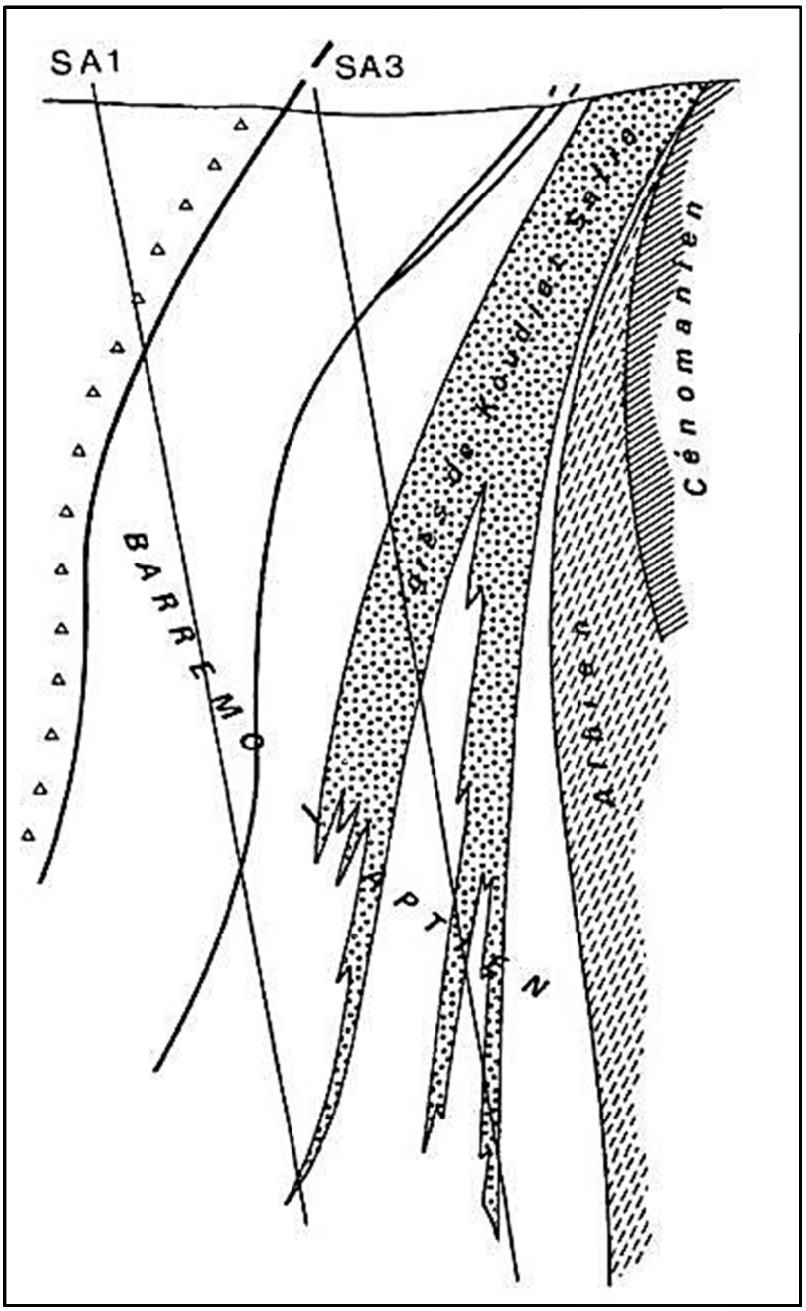


Fig. annexe. 10 Profil géologique passant par les forages SA1 et SA3 (d'après un rapport inédit O.N.M. in [Perthuisot,1978b]

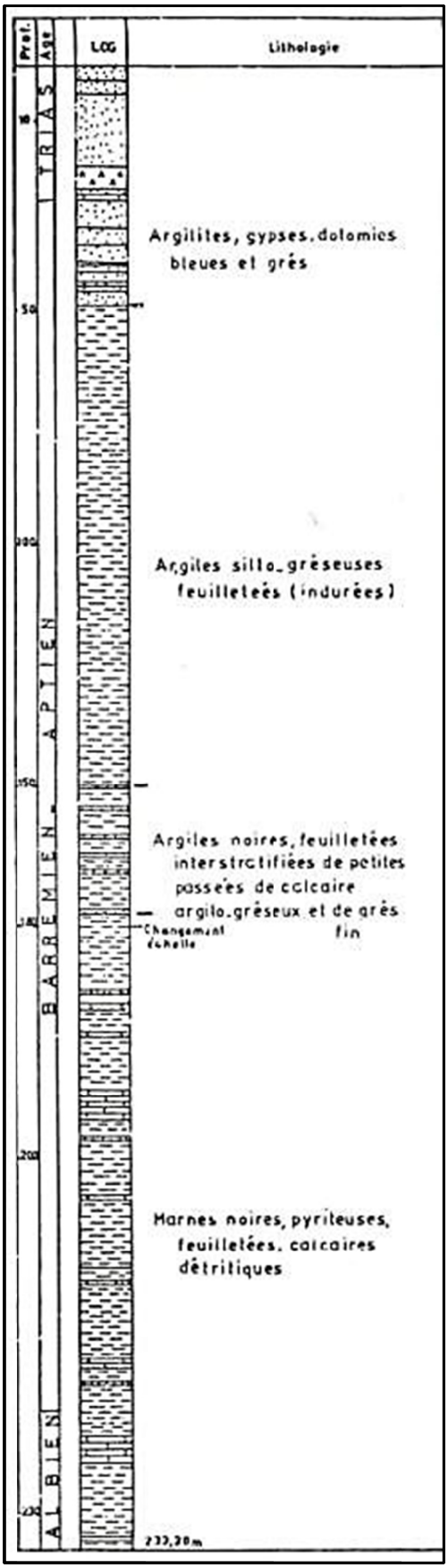


Fig. annexe. 11Colonne lithostratigraphique du forage SA1 (d'après un rapport inédit O.N.M. in [Hammami et al.,2001]

- **Le forage SA2**

Le forage SA2, situé dans le flanc Sud de la structure du Jebel Ech Cheid (Fig. annexe. 18). Il présente la succession suivante : alluvion Quaternaire/Trias/Aptien/Trias/ et enfin Santonien (Fig. annexe. 12). Les lambeaux Aptien et Santonien sont en contact tectonique avec la formation triasique.

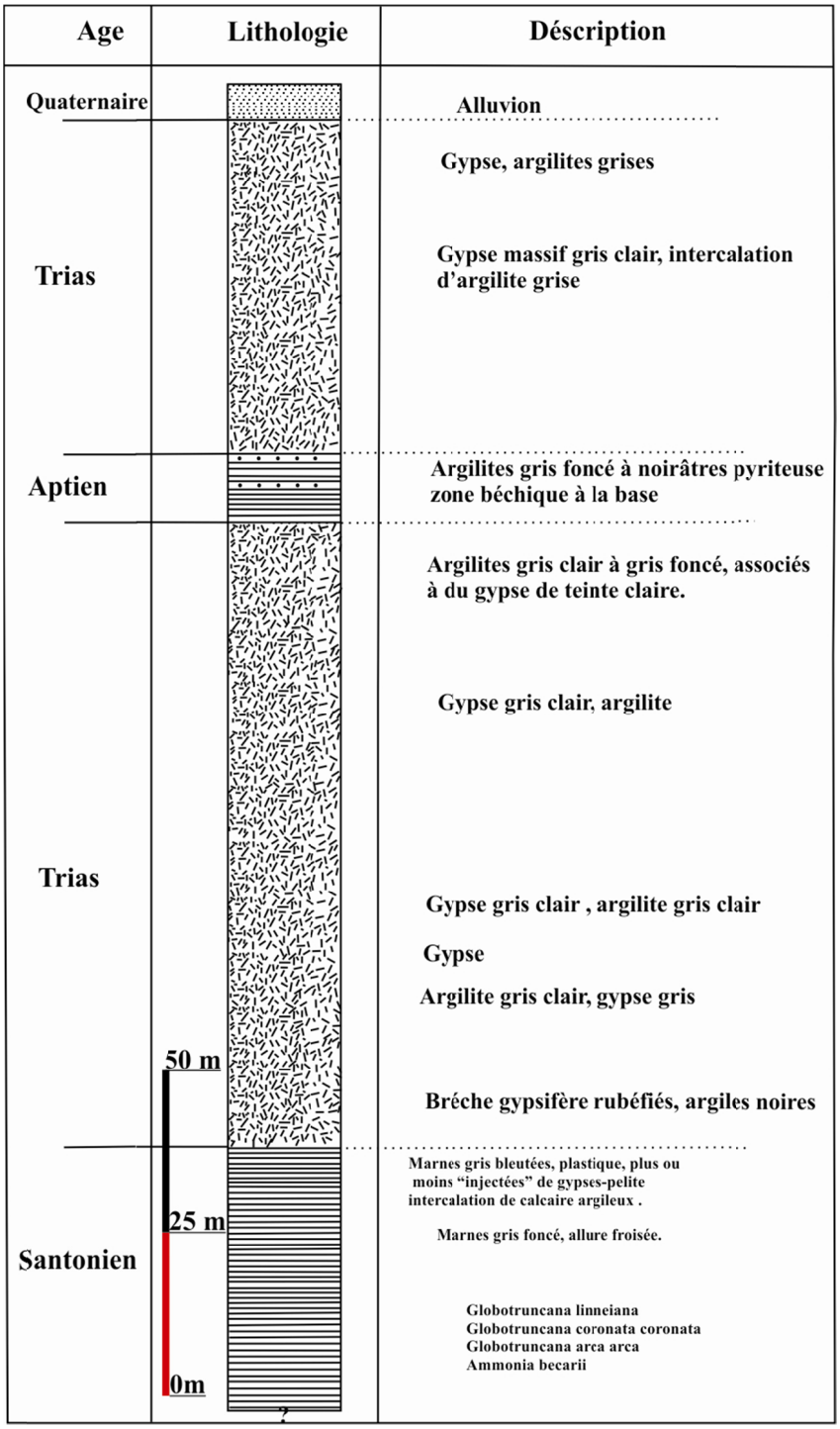


Fig. annexe. 12 Colonne lithostratigraphique du forage SA2 (d'après un rapport inédit O.N.M.)

- **Le forage SA4**

Le forage minier SA4 exécuté dans la bordure méridionale du Jebel Ech Cheid (Fig. annexe. 18). D'après le profil géologique (voir Fig. annexe. 13 et Fig. annexe. 14) nous soulignons la succession suivante : du haut en bas : Trias/Barrémien/Aptien/Albien inférieur, Albien moyen et Albien supérieur et en fin Cénomanien qui parait transgressif. Succession renversé, mais si nous essayons de faire éliminer les plissements tertiaires probablement nous allons trouver que le Cénomanien est progradant sur le complexe salifère. **Note :** le Cénomanien est observé aux environs de K^{at} Mejenba en position sédimentaire sur le matériel salifère.

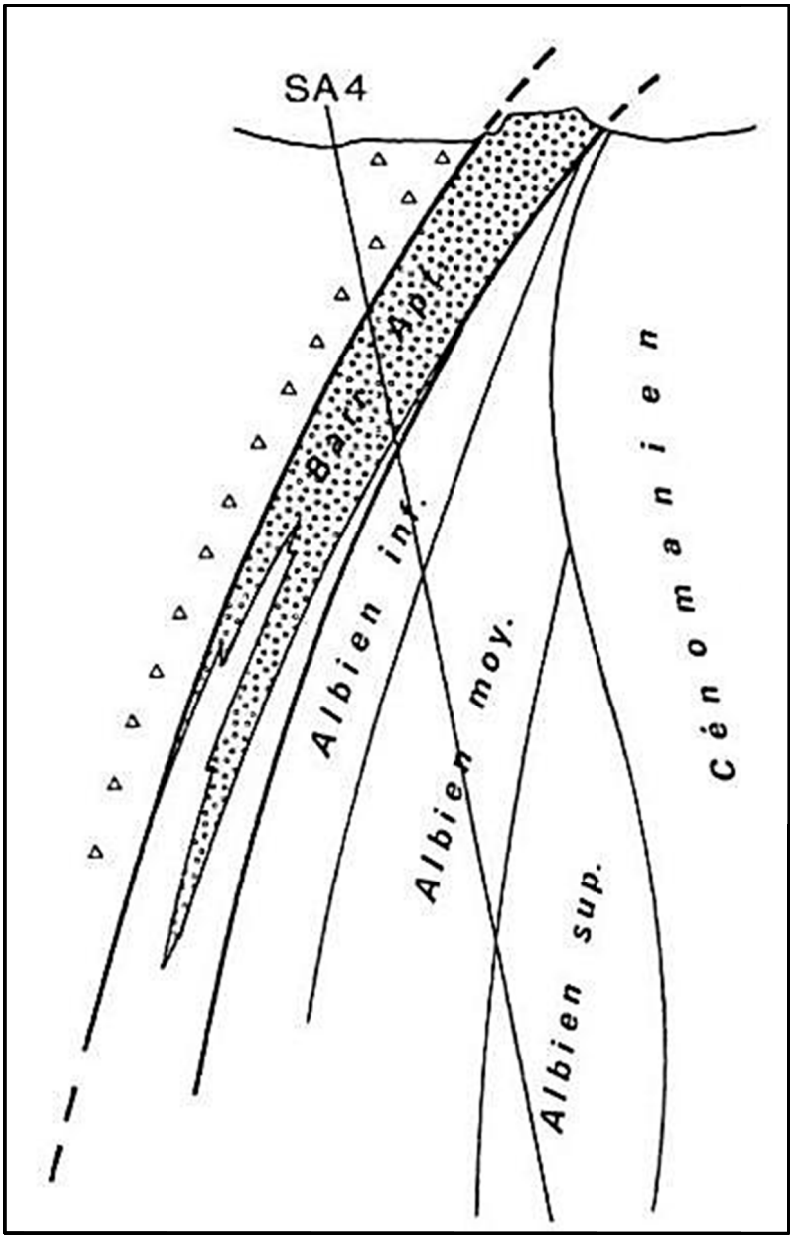


Fig. annexe. 13 Profile géologique du forage SA4 (d'après un rapport inédit O.N.M. in [Perthuisot,1978b]

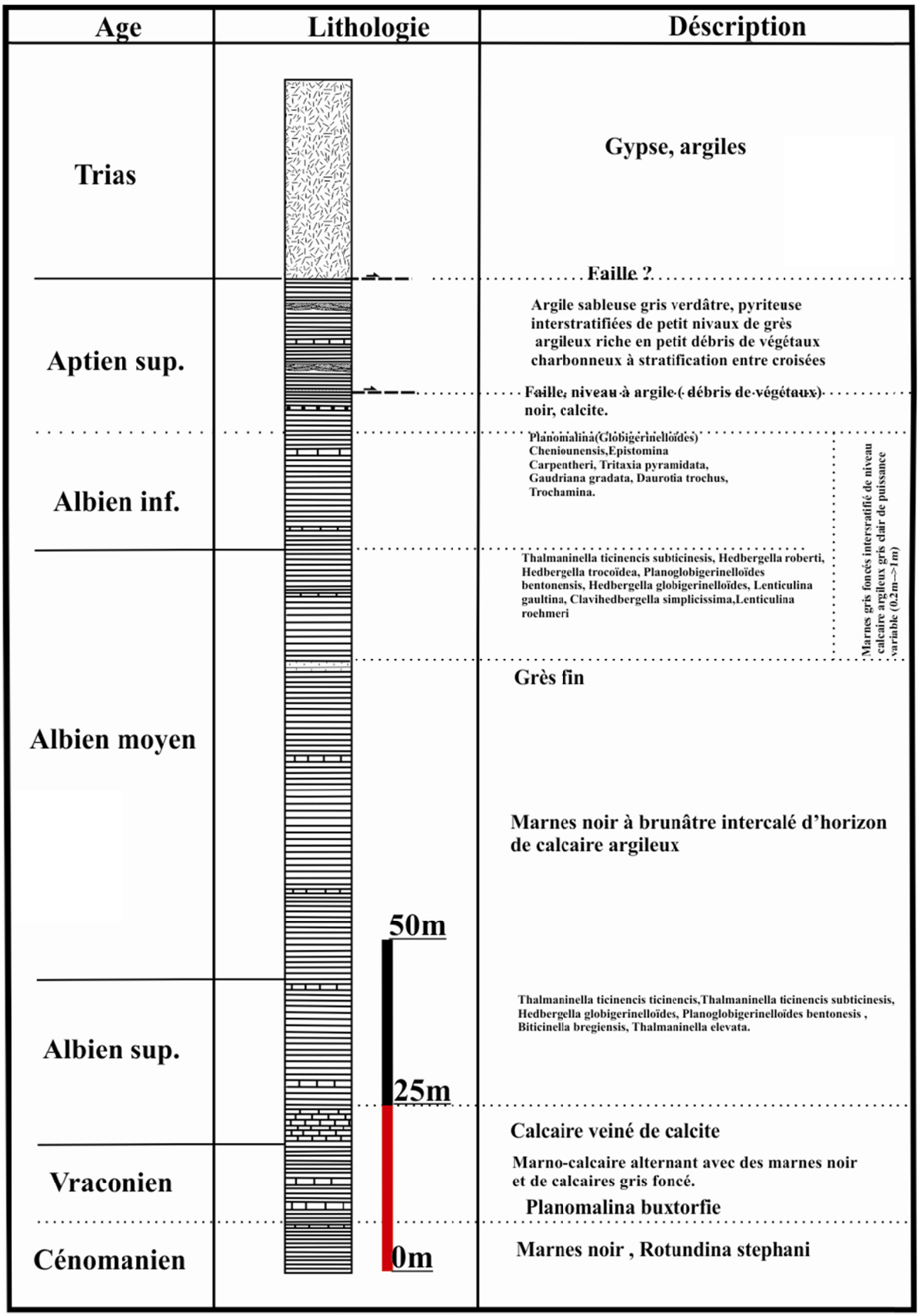


Fig. annexe. 14 Colonne lithostratigraphique du forage SA4 (d'après un rapport inédit O.N.M.)

- **Le forage SA5**

Le forage minier SA5 exécuté dans la bordure méridionale du Jebel Ech Cheid (Fig. annexe. 18) présente du haut en bas : Paléocène/Éocène supérieur/faille/Santonien /Coniacien. D'après le profil géologique (Fig. annexe. 15 et Fig. annexe. 16), nous avons observé la succession suivante : on peut constater l'inexistence des séries du Crétacé inférieur qui sont en affleurement à un kilomètre près. Ils sont probablement affaissés et/ou chevauché par la série triasique vue l'emplacement du forage qui est à proximité de la bordure du corps salifère.

Pour la deuxième interprétation ou l'auteur met un Éocène supérieur discordant, on peut la maintenir puis que régionalement et dans le secteur d'étude (ex : au environ de du rond-point el Kerib/Gafour/Siliana, à Jebel Chetlou, à Si Abd el Kader, à Kat Oum el Firane...) ce type de discordance existe en affleurement[Masrouhi et al.,2008, Ben Slama et al.,2009].

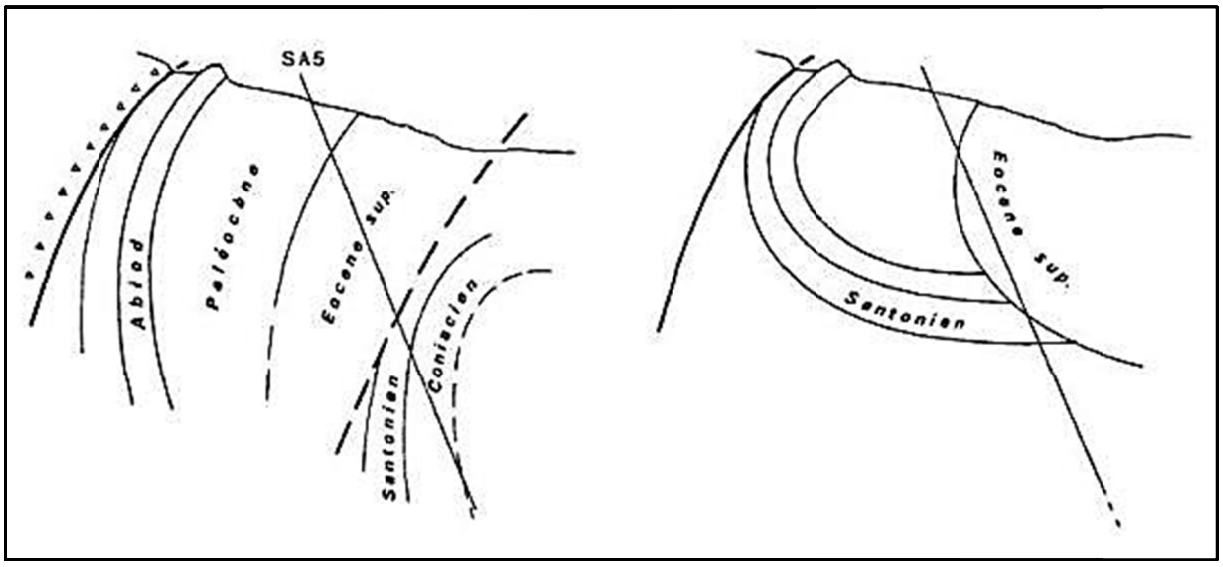


Fig. annexe. 15Deux interprétations des résultats du sondage SA5 de l'O.N.M. [Perthuisot,1978b]

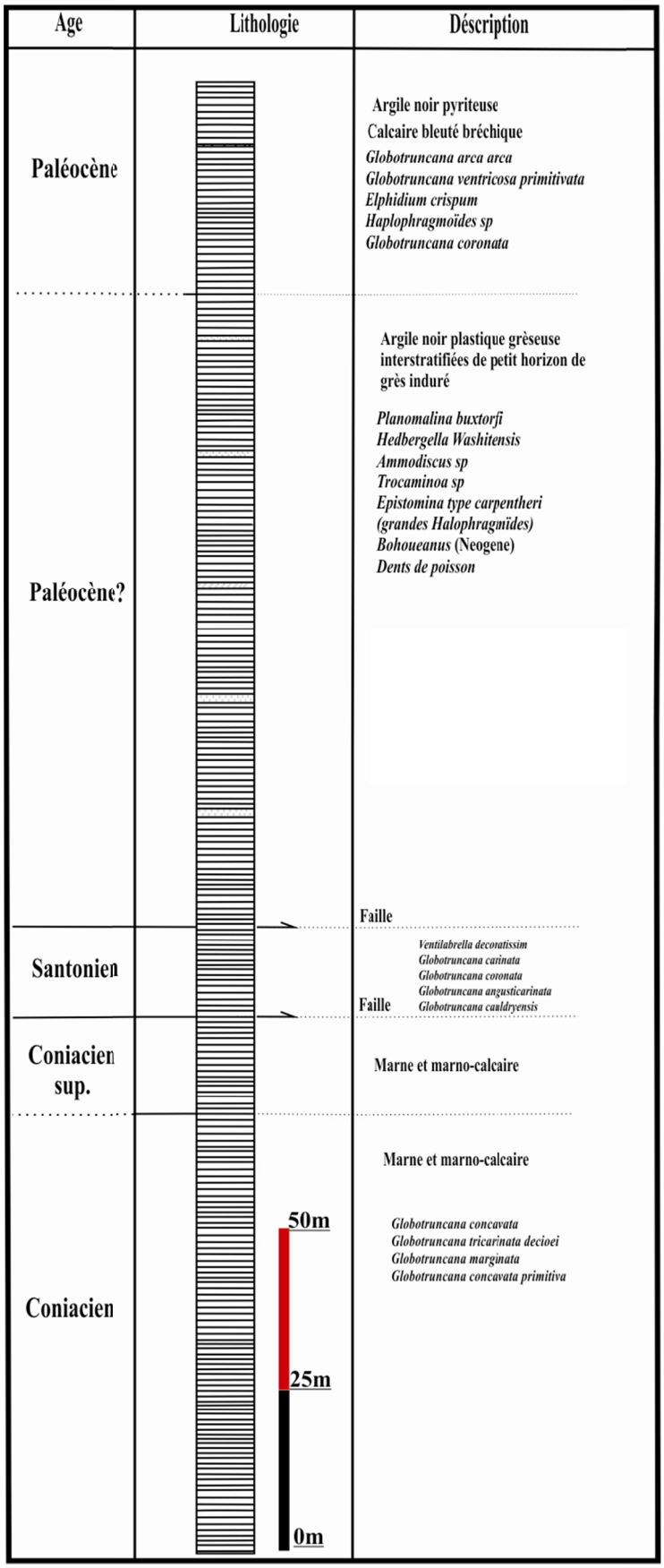


Fig. annexe. 16 Colonne lithostratigraphique du forage SA5 (d'après un rapport inédit O.N.M.)

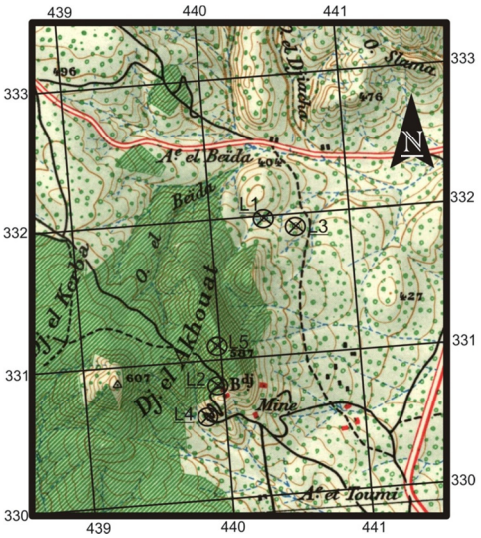


Fig. annexe. 17 Carte de localisation des forages MJTK-L1, L2, L3, L4 et L5

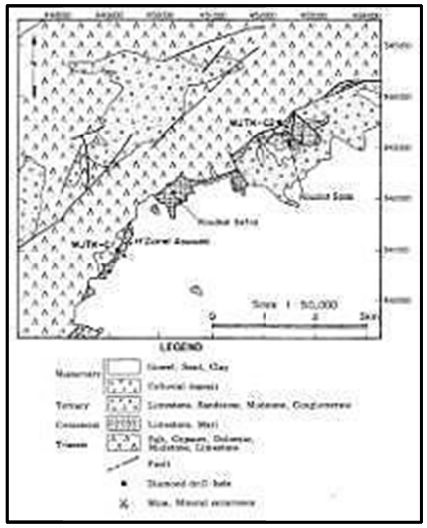


Fig. annexe. 19 Carte de localisation des forages MJTK-C1 et C2

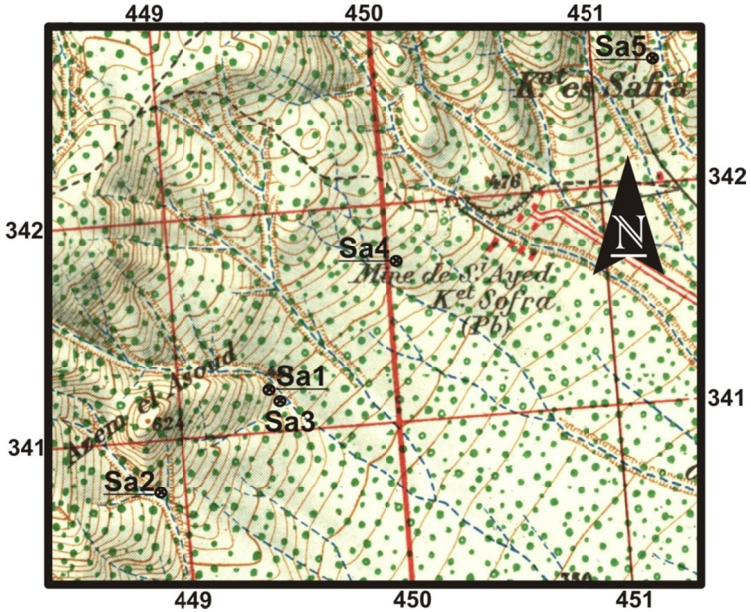


Fig. annexe. 18 Carte de localisation des forages SA1, SA2, SA3, SA4 et SA5 refaite d'après [Madon & Nouvel,1973]

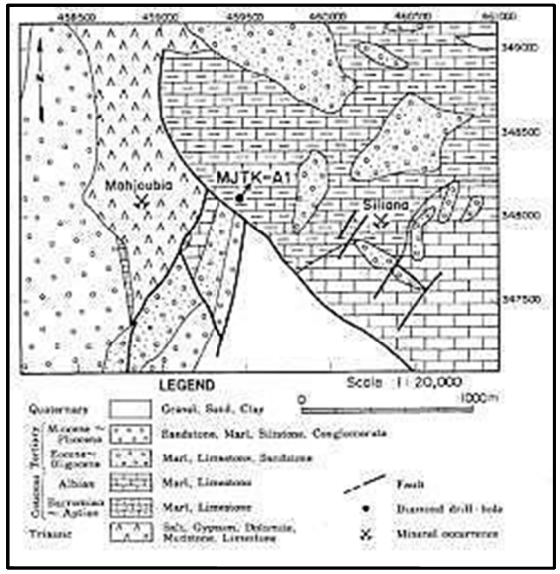


Fig. annexe. 20 Carte de localisation des forages MJTK-A1

Les colonnes lithostratigraphiques en grande dimension du chapitre2

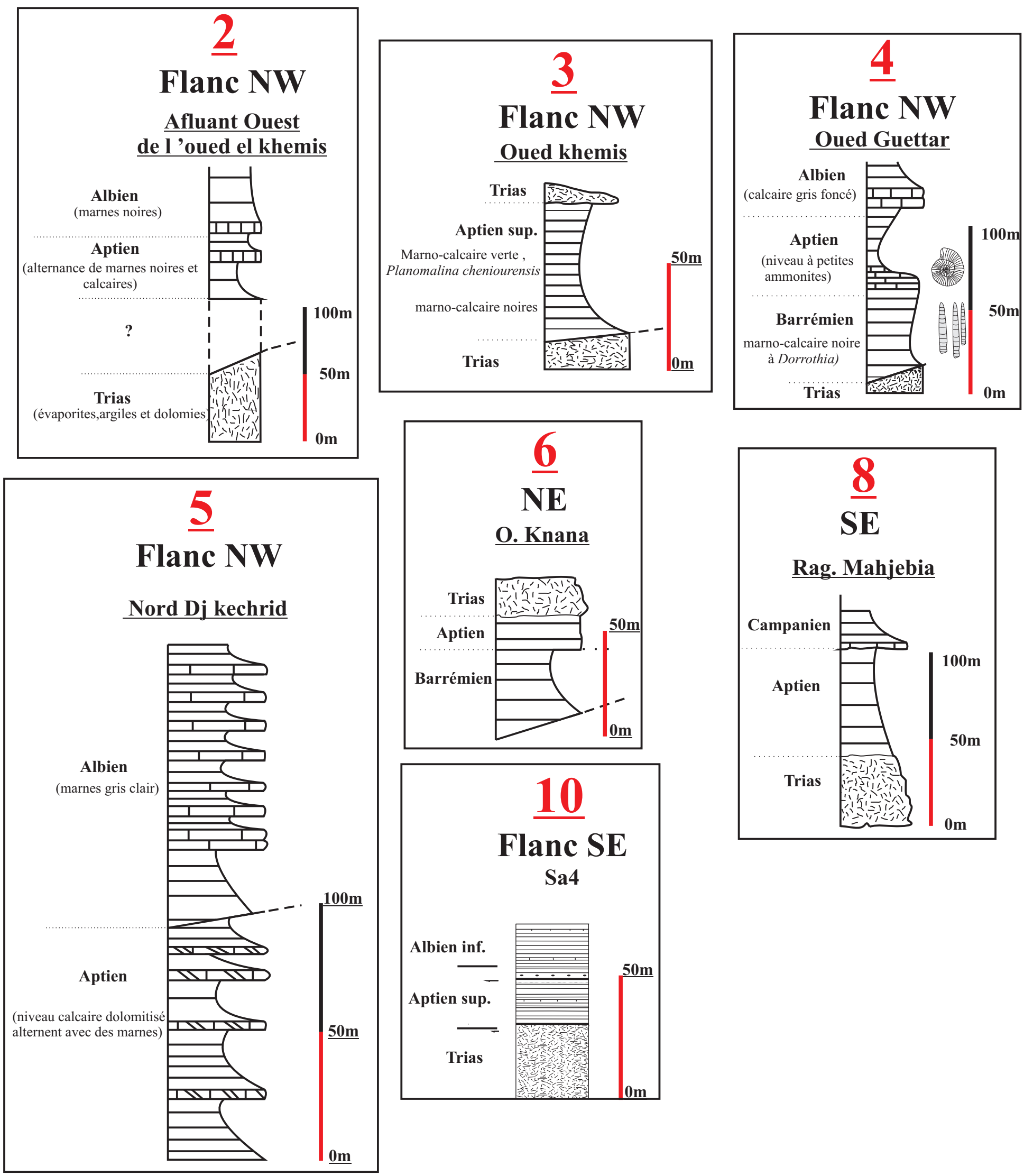
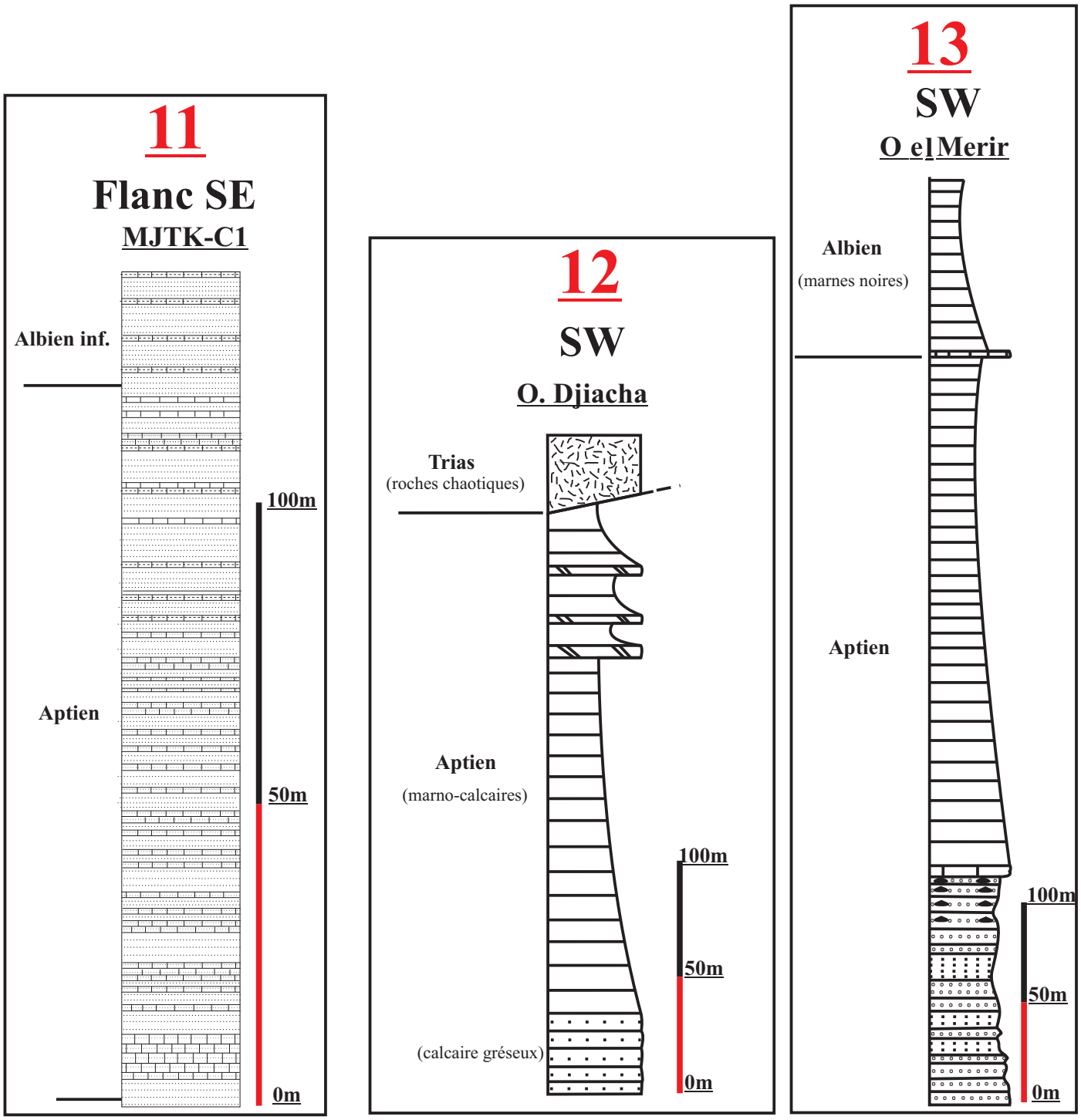


Fig. annexe. 21 Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des séries aptiennes Fig.2.15 p.77



Suite Fig.annexe.21

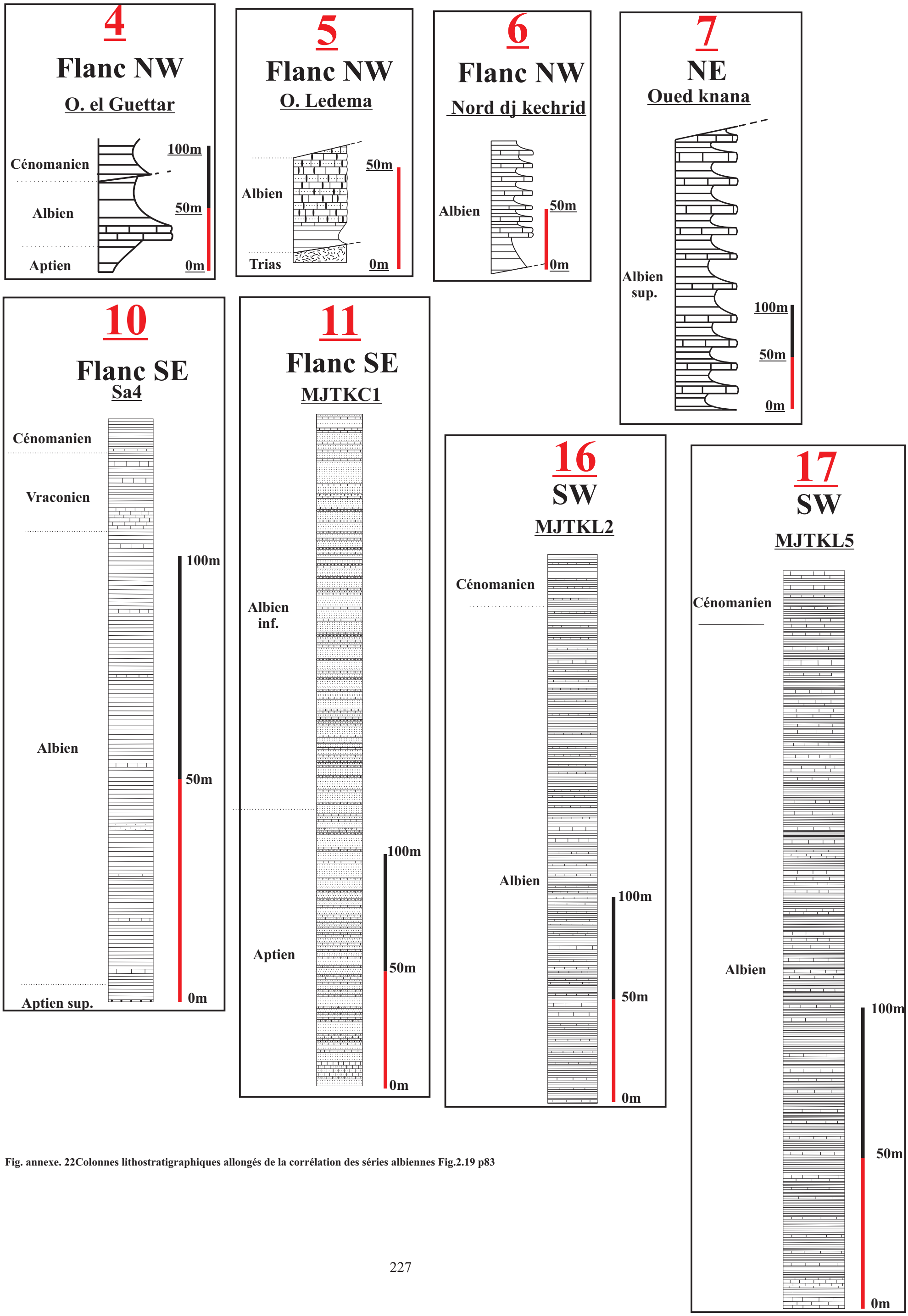


Fig. annexe. 22Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des séries albiennes Fig.2.19 p83

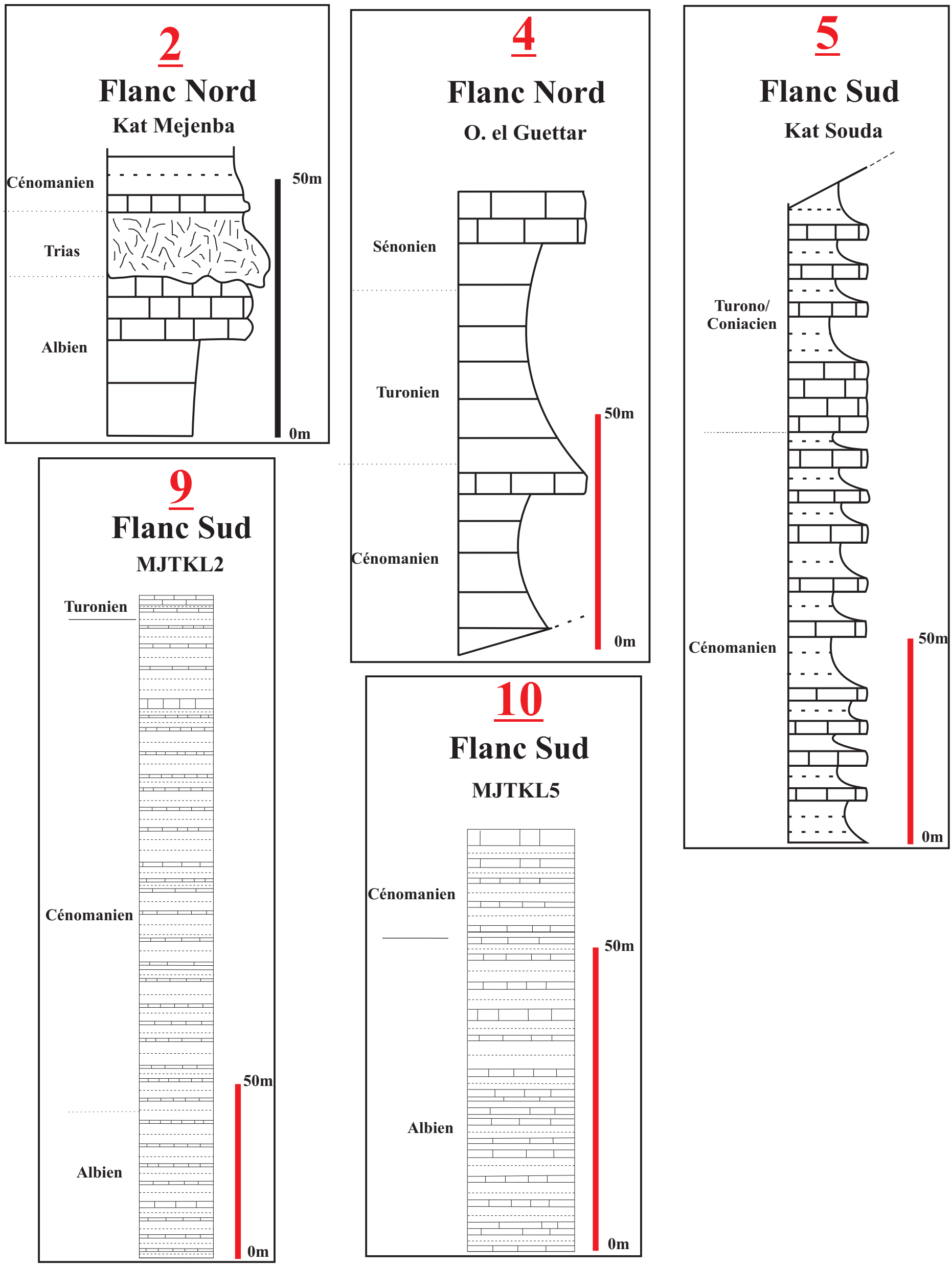


Fig. annexe. 23Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des dépôts du Cénomanien/Turonien/Coniacien Fig.2.22 p89.

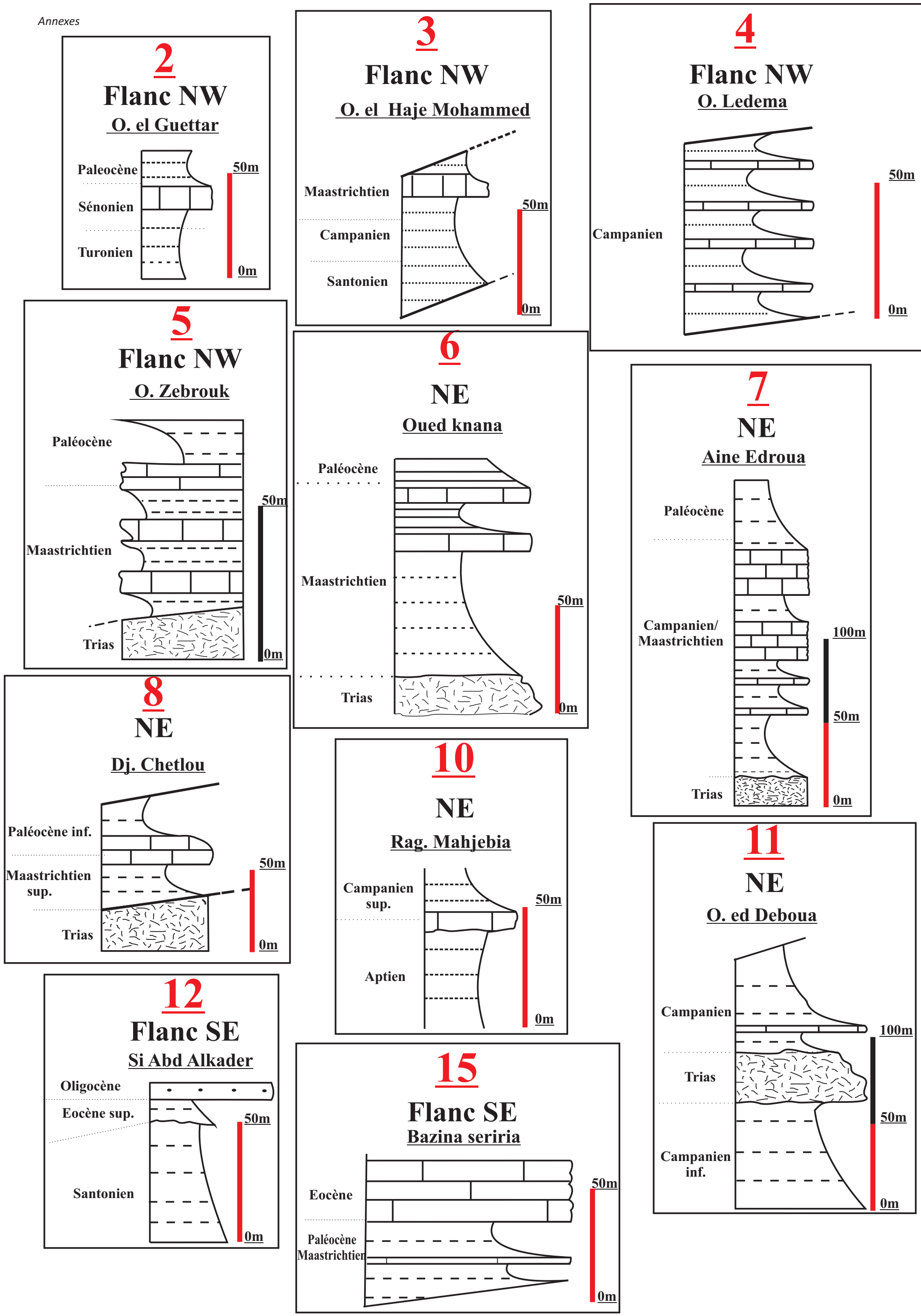


Fig. annexe. 24 Colonnes lithostratigraphiques allongés de la corrélation des dépôts du Sénonien Fig.2.26 p94

Illustrations

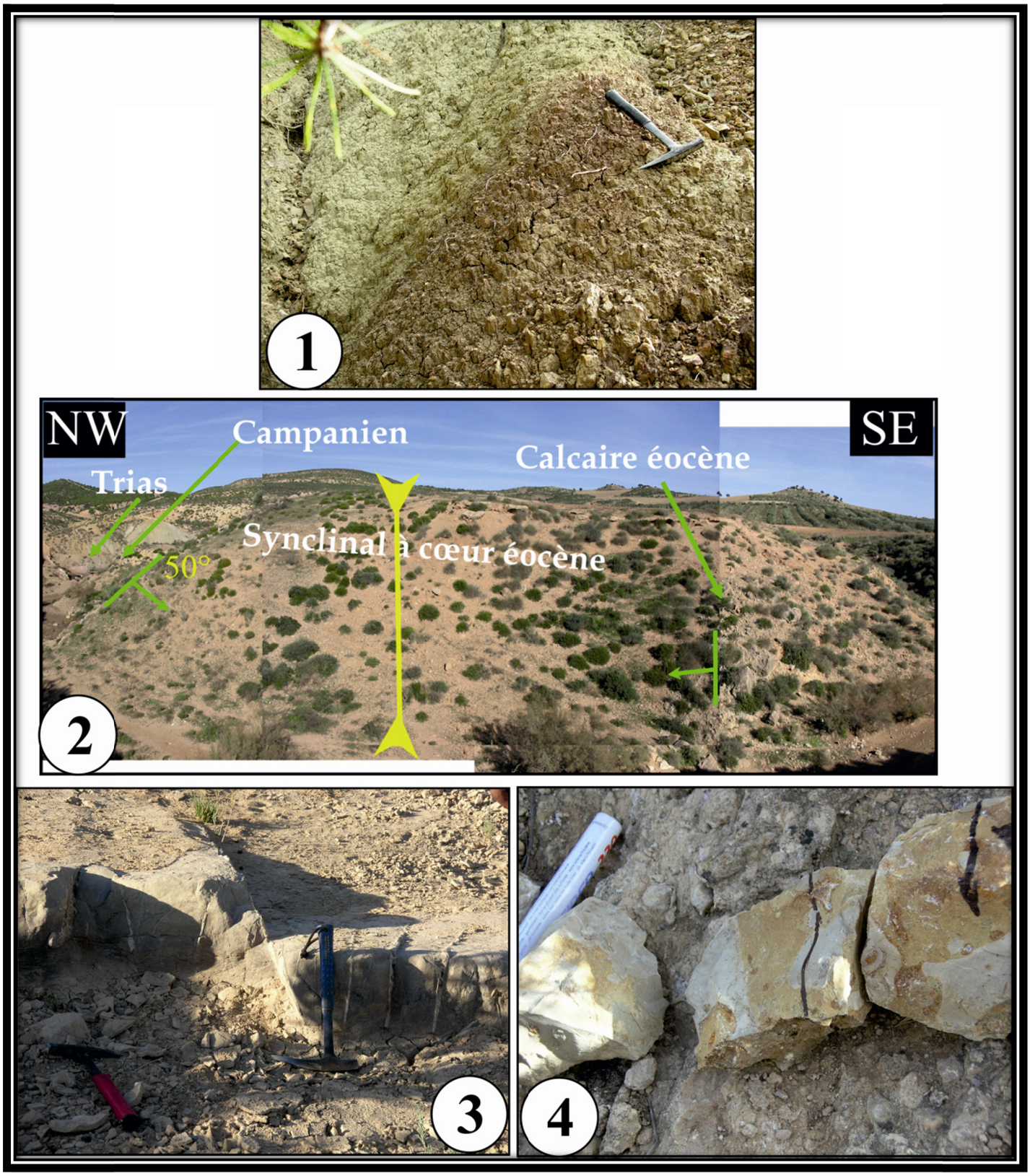
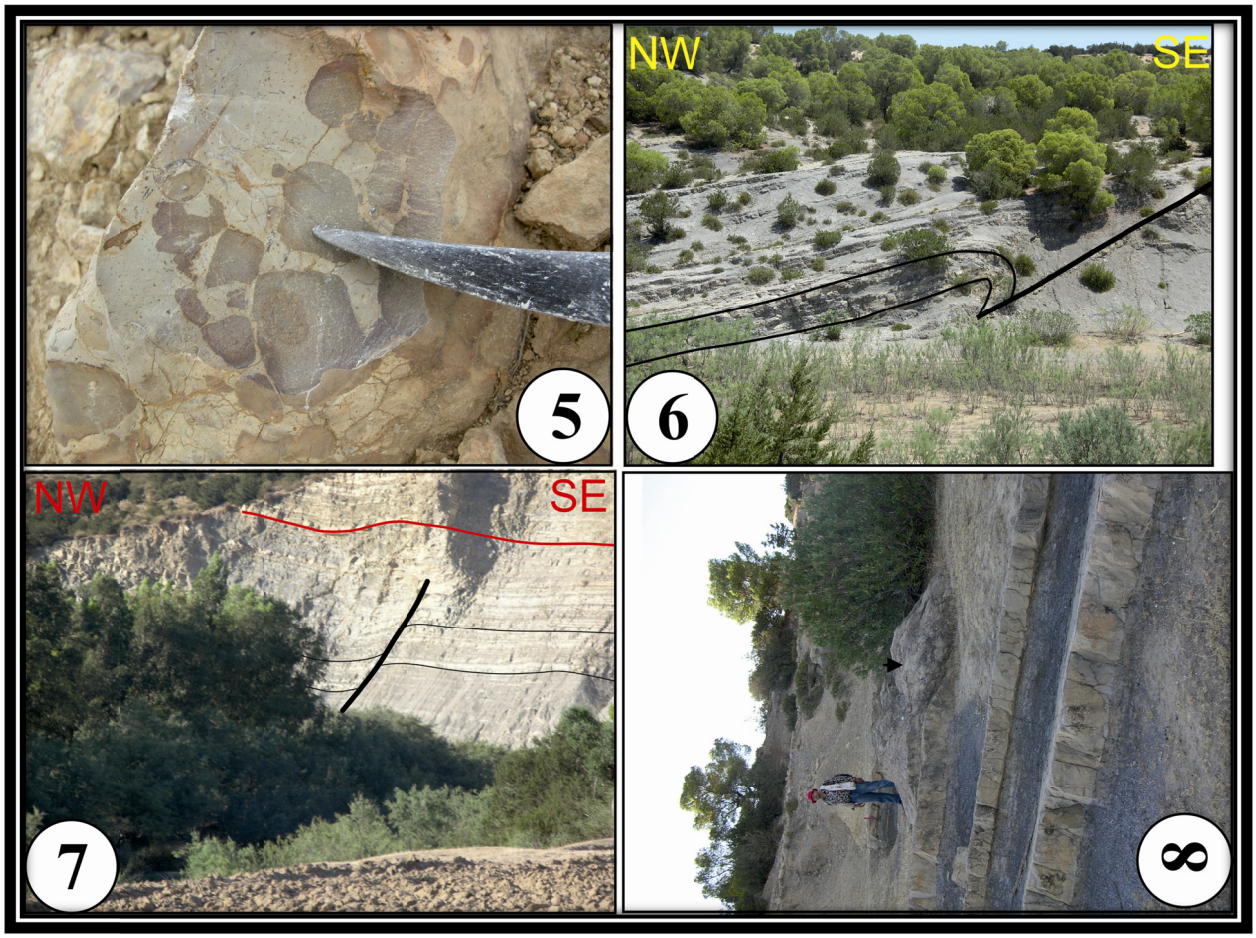


Fig. annexe.25 Photo prises dans des endroits-clés ; 1 : remaniement de matériel triasiques dans les marno-calcaires du Barrémien près du Azem Assoud ; 2 : Synclinal à cœur d'Eocène dans l'oued Bou Kralfa ; 3 : petites fractures à jeu normal dans la série albienne à proximité du Jebel Asoued ; 4 : Remaniement de boules grises albiennes micritiques à foraminifères pélagiques dans des sédiments silicoclastiques (oued el Ledema) ; 5 : Remaniement d'éléments triasique dans les calcaires Albien (oued Khémis) ; 6 : Chevauchement à vergence Sud-est affectant la série albienne à proximité de l'oued Siliana au Nord-est de la structure du J. Ech Cheid ; 7 : Faille normale scellée dans les dépôts albiens à proximité de l'oued Siliana au nord-est du J. Ech Cheid ; 8 : Olistrostrome dans la série albienne à l'est du Jebel el Asoud .



Suite Fig.annexe. 25

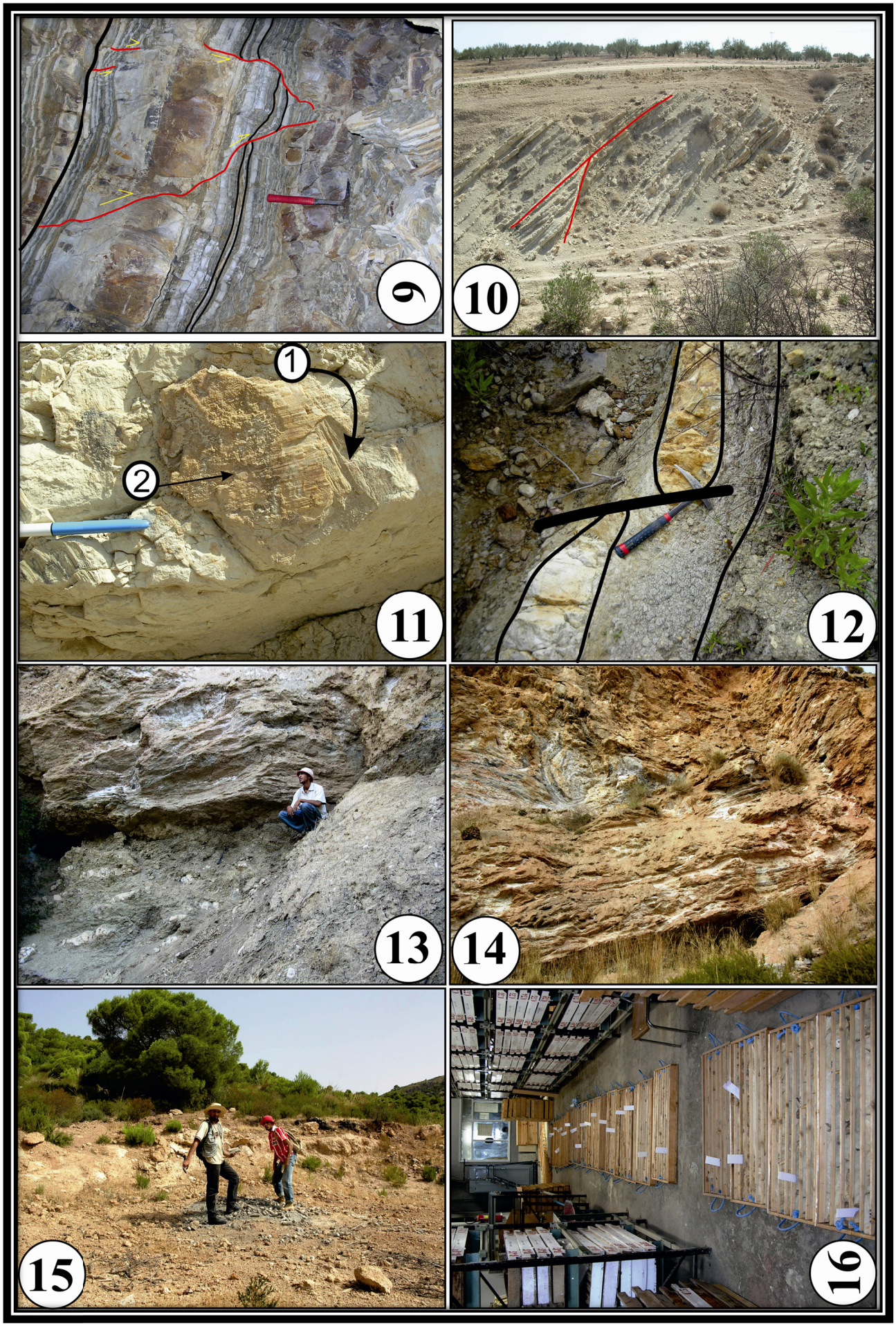
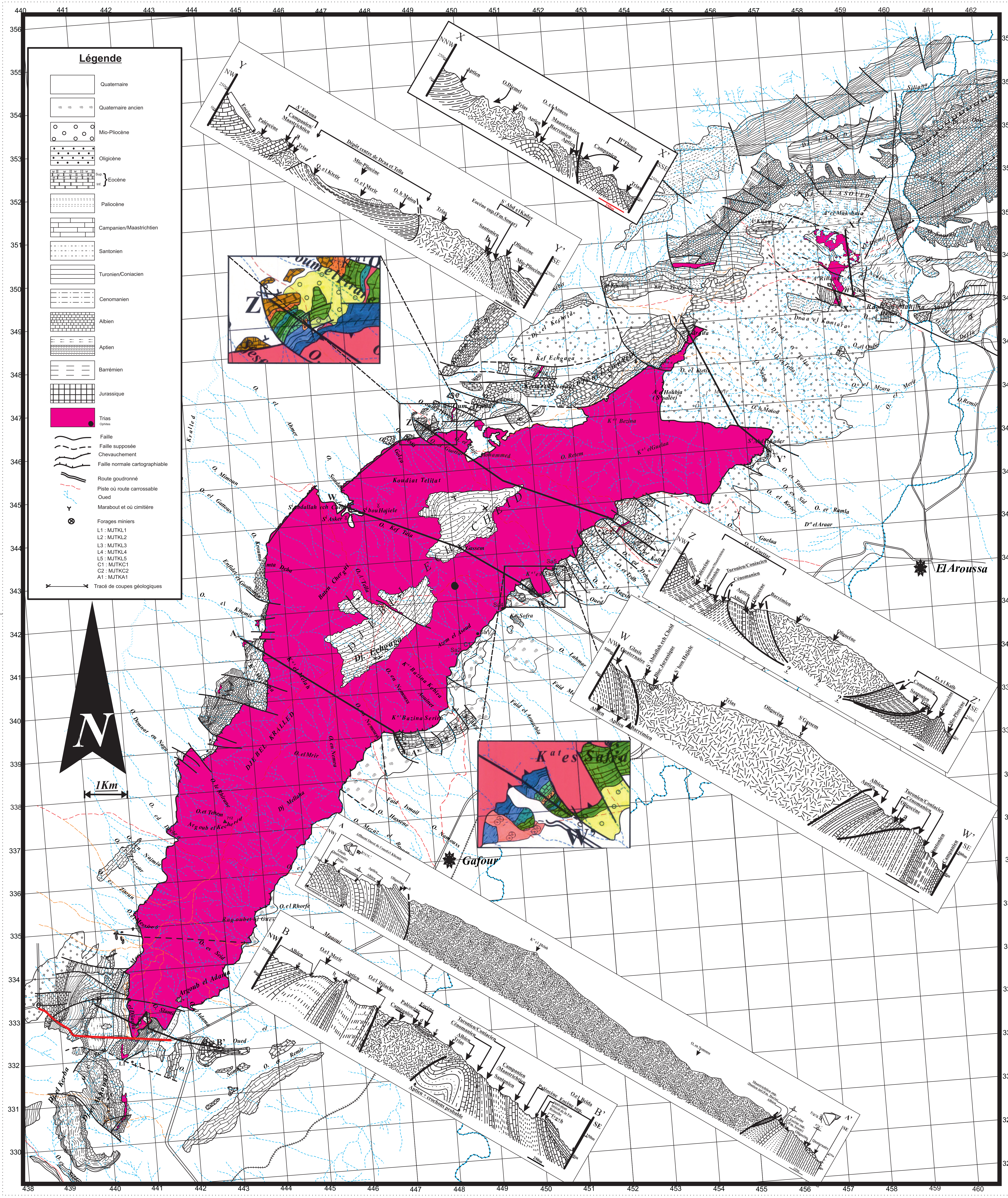
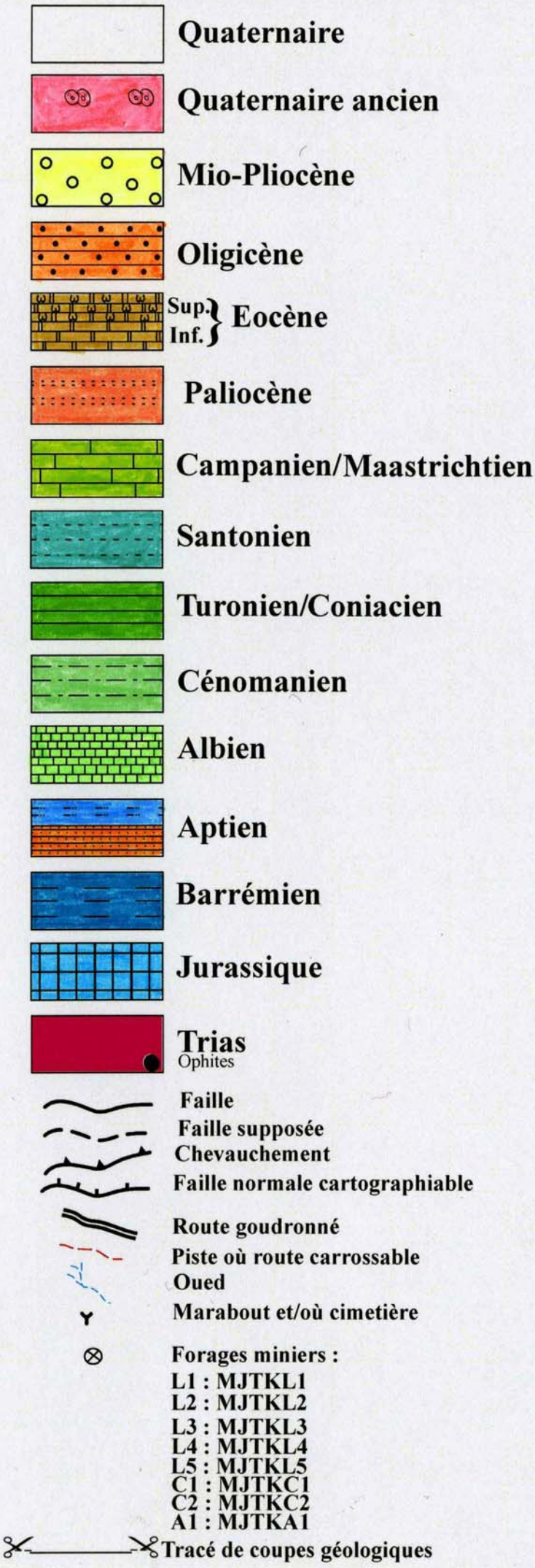

9
10
1
2
11
12
13
14
15
16

Fig.annexe.26 Photos prises dans des endroits-clés (suite) ; 9 : Failles normales conjuguées synsédimentaires dans la série turono-coniacienne du Jebel El Akhouat ; 10 : Faille normale scellée dans le Campanien (au Sud-ouest de Gafour) ; 11 : Plan de faille montrant deux générations de stries : la 1ère génération a joué en mouvement vertical et la deuxième en mouvement décrochant (dans la série campanienne) ; 12 : Faille normale scellée dans la série maastrichtienne dans l'oued el Haj Mohammed ; 13 : Chevauchement du Trias sur des sédiments tertiaire (secteur Kat Safra (flanc Sud de la structure salifère) ; 14 : Microplis et formes de glissement gravitaire enregistrés dans les séries triasiques (flanc Sud du Jebel Ech Cheid (secteur Si Abd el Kader) ; 15 : Morceaux de carottes au voisinage de l'emplacement du forage minier MJTKC1 ; 16 : Photo des carottes du forage minier MJTKL5 (l'emplacement des fiches blanches =. l'endroit des échantillons).

Fig.annexe.27 Nouvelle carte géologique du secteur d'étude au 1 : 50 000(voir planche cartonnée)

Fig.annexe.28 Légende commune des cartes géologiques exécutées dans la région du J. Ech Cheid (voir bristol dans l'enveloppe)


Légende
Quaternaire
Quaternaire ancien
Mio-Pliocène
Oligicène
Sup.
Inf.
Eocène
Paliocène
Campanien/Maastrichtien
Santonien
Turonien/Coniacien
Cenomanien
Albien
Aptien
Barrémien
Jurassique
Trias
Ophites
Faille
Faille supposée
Chevauchement
Faille normale cartographiable
Route goudronné
Piste où route carrossable
Oued
Marabout et où cimitière
Forages miniers
L1 : MJTKL1
L2 : MJTKL2
L3 : MJTKL3
L4 : MJTKL4
L5 : MJTKL5
C1 : MJTKC1
C2 : MJTKC2
A1 : MJTKA1
Tracé de coupes géologiques
N
1Km
El Aroussa
Gafour
DJEBEL KRALLED
Dj. Echgaga
Kef Echgaga
Kef Younes
Koudiat Telilat
Kat Bezina
Kat elGuelaa
Kat es Safra
Kat Bazina Serira
Kat Bazina Kebira
Argoub el Kecherid
Argoub el Adama
Ragoubet el Gues
Dj Mellaha
Dj. LAOUDJ
DJ. EL ASOUED
Draa el Kantara
Draa et Tella
O. el Ktetir
O. b Maiou
O. Retem
O. el Guettar
O. el Kalb
O. Djemel
O. el Aouess
Hir Flouss
O. el Rhorfe
O. en Nemouss
O. el Mrir
O. es Seid
O. Slama
Oued
Y
Y'
X
X'
Z
Z'
W
W'
A
A'
B
B'
NW
SE
NNW
SSE
250m
500m
125m
0m
Eocène
Paléocène
Ae Edroua
Campanien/Maastrichtien
Trias
Dépôt centre de Draa et Tella
Mio-Pliocène
O. el Merir
Eocène sup.(Fm.Souar)
Si Abd el Kader
Santonien
Oligocène
Aptien
O.Djemel
Maastrichtien
Campanien
Glasis Quaternaire
Si Abdallah ech Cheid
Bloc Jurassique
Si bou Hajiele
Si Gassem
Turonien/Coniacien
Cénomanien
Affluent Ouest de l'oued el Khemis
Cénomanien sup. probable
Ka el Melah
Maastrichtien sup. /Danien inf.(Fm. Haria)
Eocène sup. (Fm. Souar)
Quaternaire
O. el Djiacha
Aptien + crochons probable
O.el Beïda
équivalent latéral de la Fm Reineche

Légende commune des cartes géologiques exécutées dans la région du J. Ech Cheid