

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



MÉMOIRE

Présenté par

AMAR-BEKADA YOUSRA et SI ALI CHIFA

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En : Géologie des Bassins Sédimentaires

**Cartographie géologique et caractérisation linéamentaire à base d'un SIG
de deux structures : Djebel Aïssa et Djebel Mekther (Aïn Séfra), Monts des
Ksour-Atlas Saharien- Algérie**

Soutenu le : 21/06/2023 devant le jury composé de :

Président : M^{er} HEBIB HAKIM

MCB Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Encadreur : M^{er} KACEMI ALI

MCB Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Co-Encadreur : M^{me} GHENIM ASMA FETHIA

MCB Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Examineur : M^{er} BOUCIF ABDELKADER

MAA Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Nous tenons à remercier tout premièrement Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nos sincères reconnaissance et remerciements au professeur respecté et humble Mr. **Ali KACEMI** qui nous a guidé et encouragé ainsi pour l'inspiration, l'aide, les conseils qu'il a prodigués et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mme **Asma Fethia GHENIM** d'avoir nous soutenir sans réserve et de précieux conseils qu'elle nous a fourni tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'adressent à Mr. **Hakim HEBIB**, maître de conférences et le chef du département STU à l'université Abou Baker Belkaid de Tlemcen pour sa participation au jury.

Nos remerciements s'adressent aussi à Mr **Abdelkader BOUCIF**, chef de département adjoint STU à l'université Abou Baker Belkaid de Tlemcen pour avoir accepté de lire et de juger ce mémoire.

Un grand merci à Mr **Mustapha BENSALAH** pour son aide et son encouragement.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous **nos amis et collègues** pour le soutien moral et matériel ...

Dédicace

Après de longues années d'études et de travail, sachant l'importance de l'aide des êtres qui m'aiment, je voudrai humblement leurs, dédier ce modeste travail tout en avant qu'ils méritent le meilleur qui soit.

Je dédie ce travail :

*À **mon cher père** qui m'a encourager et a tant travail pour pouvoir m'instruire ;*

*À **ma chère mère** qui a fait beaucoup de sacrifices pour ma renseigner et m'instruire et qui ma encourager tout le long de mon parcours scolaire et académique ;*

*À mes frères **Hichem, Abderrahmane** et ma sœur **Narimen** ;*

*A mon neveu **Othman** ;*

A tous les membres de ma famille ;

*À ma chère binôme **Chifa Si Ali**, qui m'a accompagné pendant le long de cette période pour réaliser ce modeste travail et sa famille ;*

*À tous mes amies : **Radia ; Sara, Marwa, Wafae ; Ayda ;...***

Aux étudiants de la promotion 2018-2023 « Géologie des bassins sédimentaires » sans exception ;

Et enfin, à tous nos professeurs qui nous ont enseigné et à tous ceux qui nous sont chers, je vous remercie tous.

AMAR BEKADA Yousra

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

À ma chère mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études.

À mon père qui nous a quitté voilà deux ans.

À mon frère Mohammed Riyadh SI ALI et ma sœur Kheira SI ALI qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études, que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

À ma tante : Khadidja SI ALI et son enfant : Mohammed El Amine

À ma grande mère, ma tante Cherifa OTMANI, tous les cousins les cousines et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

À ma chère binôme Yousra AMAR BEKADA pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail et sa famille

À tous mes amis, tout particulièrement Sarra ZAWALI, Radia MIMOUNI, Wafae HOUARI, Mohammed MAHLIA qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

À la promotion de Master II « Géologie des bassins sédimentaires » 2018-2023.

SI ALI Chifa

ملخص:

يقع كل من جبل مكثر وجبل عيسى الذي تم دراستهما في منطقة عين الصفراء في جبال القصور (جبال الاطلس الصحراوي الغربي)، حيث تهدف هذه الدراسة الى: رسم لیتوجیولوجیة وخرائط الفوالق بناء على نظام المعلومات الجغرافیة SIG ، الخرائط الجیولوجیة (عين الصفراء، میكالیس) (Galmier1790) وصور القمر الصناعي من Google Earth pro.

الطریقة المعتمدة فی هذه الدراسة هی ادراج المعطیات فی نظام المعلومات الجغرافیة الذي یسمح لنا بتطوير الخرائط ؛ خريطة لیتوجیولوجیة ؛ خريطة خطیة ، وخریطة صخریة هیكلیة. بالإضافة إلى القيام بدراسة احصائیة للفوالق، فی الأخير تم تقديم نظرة عامة على الخصائص الهیكلیة للطینین المنحرفین بناء على تحلیل الخرائط الجیولوجیة وصور GEP تلیها دراسة أولیة حول علاقة النتوءات -الكسور.

الكلمات المفتاحیة: جبل مكثر- جبل عیسی - جبال القصور- رسم الخرائط الصخریة - خرائط الفوالق - نظام المعلومات الجغرافیة - دراسة احصائیة - علاقة النتوءات - الكسور.

Résumé :

Les deux structures étudiées « Djebel Mekther et Djebel Aïssa » sont situées dans la région d'Aïn Séfra. Ils font partie des Monts des Ksour (ou Atlas Saharien occidental). Il s'agit d'une étude qui vise deux principaux objectifs : la cartographie lithologique et la cartographie linéamentaires des deux structures, à base d'un SIG. Des cartes photogéologiques supports (Ain Séfra, Mékalis) (Galmier, 1970) en plus d'images satellitaires issues de Google Earth Pro (GEP). La méthodologie appliquée dans ce travail est essentiellement l'intégration des données dans un SIG qui nous ont permis par la suite à élaborer des cartes ; une carte lithologique (géologique), une carte de linéaments et enfin une carte de synthèse lithostructurale. Ce SIG nous a permis aussi à entamer une étude géostatistique des interrelations entre les linéaments géologiques (fracturation). A la fin un, aperçu sur les caractéristiques structurales sur les deux plis anticlinaux basé sur les observations des cartes photogéologiques et des images GEP a été donné, suivie d'une étude préliminaire sur les relations plissement-fracturation.

Mots clés : Djebel Mekther - Djebel Aïssa - Monts des Ksour - cartographie lithologique - linéaments- SIG - étude géostatistique - relation plissement-fracturation

Abstract:

The two studied structures, Djebel Mekther and Djebel Aïssa, are located in the Aïn Séfra region. They are part of the Ksour`s Mountains (or Western Saharan Atlas).

The study has two main objectives: lithological and lineament mapping of the two structures, based on GIS. Supporting geological maps (Ain Sefra, Mékalis) (Galmier 1970) in addition to satellite images from Google Earth Pro (GEP).

The methodology applied in this work is essentially the integration of data into a GIS, which subsequently enabled us to draw up maps: a lithological (geological) map, a lineaments map, and finally a litho-structural synthesis map.

This GIS also enabled us to begin a geostatistical study of the interrelationships between the geological lineaments (fracturing).

Finally, an overview of the structural characteristics of the two anticlinal folds based on observations of photo geological maps and GEP images was given, followed by a preliminary study of fold-fracture relationships.

Keywords: Djebel Mekther - Djebel Aïssa – Ksour`s Mountains - lithological mapping - lineaments- GIS - geostatistical study - fold-fracture relationship

TABLE DES MATIERES

| | |
|-------------------------|--|
| Avant-propos..... | |
| Dédicace..... | |
| Table des matières..... | |
| Résumés..... | |

Introduction générale

Premier Chapitre : Généralités

| | |
|---|-----------|
| 1 Contexte géographique et géologique régional de la zone d'étude :..... | 6 |
| 1.1 Contexte géographique et structurale régional | 6 |
| 1.2 Série géologique de l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour) | 9 |
| 2 Historiques des travaux de recherches dans les Monts des Ksour | 13 |
| 3 Objectifs et méthodes | 16 |

Deuxième chapitre

Etude lithostratigraphique de : Djebel Aïssa et Djebel Mekther

| | |
|---|-----------|
| 1 Description (contexte géologique locale) | 19 |
| 2 Aperçu lithostratigraphique des différentes formations | 20 |
| 2.1 La « Formation de Aïssa »..... | 22 |
| 2.2 La « Formation de Tiloula » | 25 |
| 2.3 La « Formation de Tiout » | 28 |

Troisième Chapitre : Matériels et méthodes, cartographie,

Intégration des données dans un « SIG » et Résultats

| | |
|--|-----------|
| I. Matériels et méthodes : | 33 |
| 1 Données et matériels utilisés..... | 34 |
| 1.1 Données géoscientifiques | 36 |
| 1.2 Données satellitaires : | 37 |
| 1.3 Les Logiciels utilisés : | 37 |
| 1.4 Méthodologie..... | 41 |
| 2 La Cartographie lithologique..... | 42 |
| 2.1 Traitement des données à partir des cartes photogéologiques (limites des différentes unités à cartographier, les accidents tectoniques, etc.)..... | 42 |
| 2.2 Caractérisation des unités et des formations géologiques : | 42 |
| 3 La Cartographie linéamentaire..... | 45 |
| 3.1 Définition de linéament : | 45 |
| 3.2 Cartographie linéamentaire : | 45 |
| 3.3 Méthode : | 45 |
| 4 Intégration des données dans un SIG..... | 47 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1 | Introduction : Présentation du système l'information géographique (SIG) | 47 |
| 4.2 | Méthodologie : | 48 |
| 4.2.1 | Création des bases de données : | 48 |
| 4.2.2 | Intégration des données | 49 |
| II. | Résultats : Validation et Synthèse..... | 56 |
| 1 | Cartographie lithologique..... | 56 |
| 1.1 | Définition des formations géologiques et reconnaissance des unités à cartographier | 56 |
| 1.2 | Cartographie des unités lithologiques (carte lithologique)..... | 57 |
| 2 | Cartographie des linéaments..... | 59 |
| 3 | La carte structurale (Fig. 3. 23) | 60 |
| 4 | Synthèse des résultats : | 61 |
| 4.1 | Carte lithostructurale | 61 |
| 4.2 | Etude statistique de la fracturation globale de chaque structure..... | 62 |
| | A-Avec un pas de 5°..... | 63 |
| | B-Avec un pas de 10°..... | 77 |
| | C-Avec un pas de 20°..... | 83 |
| 4.3 | Aperçu sur les deux plis anticlinaux (Djebel Aïssa et Djebel Mekther) | 90 |
| 4.4 | Relation plissement linéaments géologiques :..... | 91 |
| | Conclusion générale | 95 |
| | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 98 |



Introduction générale

Les travaux de ce mémoire concernent deux structures anticlinales ; Djebel Aïssa et Djebel Mekther, tous deux situés dans la feuille de Aïn Séfra au 1/200 000^{ème} et 1/100 000^{ème}. (Fig. 1. 1). Cette dernière occupe la partie médiane des Monts des Ksour, situés dans la partie occidentale de l'Atlas Saharien.



Fig. 1. 1: Carte topographique d'Aïn Séfra au 1/200 000^{ème}

La ville d'Aïn Séfra est limitée au Nord par Djebel Aïssa et par Djebel Mekther au Sud

Ces travaux s'articulent autour de deux axes à base d'un SIG : **la cartographie des unités lithologiques** et **la caractérisation linéamentaires de ces deux structures** (digitalisation des linéaments à partir de la carte photogéologique au 1/100 000^{ème} d'Aïn Séfra (Fig. 1. 2) et l'extraction d'autres linéaments à partir des images de Google Earth). Par la suite, les résultats obtenus seront eux aussi intégrés dans un « SIG » pour l'élaboration d'une base de données. Cette dernière va nous nous permettre d'élaborer une carte de synthèse lithologique et structurale (lithostructurale) et enfin de procéder à une étude géostatistiques des linéaments géologiques (fractures).

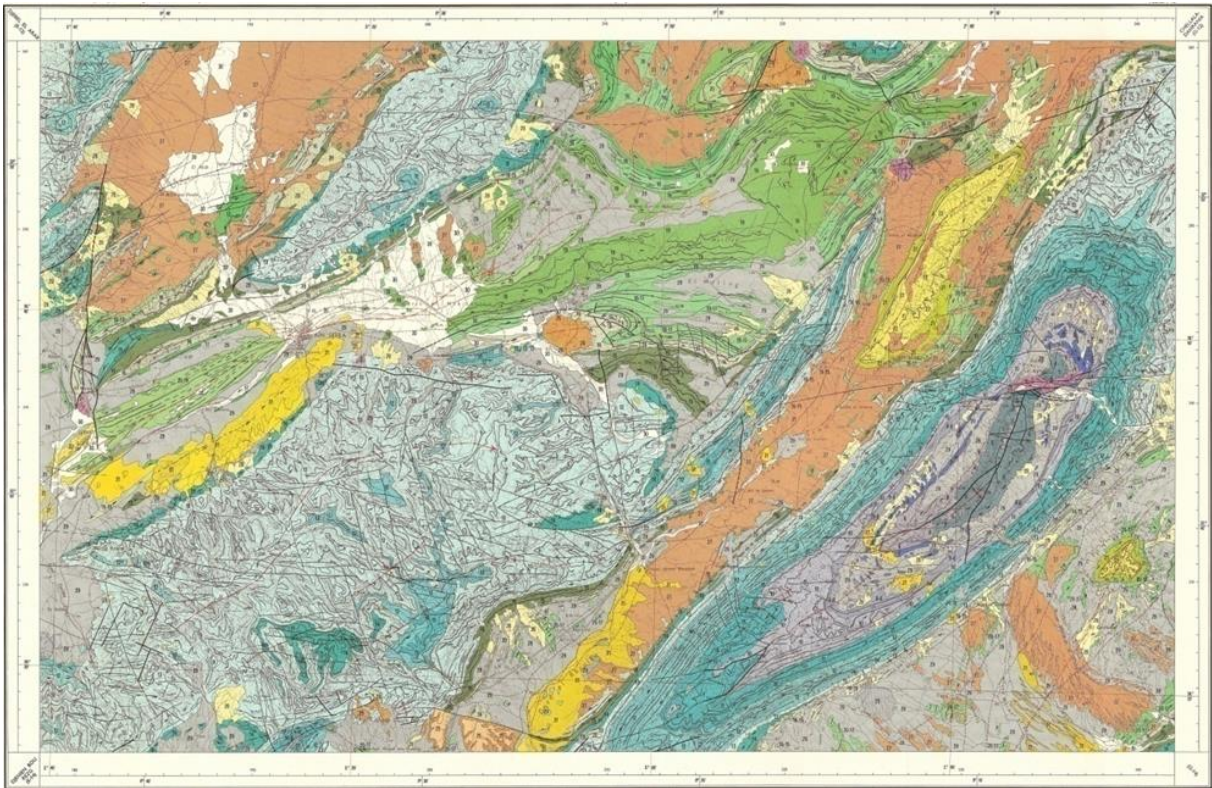


Fig. 1. 2: Carte photogéologique de la feuille d'Aïn Séfra au 1/100 000^{ème} (Galmier 1972)

En définitive, cette tâche va nous permettre d'apprendre à manipuler des logiciels tels que l'ArcGIS le CorelDraw, le GeoRose, etc. et d'améliorer considérablement nos connaissances sur la cartographie (géologique et linéamentaire). Ce travail nous permettrait aussi la mise à jour des données géologiques de la région d'étude et une analyse thématique sur les relations spatiales entre les fractures elles-mêmes et entre les fractures et leur contexte lithostructurale.

Pour effectuer ce modeste travail, nous avons élaboré un plan commençant par une introduction générale et incluant trois chapitres. Un premier chapitre intitulé : Généralités, un deuxième chapitre intitulé : Etude lithostratigraphique des deux structures (Djebel Aïssa et Djebel Mekther), un troisième chapitre intitulé : Matériels et méthodes, cartographie, Intégration des données dans un « SIG » et Résultats. L'étude se termine par une conclusion générale.

Nous recommandons que ce travail doit être suivi et complété par un travail de terrain afin de vérifier, de corriger et de confirmer les résultats qui seront obtenus.

Premier Chapitre : Généralités

Premier Chapitre : Généralités

1. Contexte géographique et géologique régional de la région d'étude
 - 1.1. Contexte géographique et structurale régional
 - 1.2. Série géologique de l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour)
2. Historique
3. Objectifs et méthodes

Premier Chapitre : Généralités

Les structures qui nous intéressent sont Djebel Mekther et Djebel Aïssa, tous deux situés dans le sillon atlasique de l'Atlas Saharien Occidental. Il s'agit de deux grands anticlinaux typiques du tronçon occidental de l'Atlas Saharien qui fait partie du domaine alpin.

1 Contexte géographique et géologique régional de la zone d'étude :

1.1 Contexte géographique et structurale régional

La partie ouest de la chaîne atlasique correspond à l'Atlas Saharien Occidental, appelé aussi « Monts des Ksour » qui se prolonge vers l'Ouest par le Haut Atlas Oriental marocain et les Monts des Aamour vers l'Est. Dans les Monts des Ksour, les altitudes peuvent dépasser 2000 m (Djebel Aïssa, Djebel Mekther) alors qu'elles ne sont que de 1200 m dans les Hautes plaines au Nord et de 800 m dans le Sahara au Sud (figure 1. 3). C'est une région très accidentée où les chaînons sont allongés généralement SW-NE.

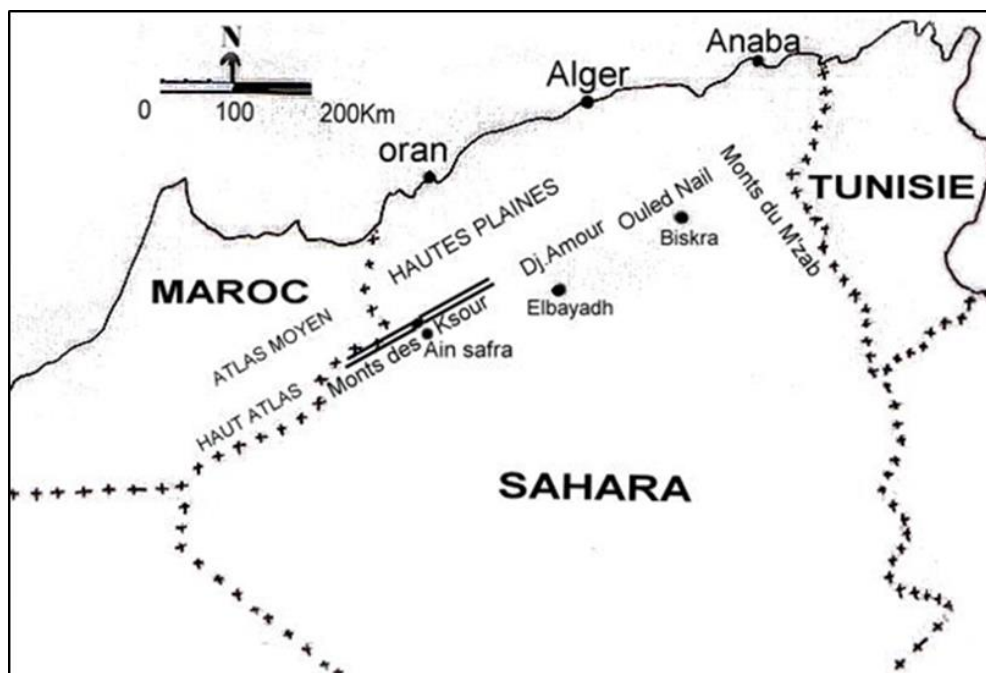


Fig. 1. 3: Carte de situation géographique des Monts des Ksour

L'Atlas saharien est une chaîne intracontinentale qui s'interpose entre deux domaines stables : les Hautes plaines oranaises (ou Méséta oranaises) au Nord et la plateforme saharienne au Sud. Elle est affectée par deux grandes lignes qui marquent ces limites Nord et Sud ; qui correspondent aux accidents Nord et Sud atlasique. (d'après Kacemi, 2005)

Au cours de son évolution tectonique les Monts des Ksour ont acquis des structures complexes. Elles sont le résultat de plusieurs phases tectoniques qui ont débuté au Trias, ou un peu tôt, donnant une architecture en horsts et grabens selon un contexte géotectonique global distensif et transtensif (Kacemi ; 2005, 2013) et suivi par un régime tectonique global compressif et transpressif, qui a débuté très tôt ; vers la fin du Crétacé supérieur.

Les Monts des Ksour sont constitués de plis en échelon de direction générale NE-SW (figure 1. 4, carte des affleurements). Ces structures possèdent un style tectonique caractérisé par des anticlinaux allongés à flancs redressés quelques fois déversés, parfois étroits (Dj. Djara, Dj. Souiga, Dj. Mélah, Dj. Zerga, etc.), parfois larges et très allongés tels que Dj. Aïssa, Dj. Mekther, Dj. Morghad (Aïn Séfra), ou à voûte plus horizontale donnant d'impressionnants plis coffrés (box fold) tel que Dj. Boulerhfad (Aïn Ouarka). Ils sont caractérisés aussi par des grands synclinaux à fond larges tels que les synclinaux de Tiout, de Tirkount, de Skhouna, de Naâma, etc.), et des synclinaux parfois perchés tels que Dj. Rhoundjaïa et Dj. Medaouar dans la région d'Aïn Ouarka. Le style atlasique se reconnaît par la discontinuité de ses anticlinaux (Ritter, 1902), qui prennent naissance et s'éteignent rapidement.

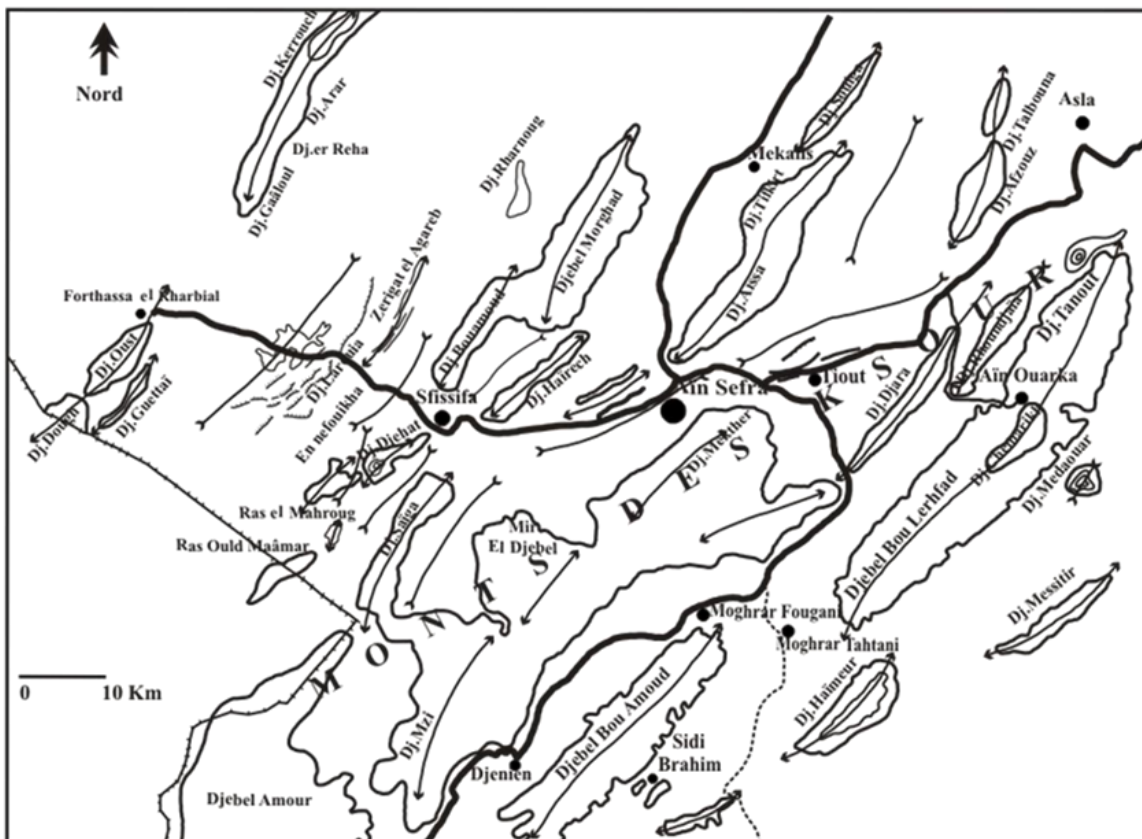


Fig. 1. 4: Carte d'affleurements des ensembles structuraux des Monts des Ksour Atlas Saharien, (Kacemi, 2005)

La phase majeure qui a structuré l'édifice atlasique est datée Eocène ; fin Lutétien-Priabonien (Coiffait et al. 1984), elle a engendré des plis isopaques de direction sud-ouest – nord-est.

Les terrains de l'Atlas saharien occidental appartiennent essentiellement aux séries mésozoïques, d'un âge qui s'étend du Trias jusqu'au Crétacé supérieur. En plus, d'une partie du Tertiaire et du Quaternaire qui reposent en discordance sur le Secondaire occupant généralement les dépressions.

Ces terrains se présentent sous des faciès marins et continentaux. Il faut noter que la région d'Aïn Séfra (Dj. Aïssa, Dj. Morghad, Dj. Mekther, Mir Djebel, etc.) est représentée surtout par des faciès continentaux à mixte argilo-gréseux, très peu carbonaté, d'âge Jurassique supérieur à Cétacé inférieur.

Les différentes formations de la série géologique des Monts des Ksour se présentent sous des faciès marins et continentaux, qui ont évolué dans des environnements de dépôt variés.

La série lithostratigraphique des Monts des Ksour a été subdivisée en cinq ensembles lithologiques (Kacemi, 2013) :

- Des argiles versicolores à gypse, surmontées par du sel d'épaisseur importante, chapeautées par de la dolomie infraliasique et recoupés par des roches vertes à texture ophitique (basaltes tholéitiques d'âge trias supérieur) (Meddah, 2008),
- Un ensemble carbonaté suivis de marnes en alternance avec des calcaires et des marnes franches au sommet (Lias). La série se poursuit par une alternance de calcaires, de marne et de brèches (Début Dogger ; Aalénien).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, avec des niveaux carbonatés plus ou moins important en intercalation dans les argiles (Bajocien inférieur à Bathonien inférieur).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, à la base surmontée par des grès massifs (Bathonien-Callovien à Albien).
- Des argiles à intercalations de bancs gréseux et dolomitiques puis à gypses surmontés de calcaires et de marnes (Vraconien, Cénomaniens, à Turonien).

Cette suite lithostratigraphique englobe la série géologique des Monts des Ksour, c'est-à-dire les différentes formations géologiques des différents auteurs. (Bassoullet, 1973 ; Douihasni, 1976 ; Mékahli, 1998 et Kacemi, 2005 et 2013).

1.2 Série géologique de l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour)

1.2.1 Le Trias

Dans l'Atlas saharien occidental, le Trias affleure dans la région d'Aïn Ouarka, à Djebel Mélah, à Ben Hendjir, à Djebel Djara, Hadjadj, etc., ...). Il est représenté par des argiles versicolores avec du gypse et du sel et des roches volcaniques de couleur verte (basaltes). Les principaux affleurements sont observés en extrusion, généralement le long des failles, favorisant ainsi la remontée du Trias au niveau des axes des anticlinaux, ou à la périphérie de ces anticlinaux.

1.2.2 Le Jurassique

1.2.2.1 Du Lias jusqu'à l'Aalénien

La série sédimentaire du Lias présente, une épaisseur moyenne de 800 m, les calcaires et les marnes occupent la partie majeure dans l'Atlas saharien occidental. Cette série qui est subdivisée en plusieurs « Formations » nommées suivant la toponymie de la région selon les trois secteurs des monts des Ksour (oriental, médian et occidental). Ces formations ont été décrites aux djebels Chémarikh (secteur oriental), Souiga, Mélah, Zerga (secteur médian) et Bourhnissa et Réha (secteur occidental) par J.P. Bassoullet (1973), M. Douihasni (1976), R. Aït Ouali (1991), L. Mékahli, (1995, 1998) et A. Kacemi (2013).

1.2.2.2 Le Dogger (Tableau 1. 1 et Fig. 1. 5)

Le Dogger occupe généralement les flancs des anticlinaux, tels que Djebel Souiga, Djebel Mélah, Djebel Chémarikh Djebel Djara, Djebel Zerga etc. Les faciès constituant cette série sont représentés par des calcaires oolithiques prédominants en quelques endroits, des calcaires à lumachelles, des dolomies, des argiles et des grès. Il s'agit des « Formations de Teniet El Klakh, de Tifkirt et de Djara »

1.2.2.3 Le Malm (Tableau 1. 1 et Fig. 1. 5)

Il constitue l'Oxfordien, le Kimméridgien et le Portlandien. Il est représenté en grande majorité par la « Formation de Aïssa » et occupe les grands anticlinaux tels que Dj. Aïssa, Dj. Mekther, Dj. Morghad, etc.

Tableau 1. 1: Essai de corrélation lithostratigraphique dans l'atlas saharien occidental (Début Dogger au Crétacé inférieur) de la « Formation de Teniet el Klakh » à la « Formation de Tiout » (Kacemi, 2013)

| BREZINA MORIZET (1970) | | | AIN SEFRA BASSOULLET (1973) | | AÏN OUARKA-TIOUT KACEMI (2005-2013) | | ZERGA-OULAKAK | |
|---------------------------------------|--|---------------------------|---|--------------------------------------|--|--|--|-----------------------------|
| Alternance argilo-calcaire | Albien supérieur | | Alternance argilo-grés-carbonaté | F. D'EL RHELIDA | Vraconien | | | Albien |
| Grès à dragées | Grès à dragées | Néocomien-Albien | Grès | Niveau à vertébrés (oued Boudjihane) | Albien | Grès supérieurs de TIOUT | Absence de toutes les formations (non dépôt) | Albien |
| Alternance argilo-calcaire | “Série argilo-calcaire” | | Argiles | FORMATION DE TIOUT | Aptien | Alternance à dominance argileuse et à influence tidale | | Aptien |
| Grès à dragées | Grès à dragées | | Grès | | Barrémien | Grès inférieurs de TIOUT | | Barrémien |
| combes argilo-calcaires-gypse et grès | Combes argilo-calc. Et argilo-gypseuses et grès intermédiaires | Sommet du jurassique sup. | Alternances grés-argilo-dolomitiques | FORMATION DE TILOULA | Tithonien-Néocomien | Argiles Grès intermédiaires de Tiloula Argiles | | Tithonien-Néocomien |
| Grès | “Grès supérieurs” | | Séries grés-argileuse à rares passées de dolomies | FORMATION D'AÏSSA | Portlandien Kimmeridgien | Grès à dragées Alternance argilo-grés-dolomitique | Grès à dragées légèrement carbonaté | Portlandien Kimmeridgien |
| Alternance marno-calcaire | Combe intermédiaire Kimmeridgien | Som. Dog. Base Malm. | Alternances de dolomie de grès et d'argiles | FORMATION DU DJARA | Callovien Oxfordien | Alternance de grès argiles et dolomies | Alternance de grès argiles, dolomies et de calcaires | Bath. Inf/Callov. Oxfordien |
| Grès | “Grès inférieurs” | | | | FORMATION DE TIFKIRT | Bajocien sup. Bathonien inf. | Péri récifale Récifale | Péri récifale Récifale |
| | | | | FORMATION DE TENIET EL KLAKH | Bajocien supérieur | Argilo-carbonaté Argilo-gréseux | Argilo-carbonaté Argilo-gréseux | Bajocien supérieur |

1.2.3 Le Crétacé (Tableau 1. 1 et Fig. 1. 5)

1.2.3.1 Le Passage Jurassique-Crétacé et Crétacé inférieur

En général, ce sont des dépôts continentaux, représentés par des faciès argileux et gréseux. Ils englobent le Tithonien-Néocomien, le Barrémien, l'Aptien et l'Albien.

Il concerne la « Formation de Tiloula » d'âge Tithonien-Néocomien, constituée par des argiles intercalées par des niveaux gréseux et de la dolomie en petits bancs. Cette dernière est surmontée par la « Formation de Tiout » d'âge Barrémien-Aptien-Albien qui est entièrement détritique et est représentée essentiellement par des argiles et des grès à dragées de quartz intercalés par des argiles d'épaisseur relativement importante.

1.2.3.2 Le Crétacé supérieur

La transgression cénomanienne met fin à la sédimentation continentale du Barrémo-Albo-Aptien. Le Vraconien, constitue la base des synclinaux perchés au niveau de l'Atlas saharien occidental (Kacemi, 2005). Il faut signaler que les formations qui intéressent le Vracono-Cénomaniens-Turonien sont celles de Rhelida et de Medaouar définies par J.P. Bassoullet (1973), surmontées par la « Formation de Rhoundjaïa » définie par M .Douihasni (1976).

1.2.4 Le Tertiaire continental

Localement, il englobe une série argilo-gréseuse rougeâtre avec des conglomérats à la base. Cette dernière est surmontée d'une croûte calcaire attribuée au Pliocène.

Aucune étude de détail n'a été faite à ce jour.

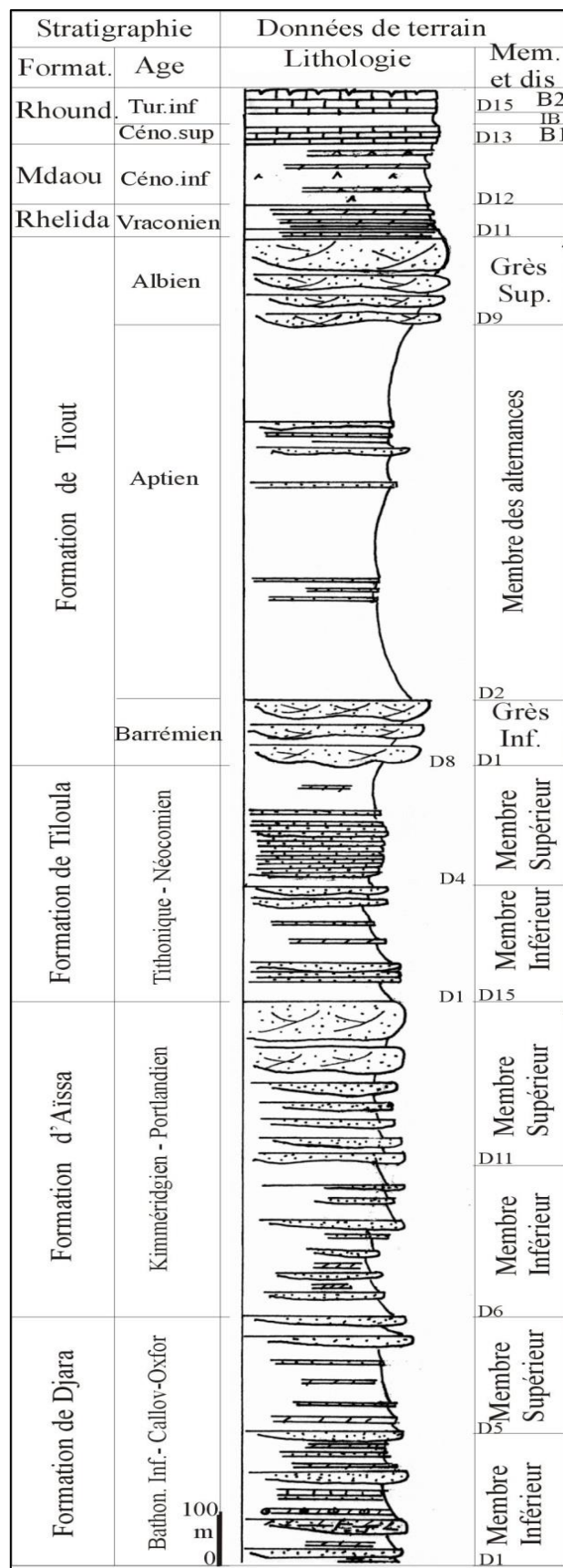


Fig. 1. 5: Coupe lithostratigraphique de la série du Bathonien au Turonien inf. de la « Formation de Djara » à la « Formation de Rhoundjaïa » des Monts des Ksour (Kacemi, 2005)

1.2.5 Le Quaternaire

Les formations quaternaires sont constituées par plusieurs types de dépôts :

- Les limons anciens : attribués au Plio-Quaternaire et Quaternaire ancien et constituent des alluvions connues sous le terme de « formations tufacées » (D. Galmier, 1972). A ces limons anciens sont rattachés des tufs et travertins localisés à proximité des sources et souvent liées à des accidents (M. Douihasni, 1976).
- Les colluvions de piémonts : constitués de cailloutis formant les brèches de pente.
- Les alluvions anciennes : Ce sont des formations argilo-sableuses et conglomératiques. Elles sont peu épaisses, localisées sur les étendues planes ou dans les dépressions de faible pente.
- Les alluvions récentes : Sont constituées de sables, et jalonnent les lits des Oueds.
- Les formations éoliennes : Elles sont assez répandues dans la région d'Ain Séfra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekther.

2 Historiques des travaux de recherches dans les Monts des Ksour

Plusieurs travaux ont été réalisés dans l'Atlas Saharien occidental durant la période du Jurassique et qui fait encore l'objet de plusieurs recherches :

- J. **WELSCH** (1889) étudia la faune d'El Harchaïa (Naâma). Qui prouve l'existence du Jurassique moyen
- En 1911, **FLAMAND** présenta une importante thèse sur l'Atlas saharien, le Tell et les régions frontalières Algéro-marocaines dans laquelle il traita plusieurs domaines ; la géomorphologie, la tectonique et la paléontologie. L'auteur établira des cartes géologiques aux 1/200 000^{ème}, 1/400 000^{ème} et au 1/800 000^{ème}. La stratigraphie a été aussi abordée dans son œuvre, il réalisa une échelle stratigraphique de base au sein de laquelle le Jurassique a été étudié en détail dans la région de Djebel Mélah, Djebel Souiga, Djebel Chémarikh et dans le chaînon de l'Antar Guettaï. Il attribua le complexe des grès, d'argiles sableuses, de pseudo cargneules et des lumachelles au Jurassique supérieur tout en signalant des calcaires au Kimméridgien dans l'Atlas saharien occidental.

- Durant la période 1950-1952, **CORNET** apporta des modifications à l'échelle stratigraphique publiée auparavant par FLAMAND ainsi qu'une analyse structurale globale. Il interpréta la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000ème où il montra la diminution des terrains jurassiques vers le NE qui sont marins au Jurassique inférieur au fur et à mesure qu'on monte dans la série et les dépôts gréseux apparaissent depuis le Jurassique moyen et persistent jusqu'au Crétacé inférieur.

- **LASNIER** effectua en 1965 une étude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique d'Aïn Séfra et Mécheria.

- Par la suite, **GALMIER** en 1970, réalisa neuf cartes photogéologiques au 1/100.000^{ème} en se basant sur l'interprétation des photos aériennes. Cette étude comporta des unités lithostratigraphique de 1 à 31 et permet d'avoir une idée sur la tectonique de l'ensemble des Monts des Ksour.

- L'année 1973 verra la présentation de la thèse de **BASSOULET**. Ce travail constitue incontestablement une référence d'une grande importance pour tous les géologues qui s'intéressent aux séries mésozoïques des Monts des Ksour. Il présente une subdivision lithostratigraphique. Cette dernière est en liaison avec l'évolution sédimentaire du bassin des Ksour.

- Dans une étude stratigraphique et structurale de la partie Est des Monts des Ksour (de Boussemghoun jusqu'à Aïn Ouarka), **DOUIHASNI** (1976) compléta la partie stratigraphique de BASSOULET et donna une analyse structurale et procéda à une analyse de la fracturation.

- En 1986, **KAZI TANI** présente une synthèse sur l'évolution géodynamique de la bordure Nord-Africaine dont laquelle il proposa deux grands groupes : - « Un groupe éoalpin inférieur I », à caractère transgressif depuis le Trias jusqu'au Lias. - « Un groupe éoalpin médian II », à caractère régressif qui va du Toarcien à l'Oxfordien.

- **DELFAUD** (1973, 1987), présente de nombreuses notes et publications sur le thème de la sédimentologie, l'analyse séquentielle, le remplissage du bassin atlasique et le complexe deltaïque des Ksour.

- En 1986 et dans une note intitulée « Le remplissage des bassins » **DELFAUD** a effectué une étude générale de delta des Ksour sur la stratigraphie du jurassique moyen au crétacé inférieur.

- En 1991, **AÏT OUALI** a étudié les séries du Lias des Ksour dans le cadre du rifting liasique de l'Atlas saharien occidental.
- En 1994, **ALMERAS et al**, présentent une échelle biostratigraphiques, basée sur les brachiopodes du Jurassique moyen et citent grâce aux levées de plusieurs coupes de références, des faunes de brachiopodes et d'ammonites dans les Monts des Ksour.
- En 1995, **MEKAHLI** dans le cadre de sa thèse d'état réalise un travail important sur l'évolution des Mont des Ksour de l'Hettangien au Bajocien supérieur : biostratigraphie sédimentologie et stratigraphie séquentielle.
- **KACEMI** (2005) réalisa une carte géologique du secteur ouest de l'Atlas saharien occidental et étudia la dynamique sédimentaire de la série fin Dogger – début Crétacé ; lithostratigraphie, sédimentologie, analyse séquentielle et stratigraphie séquentielle des différentes formations du Jurassique moyen au Crétacé en donnant un modèle du delta des Ksour. Il subdivisa les Monts des Ksour en secteur occidental et secteur oriental selon un axe orienté SSW-NNE.
- En 2010, **MEDDAH** dans une thèse de doctorat étudié, la province magmatique de l'Atlantique Central (CAMP) dans le bassin des Ksour (Atlas Saharien Occidental, Algérie)
- En 2013, **KACEMI** dans une thèse de Doctorat en sciences intitulée « Evolution lithostructurale des Monts des Ksour (Atlas Saharien, Algérie) au cours du Trias et du Jurassique : Géodynamique, Typologie du bassin et Télédétection », étudia la dynamique tectono-sédimentaire (litho- structurale) et établi un modèle tectonique de fonctionnement de ces bassins des Ksour.
- De 2005 à 2022, plusieurs publications, mémoires d'ingéniorats et de Masters ont été réalisés dans cette région.

3. Objectifs et méthodes

L'intitulé du sujet : Cartographie géologique et caractérisation linéamentaire de deux structures : Djebel Aïssa et Djebel Mekther (Aïn Séfra), Monts des Ksour-Atlas Saharien-Algérie, à base d'un SIG

Affleurant au Nord et au Sud de la ville d'Aïn Séfra, les deux grandes structures ; djebel Aïssa au nord et djebel Mekther au sud (plus de 2000m d'altitude, Aïssa 2236m, point culminant des Monts des Ksour), n'ont pas été étudiés. Pour débiter ce modeste projet, l'étude commencera par la cartographie géologique et linéamentaire de ces deux structures en se basant surtout des cartes photogéologiques d'Aïn Séfra et de Mékalis au 1 : 100 000^{ème} de Galmier, des images de Google Earth et des fonds topographiques au 1 : 500 000^{ème}, 1 : 200 000^{ème} et 1 : 100 000^{ème} d'Aïn Séfra

Trois objectifs principaux sont tracés pour cette étude :

- ✓ 1^{er} objectif : la cartographie géologique (lithologique)
- ✓ 2^{ème} objectif : caractérisation linéamentaire (étude de la fracturation)
Pour arriver à ces objectifs, il faut élaborer un SIG. L'utilisation de ce dernier nécessite une méthode, des données, du matériel et des logiciels.
- ✓ Le 3^{ème} objectif est donc d'apprendre à manipuler des logiciels pour l'élaboration du SIG
- ✓ Un 4^{ème} objectif peut être cité c'est l'étude géostatistiques globale des linéaments.

Méthode d'étude :

Le thème proposé est un travail surtout de laboratoire : il s'agit dans un premier temps de se documenter sur les formations géologiques cartographiables à partir des travaux antérieurs et apprendre à travailler avec des logiciels de cartographie, de géostatistique, de dessin, etc.,

- **Pour le 1^{er} objectif** : se baser sur d'anciennes cartes géologiques, cartes photogéologiques, photos aériennes, images satellitaires et image Google Earth Pro :
 - Procéder à une analyse thématique des cartes des structures étudiées.
 - Définir les différentes limites de couches et les différentes faciès lithologiques des formations concernées afin d'arriver à une bonne discrimination des contours géologiques, des structures tectoniques et de la lithologie.

- **Pour le 2^{ème} objectif** : se baser sur les cartes photogéologiques de Galmier, photos aériennes, images satellitales et image Google Earth Pro pour caractériser le plus grand nombre de linéaments géologiques.

- **Pour le 3^{ème} objectif** : Pour l'élaboration des SIG, le logiciel principal que nous allons utiliser c'est l'ArcGIS. Nous allons utiliser aussi ce dernier pour la cartographie. Nous travaillerons aussi avec le support numérique « Google Earth Pro » en plus des logiciels de cartographie tels que l'ENVI, etc. pour la cartographie géologique et la cartographie des linéaments.

Enfin, concernant le 4^{ème} objectif, c'est-à-dire l'étude géostatistique des linéaments (la fracturation), nous utiliserons les logiciels suivants : l'Excel, GeoRose, etc.

Deuxième chapitre

Etude lithostratigraphique des deux structures Djebel Aïssa et Djebel Mekther

Deuxième chapitre

Etude lithostratigraphique des deux structures Djebel Aïssa et Djebel Mekther

1. **Description** (contexte géologique local)
2. **Aperçu lithostratigraphique sur les différentes formations**
 - 2.1.La « Formation de Aïssa »
 - 2.2.La « Formation de Tiloula »
 - 2.3.La « Formation de Tiout »

Deuxième chapitre :

Etude lithostratigraphique de : Djebel Aïssa et Djebel Mekther

1 Description (contexte géologique local)

L'étude concerne deux grandes structures géologiques ; Djebel Aïssa et Djebel Mekther qui limitent la ville d'Aïn Séfra respectivement au Nord et au Sud. Elles portent les points culminants de la région des Monts des Ksour (figure 2. 1).



Fig. 2. 1: Morceau de carte issu d'une carte topographique de Aïn Séfra au 1 / 200 000^{ème} montrant Djebel Aïssa au Nord et Djebel Mekther au Sud, d'Aïn Séfra

Djebel Aïssa, orienté N037E fait 25 Km de long et 7km de large au NE (3km de large au SW) et culmine à 2236m, à l'Est de Aïn Rachgoun et au Sud de Aïn Aïssa (Fig. 2. 1).

Djebel Mekther, orienté N042E, fait 29Km de long et 19km de large au NE (15Km de large au SW) et culmine à 2062m, à Ras Ech Chergui (Fig. 2. 1).

A première vue, les deux structures ont une orientation SW-NE, par contre Dj. Mekther paraît plus large et trapus et Dj. Aïssa plus étiré et plus élevé et tous deux orientés à N040° en moyenne.

2 Aperçu lithostratigraphique des différentes formations

Structuralement, les deux structures qui nous intéressent constituent des anticlinaux, séparés par un synclinal plus ou moins large, qui fait 5km de large à l'Ouest d'Aïn Séfra (plus de 5km dans le « synclinal de Skhouna »), 4 à 4,5km de large à Aïn Séfra « le synclinal d'Aïn Séfra ». À l'Est vers Tiout, il devient de plus en plus large pour atteindre 19km de large dans le « synclinal de Tiout ». Toutes ces structures sont orientées SW-NE. Aïn Séfra affleure au cœur du synclinal qui porte son nom, le « synclinal d'Aïn Séfra » (Fig. 2. 2).

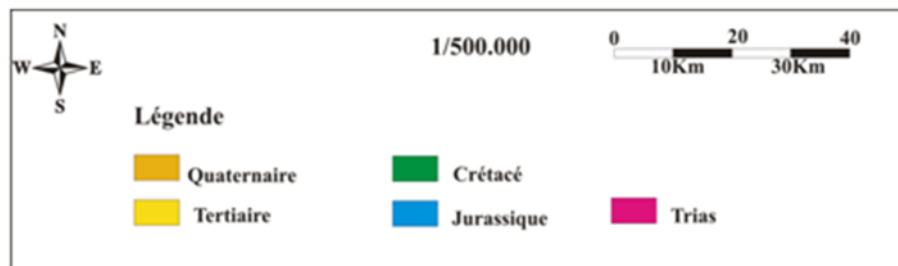
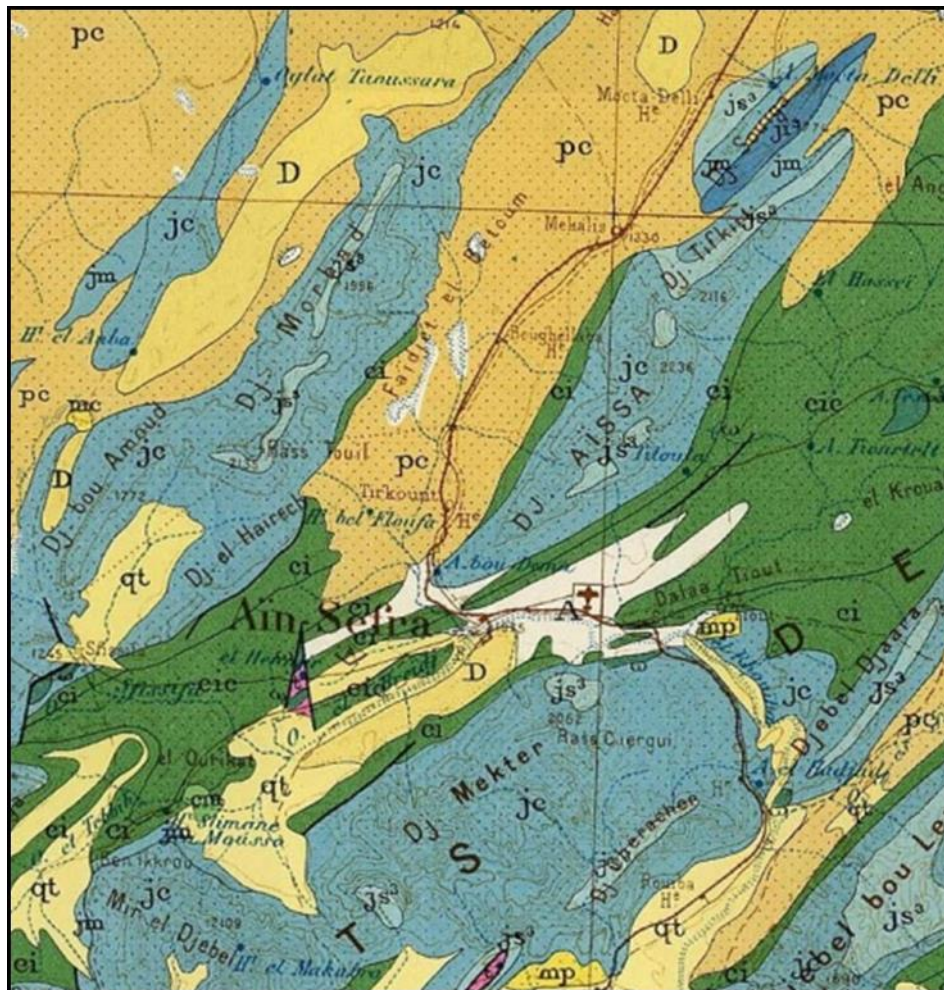


Fig. 2. 2.: Carte géologique de la zone d'étude issue de la carte géologique au 1/500.000^{ème} (Cornet, 1952) montrant les deux anticlinaux d'âge Jurassique supérieur (en bleu) et les synclinaux d'âge Crétacé inférieur (en vert).

L'âge approprié à cette zone est Jurassique supérieur-Crétacé inférieur. Il regroupe les formations d'Aïssa, de Tiloula et de Tiout sur plus de 2000 m de sédiments. La première formation constitue les anticlinaux, la deuxième débute les synclinaux et la troisième forme les synclinaux (Fig. 2. 2). Ce secteur est caractérisé par une sédimentation détritique dans des environnements de dépôts en général mixtes à continentaux.

La « Formation d'Aïssa » a été levée à djebel Djeraouine (flanc NW de Chémarikh), à djebel Djara, à Belafloufa (Garet Debba et Dir El Haïrech), etc., par différents auteurs dans des thèses de doctorat, de magister, des mémoires d'ingénieur et de Master (les auteurs). La « Formation de Tiloula » a été levée à Djebel Djara (flanc SE), à Djebel Aïssa (flanc SE), à Teniet Souan et Aouinet El Mendil (région de Tiout flanc NW de Djara), à Belafloufa (Garet Debba et Dir El Haïrech) (synclinal de Skhouna) (les auteurs). La « Formation de Tiout » a été levée à Tiout (synclinal de Tiout) à Belafloufa (Garet Debba et Dir El Haïrech) (synclinal de Skhouna) et le flanc Nord de Garet Debba (Garet El khail) (synclinal de Tirkount) (les auteurs).

Une description lithostratigraphique des trois formations qui constituent la zone d'étude (les deux anticlinaux ; Aïssa et Mekther et le synclinal d'Aïn Séfra) sera effectuée suivant des coupes plus complètes qui seront choisies. Une coupe levée à Dj. Boulerrhad pour la formation d'Aïssa, une coupe levée dans le flanc SE de Dj. Aïssa pour la formation de Tiloula et enfin une coupe levée à Tiout pour la formation de Tiout, seront décrites sommairement.

2.1 La « Formation de Aïssa »

Pour l'étudier nous allons décrire la coupe d'Aïn Ouarka (Kacemi, 2005) : Il s'agit d'une coupe levée à Djebel Djeraouine (flanc NW de Chémarikh) par notre encadreur (fig. 2. 3). Une description sommaire de cette coupe sera abordée.

C'est une formation de 625m d'épaisseur, où les couches de direction SW-NE et à pendage NW se suivent sans discontinuité apparente sur les couches de la formation précédente ; la « Formation de Djara ».

La limite inférieure est marquée par un (*hard ground*) sur des grès massifs (17m), riches en fragments de bois silicifiés et limonitisés. La limite supérieure est marquée par la disparition des grès rosâtres, la stratodécroissance des grès, l'apparition des argiles surtout verdâtres et des petits bancs dolomitiques de la « Formation de Tiloula ». Cette formation a été subdivisée en deux membres :

2.1.1 Membre inférieur (ou membre des alternances espacées) (300m)

Ce membre est constitué généralement d'argiles de couleur verdâtre ou lie de vin affleurant en combes, intercalées par des grès en plaquettes à grains fins de couleur blanchâtre de faibles épaisseurs. Ces combes, de 4m à 33m d'épaisseur, alternent avec des barres de grès à grandes stratifications obliques qui peuvent atteindre 25m d'épaisseur. Ces combes argileuses et ces barres gréseuses se présentent en alternances espacées. Ce membre est caractérisé par la puissance des argiles (plus de 30m) et la présence de niveaux dolomitiques (décimétriques) à la base et qui disparaissent au sommet.

Ce membre englobe deux termes (a et b), le terme a est constitué d'une alternance espacée d'argiles de grès et de dolomies et le terme b d'une alternance d'argiles et de grès et la disparition des dolomies (A. Kacemi, 2005).

2.1.2 Membre supérieur (ou alternances rapprochées) (325m)

Ce membre est caractérisé par la rareté des argiles et quand elles existent, elles sont de faible épaisseur. Les bancs de grès peuvent atteindre une soixantaine de mètres. La partie supérieure de ce membre est caractérisée par la couleur rosâtre des grès et la présence de dragées de quartz.

Ce membre est composé de deux termes (c et c). Le terme c est constitué d'une alternance serrée de grès en gros bancs et d'argiles. Dans le terme d par contre, on note la disparition des argiles et les grès se présentent en gros bancs chenalisés et à dragées de quartz.

La « Formation de Aïssa » d'environ 625m d'épaisseur, constitue une mégaséquence de comblement (4^{ème} ordre), à tendance générale régressive. Il s'agit d'une succession de séquences deltaïques (front de delta et plaine supradeltaïque) (Kacemi, 2005).

L'apparition des argiles vertes intercalées par des grès fins à laminations obliques et entrecoupées en alternance avec des lits dolomitiques de faible épaisseur, annonce la « Formation de Tiloula ».

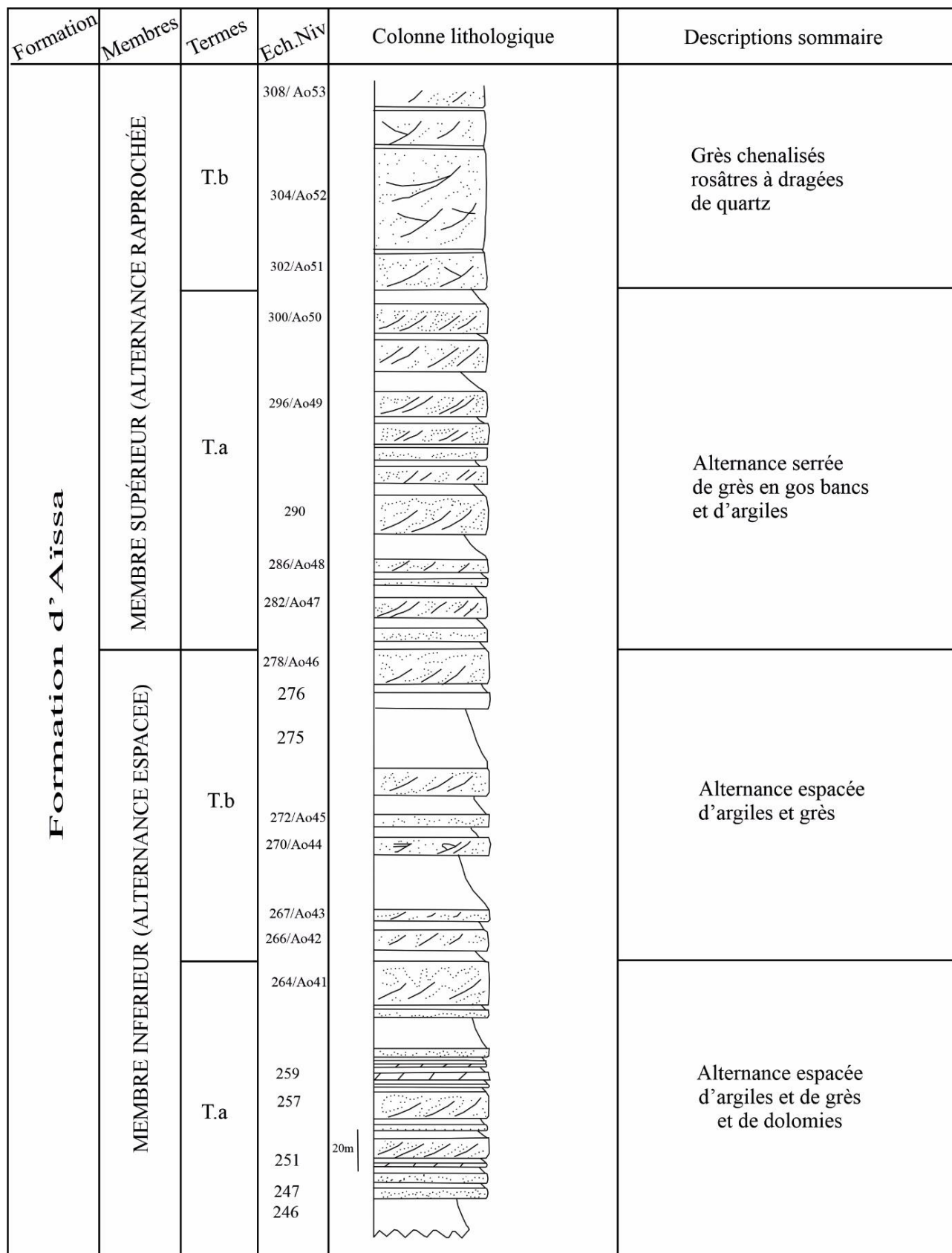


Fig. 2. 3 Coupe lithostratigraphique de la « Formation d'Aïssa » du secteur oriental des Monts des Ksour, (levée à Dj. Djeraouine), Kacemi, 2005

2.2 « Formation de Tiloula » (Fig. 2. 4)

Défini par J. P. Bassoullet (1973) dans une coupe levée à Aïn Tiloula (source située sur le flanc Sud Est de Djebel Aïssa) elle est constituée d'argiles pélitiques versicolores (grisâtres, verdâtres et violacées à rougeâtres), de grès de couleur claire, de petits bancs de dolomies présents dans la partie basale et qui disparaissent dans la partie sommitale.

Nous reprenons la description d'une coupe déjà levée par notre encadreur (Kacemi, 2005), dans le flanc SE de Djebel Aïssa.

D'une épaisseur de 466m, cette formation est facilement décelable dans le terrain. Elle constitue un repère structural important car elle débute les grands synclinaux à fond plat par de fortes arêtes gréseuses. Dans notre secteur, elle occupe la périphérie de djebel Aïssa et de djebel Mekther, comme elle débute le « synclinal d'Aïn Séfra » au Nord et au Sud.

La coupe commence par un changement de faciès caractérisé par un passage bien net des grès massifs du membre supérieur de la formation d'Aïssa à une combe constituée d'un ensemble d'argiles rouges et vertes, des grès en petits bancs et quelques bancs de dolomies centimétriques. Ensuite apparaissent des arêtes gréseuses biens visibles (Dir Aïssa).

La limite inférieure de la formation est placée au-dessus des grès massifs rosâtres à dragées de quartz de la formation d'Aïssa. La limite supérieure correspond à l'apparition des grands bancs décimétriques de grès massifs roses rougeâtres à dragées de quartz de la formation suivante (Formation de Tiout).

Cette formation est caractérisée par (i) l'augmentation des épaisseurs des argiles qui étaient très faible dans la formation précédente ; (ii) l'apparition de niveaux dolomitiques et (iii) la disparition des grès rosâtres à dragées de quartz avec l'apparition des grès à grains fins plus ou moins massifs ou en plaquettes à très faibles épaisseurs et très espacés. Elle a été subdivisée en deux membres, inférieur et supérieur.

2.2.1 Le membre inférieur (228 m) (Fig. 2. 4)

Ce membre a été subdivisé en trois termes suivant la présence ou l'absence des grès de grandes épaisseurs.

- Terme a (44 m) : débute par une combe argileuse avec à la base des argiles verdâtres en alternance avec des argiles indurées silteuses rougeâtres sur plus de 20 m d'épaisseur. Ensuite vient des grès rougeâtres, jaunâtres, verdâtres, micacés et à rides de courant, à grains fins, à laminations horizontales et entrecoupées, d'épaisseur centimétrique, en alternance avec des argiles rouges et vertes d'ordre métrique (1 à 5 m). Les 16 derniers mètres de ce terme correspondent à une alternance d'argiles (rouges à la base et vertes au sommet) et de grès massifs chenalisés à stratifications obliques à l'échelle de l'affleurement.

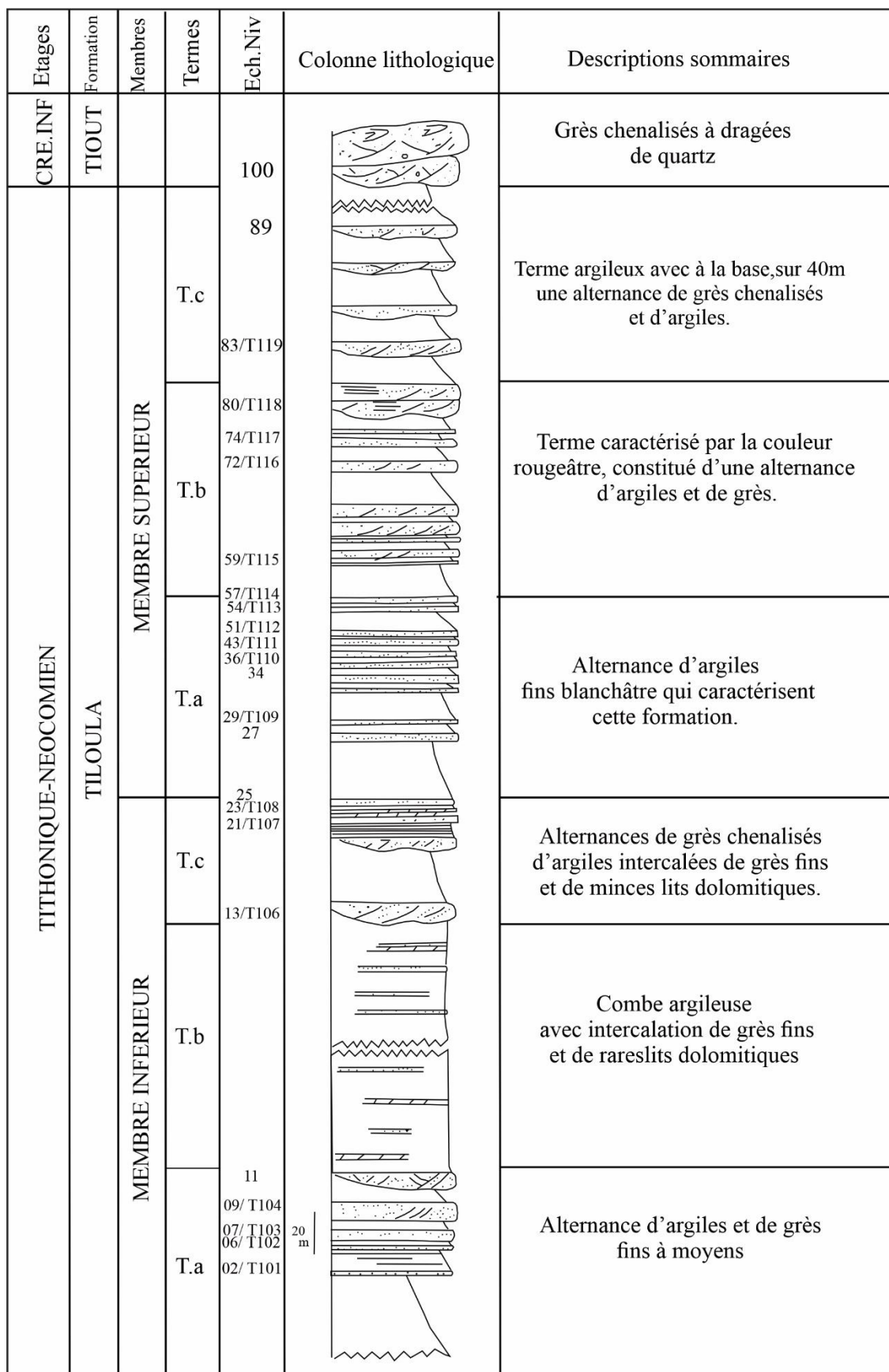


Fig. 2. 4: Coupe lithostratigraphique de la « Formation de Tiloula » levée à Dj. Aïssa (flanc SE) (Monts des Ksour), Kacemi, 2005

Ces grès sont blanchâtres à la cassure, à grains moyens à contact net. Le dernier banc de ces grès est rosâtre à la cassure à grains moyens et à petits dragées de quartz millimétrique au sommet.

- Terme b (154m) : correspond à une combe argileuse avec à la base des argiles verdâtres parfois rougeâtres à interlits de silts et quelques niveaux dolomitiques. Les argiles sont prédominantes. Elles sont pélitiques et montrent quelques passées finement gréseuses. Ces argiles présentent des intercalations centimétriques de grès à rides de courant. Les dolomies se présentent en bancs très minces centimétriques (20 cm maximum), à patine ocre, mielleuse ou jaunâtre à aspect parfois cargneulé.

- Terme c (30m) : débute par un banc de grès massif chenalisé (3m), claire à la cassure à grains moyens, à stratifications obliques et entrecoupées, suivi d'argiles verdâtres (18m). Puis viennent des grès massifs et en plaquettes, en bancs métriques rougeâtres à grains fins à moyens, à stratifications obliques et entrecoupées. Ensuite apparaissent deux petits bancs centimétriques de calcaires dolomitiques (0,40 et 0,15 m) de couleur gris clair à vert jaunâtre. Enfin un grès noirâtre à la patine, rouge clair à la cassure, à grains moyens à grossiers, à stratifications entrecoupées et à surface supérieure taraudée (perforée) vient terminer ce terme.

Plus à l'Est (à Tiloula), dans ce membre inférieur, Bassoullet (1973) a signalé la présence de charbon.

2.2.2 Le membre supérieur (238 m) (Fig. 2. 4)

Ce membre a été subdivisé en trois termes selon la lithologie, la couleur et la morphologie des barres gréseuses.

- Terme d (55 m) : débute par des argiles rouges (17 m). Ce terme est caractérisé par la présence d'un grès fin à très fin blanchâtre et très propre (0,7 à 2m), à ciment siliceux, parfois à galets mous verdâtres et présente des litages obliques parfois entrecoupés de petite taille et des *flaser bedding*. Ces grès caractérisent cette « formation de Tiloula ». Ils alternent avec des argiles rougeâtres et des grès massifs blanchâtres ou rougeâtres à grains moyens friables, à stratifications obliques à l'échelle du banc, à structure chenalisée, à galets mous et à fragments de bois silicifiés.

Ce terme se termine par un niveau bréchi que (0,20m) (n°. 114) à ciment gréseux et à éléments carbonatés et détritiques et qui passe latéralement à une dolomie noirâtre à fentes de dessiccation et à rides de courant, montrant une émersion ou un arrêt de sédimentation.

- Terme e (53m) : à partir de ce niveau, la couleur du paysage change et devient rouge après qu'elle était claire (phénomène observé de très loin). Ce terme commence par des argiles rougeâtres (8m), puis un niveau de dolomie rosâtre cryptocristalline de 0,15 m d'épaisseur. Le reste de ce terme correspond à une alternance de grès et d'argiles. Les grès sont chenalisés, à grains moyens, de couleur blanchâtre à rosâtre, massifs ou en plaquettes. Ils présentent de grandes stratifications obliques et entrecoupées. Parfois, le sommet de ces grès est marqué par des perforations.

Le sommet de ce terme est représenté par un grès en plaquettes rosâtre à litages obliques et entrecoupés, riche en fragments de bois limonitisé et sa surface supérieure est marquée par une surface durcie (*hard ground*).

- Terme f (130m) : représente le sommet de la « formation de Tiloula ». Il est à prédominance argileuse de couleur lie-de-vin. Il renferme à la base des niveaux gréseux de 1 à 4 m d'épaisseur intercalés dans des argiles sur 40 m d'épaisseur. Ce sont des grès massifs chenalisés de couleur rosâtre, à grains moyens, à galets mous rougeâtres et présentent des stratifications obliques. Par la suite la sédimentation devient totalement argileuse sur 90 m d'épaisseur.

Un essai de corrélation établi par Bassoullet (1973) montre que le passage Jurassique - Crétacé inférieur s'effectuerait au sein de la « Formation de Tiloula ».

Dans le secteur d'étude le début de la formation suivante (la « Formation de Tiout ») est matérialisé par un niveau de 15m de grès massifs rosâtres chenalisés, à grains moyens, à dragées de quartz de taille variable (de 0,5 à 2,5 cm) et à base ravinante. Ces grès présentent de grandes stratifications obliques à figures de contournement noirâtres, marquant des périodes d'émersion brusque.

2.3 La « Formation de Tiout » (Fig. 2. 5)

Formation définie par J.P. Bassoullet (1973) relativement au nom du village de « Tiout ». Elle se compose d'argiles, de grès fins, moyens ou grossiers, sableux et à dragées de quartz. Ces grès correspondent aussi aux « grès à dragées » ou « grès albiens » des anciens auteurs.

Cette formation occupe le cœur des synclinaux de l'Atlas saharien occidental et se divise en trois membres (inférieur, médian et supérieur).

Dans la région d'étude ; dans le synclinal d'Aïn Séfra, il est impossible de lever cette coupe car la ville de Aïn Séfra est construite sur cette formation et l'Oued Aïn Séfra traverse le cœur du synclinal.

Nous reprenons une coupe déjà levée par notre encadreur (Kacemi, 2013). Il s'agit d'une coupe levée à Tiout, dans le « synclinal de Tiout » qui est la plus complète plus de 1100m d'épaisseur. Pour avoir une idée sur cette formation, une description très sommaire de cette coupe sera donnée.

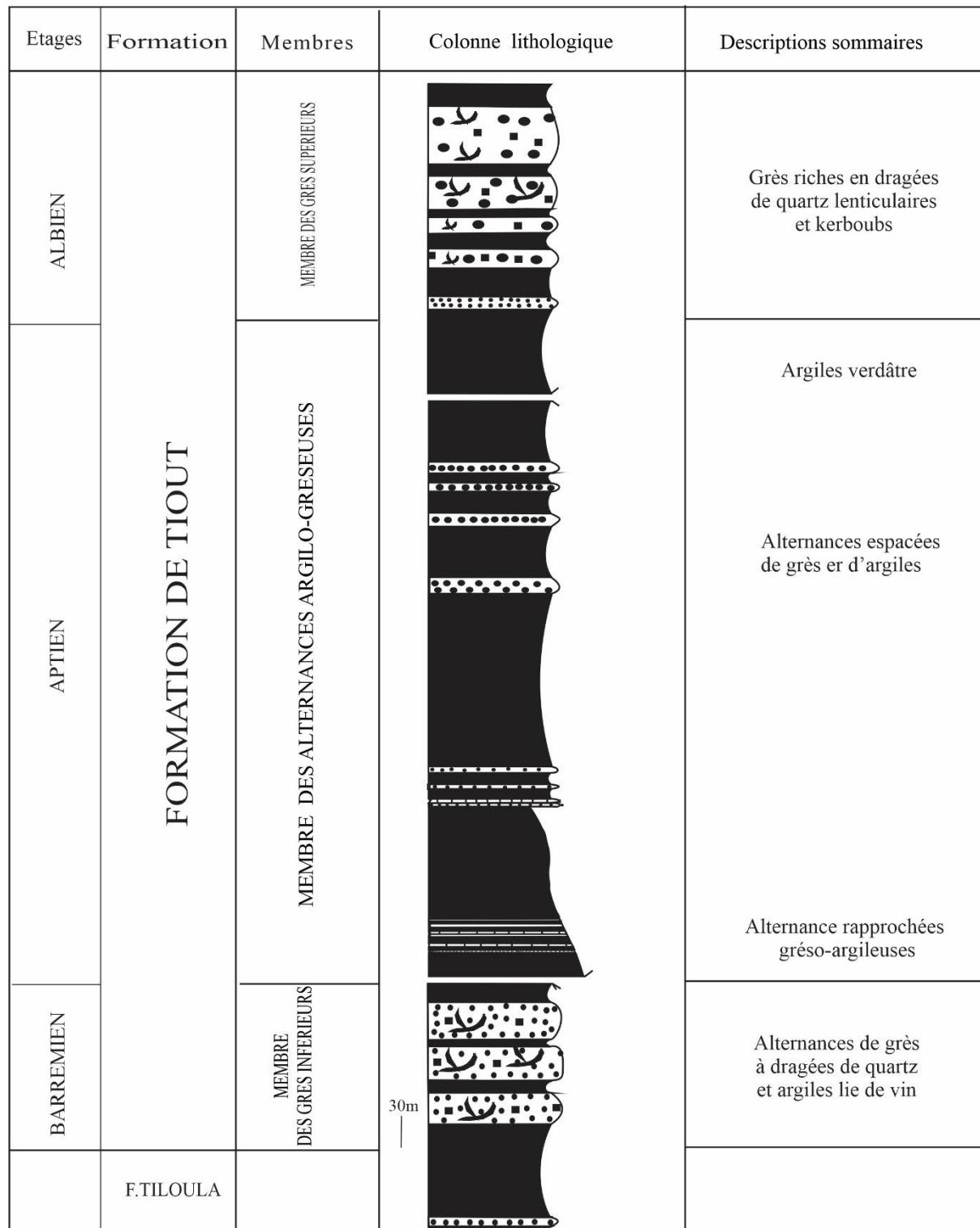


Fig. 2. 5: Coupe de la « Formation de Tiout » levée à Tiout (flanc SE du synclinal de Tiout) (Monts des Ksour), Kacemi, 2013

2.3.1 Le membre inférieur : ou « membre des grès inférieurs de Tiout » (120m)

Ce membre d'âge supposé Barrémien, débute par un ensemble gréseux chenalisé à gains moyens à grossiers d'épaisseur décamétrique à dragées de quartz, ce dernier est surmonté par des argiles d'épaisseur importante de couleur lie de vin intercalés par des grès centimétriques parfois chenalisés. Cette séquence fluviatile se répète trois fois dans ce membre. Ce dernier se termine par un grès chenalisé à dragées de quartz de 6 m d'épaisseur.

2.3.2 Le membre médian : ou « membre des alternances argilo-gréseuses » (790m)

Ce membre d'environ 800m d'épaisseur d'âge probablement aptien, est généralement argileux. Ces argiles sont pélitiques de couleur rougeâtre à verdâtre intercalé par des grès centimétriques parfois en plaquettes, à grains moyens parfois grossiers avec des stratifications obliques (tabulaires). Dans cette combe à dominance argileuse, il faut signaler la présence de lits millimétriques de gypses qui alternent avec des dolomies et des grès de faible épaisseur dans la partie médiane de ce membre.

2.3.3 Le membre supérieur : ou « membre des grès supérieurs de Tiout » (200m)

Ayant un pendage très faible (< ou = à 15°NW), ce membre supposé d'âge albien, est constitué d'une alternance de grès généralement rougeâtres et d'argiles vertes et rouges formant la Dalâa de Tiout. Il est essentiellement gréseux ; les argiles sont de couleur verte à la base, verte et rouge dans la partie médiane et rouge dans la partie sommitale. Le taux des argiles diminue du bas vers le haut, de 34m à la base à un simple diastème au sommet.

Cette alternance est constituée respectivement de six barres de grès chenalisés strato-granocroissantes : B1=2,7m ; B2=3,5m ; B3=15m ; B4=32m ; B5=19m ; B6=21m,

Les trois premières barres (B1, B2, B3) chenalisées sont surmontées par des argiles. La barre B4, est subdivisée en deux barres, B4.1 et B4.2 séparées par un contact ravinant et présente des grandes figures d'entraînement (slumps).

Les deux dernières barres B5 et B6 sont chenalisées et à base ravinantes. Elles sont caractérisées par l'apparition des dragées de quartz, les lentilles microconglomératiques à éléments quartzeux à la base, les kerboubes, la disparition des argiles, une granulométrie grossière qui s'affine vers le sommet et de grandes stratifications obliques entrecoupées.

Plus au Nord au-delà d'oued Tiout, sur environ 3 km vers le cœur du synclinal, le pendage des couches gréseuses (50m environ) tend à diminuer pour devenir horizontal au cœur du synclinal (Garat Semail).

Troisième Chapitre

Matériels et méthodes, Intégration des données dans un « SIG » et Résultats

I. Matériels et méthodes

1. Données et matériels utilisés

- 1.1. Données géoscientifiques (cartes photogéologiques)
- 1.2. Données satellitaires (Images Google Earth Pro)
- 1.3. Logiciels utilisés
- 1.4. Méthodologie

2. Cartographie lithologique

- 2.1. Traitement des données à partir des cartes photogéologiques
- 2.2. Caractérisation des unités lithologiques et des formations géologiques
- 2.3. Validation des unités de Galmier par les données de terrain (tableau des équivalences)

3. Cartographie linéamentaire (cartographie des linéaments géologiques)

- 3.1. Définition des linéaments
- 3.2. Cartographie linéamentaire
- 3.3. Méthode

4. Intégration des données dans un SIG

- 4.1. Introduction
- 4.2. Méthode
 - 4.2.1. Création des bases de données
 - 4.2.2. Intégration des données

II. Résultats : Validation et Synthèse

1. Cartographie lithologique

- 1.1. Définition des formations géologiques et reconnaissance des unités à cartographier
- 1.2. Cartographie des unités lithologiques

2. Cartographie des linéaments

3. Carte structurale

4. Synthèse des résultats :

- 4.1. Carte lithostructurale
- 4.2. Etude statistique de la fracturation globale de chaque structure
 - A. Avec un pas de 5°
 - B. Avec un pas de 10°
 - C. Avec un pas de 20°
- 4.3. Les failles et les décrochements
- 4.4. Les plis

**Troisième Chapitre : Matériels et méthodes, cartographie,
Intégration des données dans un « SIG » et Résultats**

I. Matériels et méthodes :

Afin de satisfaire nos objectifs ; la cartographie lithologique et linéamentaire des deux grandes structures « Djebel Aïssa et Djebel Mekther », la manipulation du logiciel ArcGIS et la gestion des données avec le support Google Earth Pro (GEP), nous avons suivi les méthodes suivantes (voir figure 3. 1 sous forme d’organigramme).

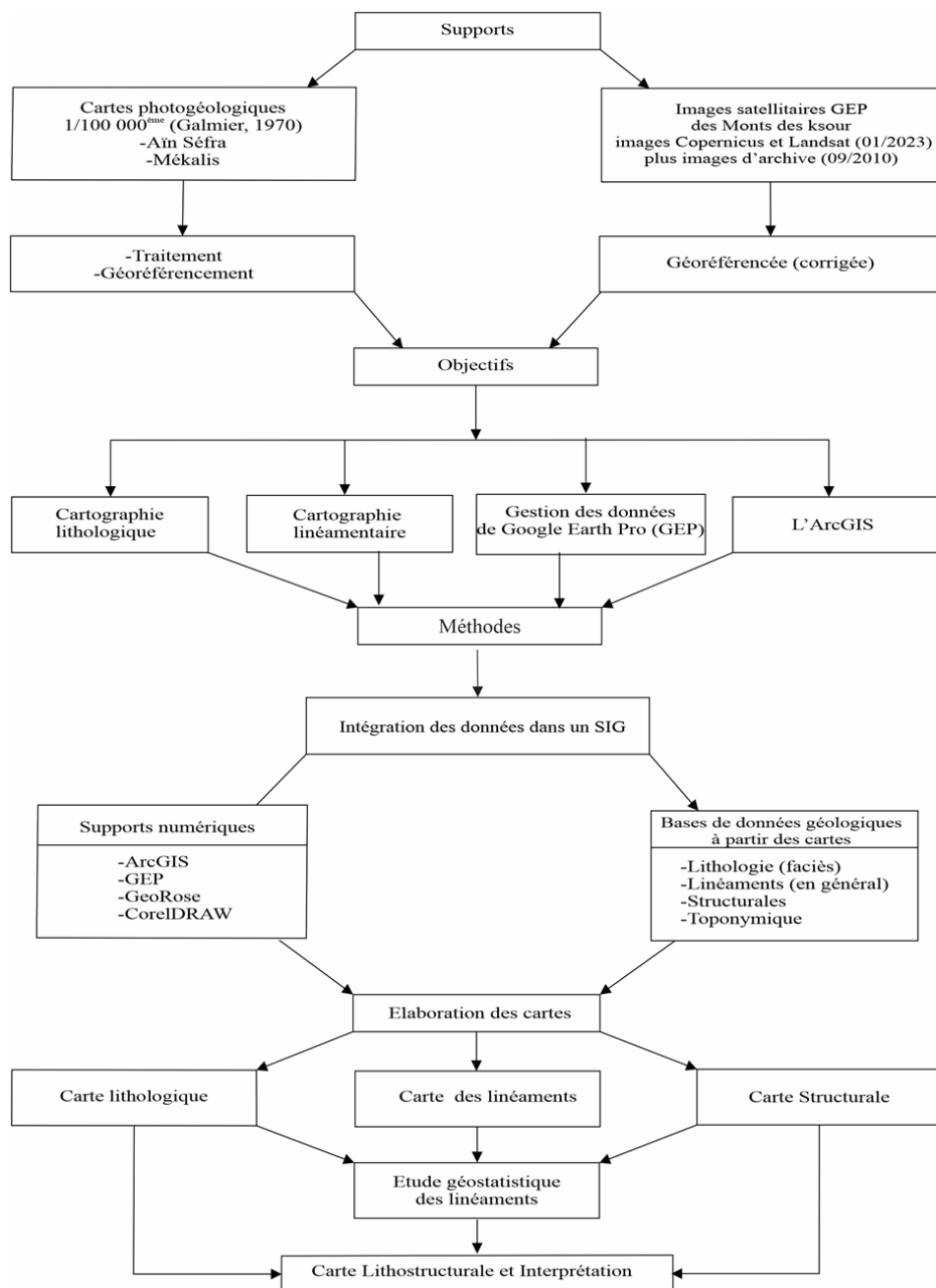


Fig. 3. 1: Organigramme de la méthode d’étude en fonction des objectifs.

Cette étude nous permettrait de faire une mise à jour des données géologiques (lithostructurales) de la région d'étude en élaborant différentes cartes ; lithologique, de linéaments et structurale. Ce qui nous permet aussi à procéder à une analyse thématique des formations lithologiques et de la fracturation ainsi qu'à une analyse géostatistiques sur les relations spatiales des fractures entre elles et entre leur contexte lithostructurale. Enfin une carte lithostructurale sera établie avec un essai d'interprétation.

1 Données et matériels utilisés

Introduction

La région concernée par cette étude occupe la partie médiane des Monts des ksour. Il s'agit des deux grandes structures anticlinales qui encadrent la ville d'Aïn Séfra ; djebels Aïssa au Nord, dans sa terminaison périantclinale SW dans son flanc SE (Fig. 3. 2 et 3. 3) et djebel Mekther au Sud, dans sa terminaison NE dans son flanc NW (Fig. 3. 2 et 3. 4).

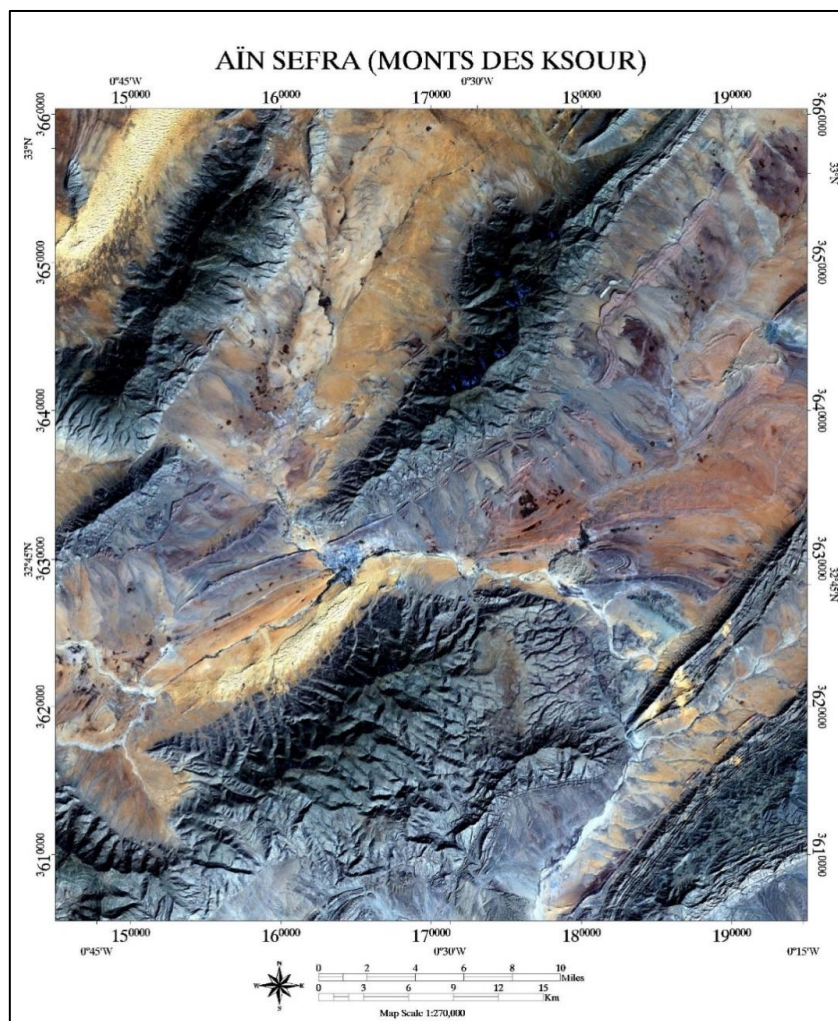


Fig. 3. 2: Image satellitaire du secteur d'étude, issues d'une composition colorée 321 (ENVI)

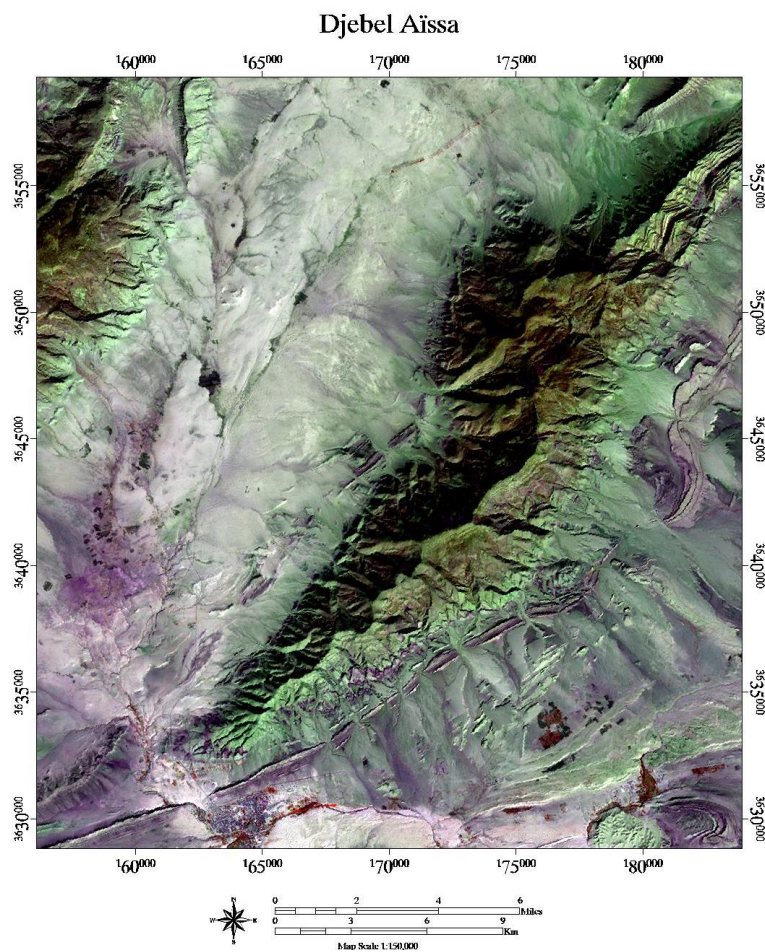


Fig. 3. 3: Image satellitaire de Djebel Aïssa, issue d'une composition colorée 457(Envi)

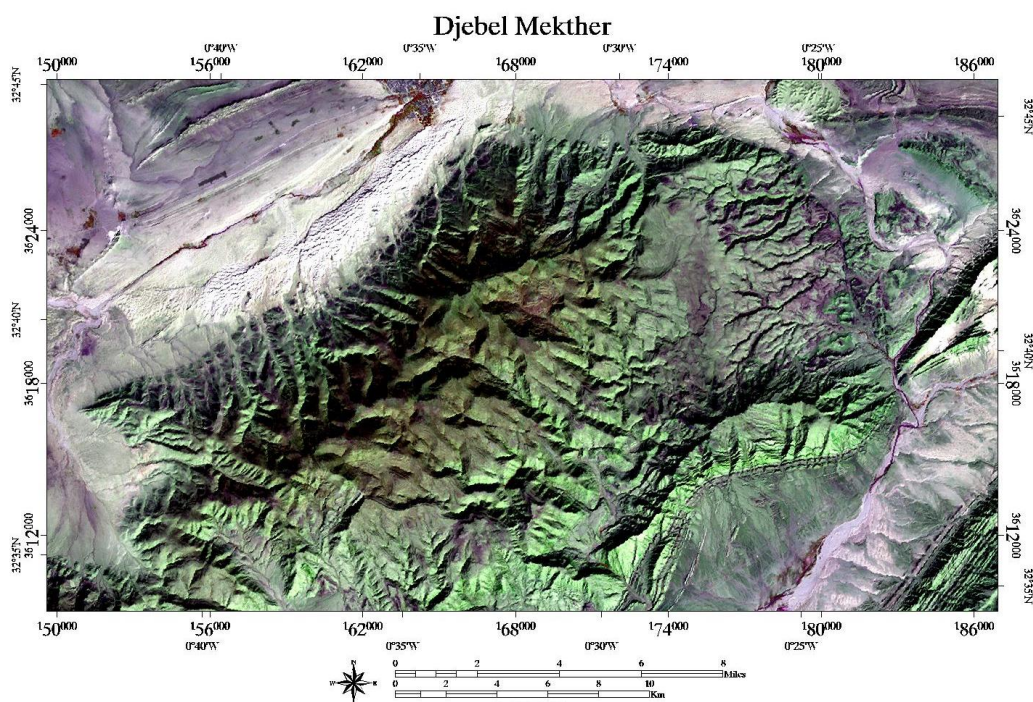


Fig. 3. 4: Image satellitaire de Djebel Mekther, issue d'une composition colorée 457(ENVI).

1.1 Données géoscientifiques

Les données géoscientifiques utilisées incluent des données géologiques ; lithologiques, stratigraphiques, structurales, etc. Ces informations sont représentées sous forme de :

- Cartes photogéologiques au 1/100 000^{ème} (Galmier, 1970) :
Feuille d'Aïn Séfra (F-13). (Fig. 3. 5),
Feuille de Mékalis (F-12). (Fig. 3. 6),
- Fonds topographiques à différentes échelles : 1/500 000^{ème}, 1/200 000^{ème} et 1/100 000^{ème}.
- Thèses de doctorat ou de magister, des mémoires d'ingénieur et de Master ou des publications.

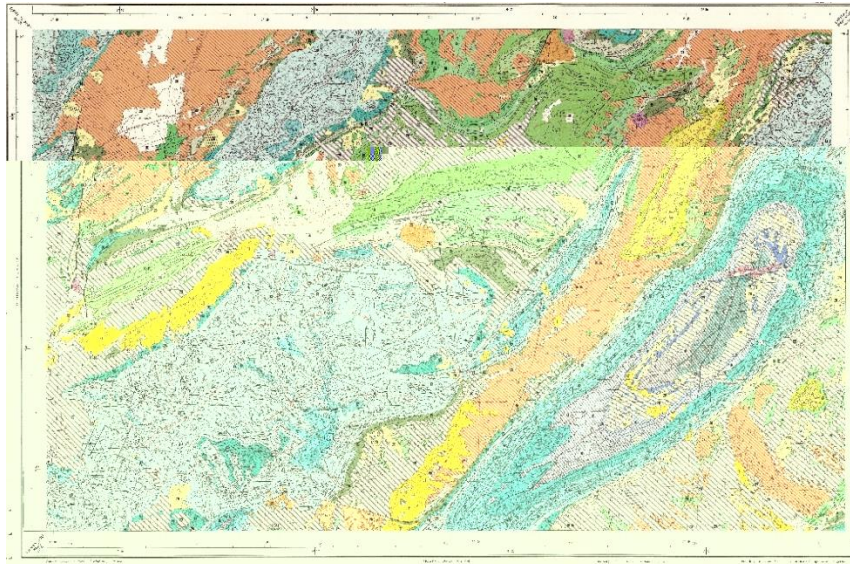


Fig. 3. 5: Carte photogéologique au 1/100 000ème d'Aïn Séfra (Galmier, 1970).



Fig. 3. 6: Carte photogéologique au 1/100.000ème de Mékalis (Galmier, 1970).

1.2 Données satellitaires :

Les données satellitaires utilisées pour cette étude sont des images Copernicus et Landsat issues de Google Earth Pro de 01/2023 plus l'image d'archive (09/2010) où figurent les deux structures étudiées : Djebel Mekther et Djebel Aïssa (Fig. 3. 7).



Fig. 3. 7: Djebel Aïssa et Djebel Mekther sur GEP.

1.3 Logiciels utilisés :

a) Le CorelDRAW :

CorelDRAW est une suite de conception graphique professionnelle polyvalente qui offre une gamme variée d'options pour réaliser des projets d'illustrations vectorielle, des schémas et des cartes géologiques (Fig. 3. 8). En utilisant les outils de dessin vectoriel, nous pouvons réaliser des diagrammes précis en ajoutant des étiquettes, des symboles géologiques et des textures. De plus, il propose des fonctionnalités d'édition avancées qui permettent de traiter les images et de créer des présentations visuelles de manière efficace.

Nous l'avons utilisé dans cette étude pour dessiner les coupes lithologiques des formations géologiques qui nous intéressent et pour traiter nos images figures et photos.

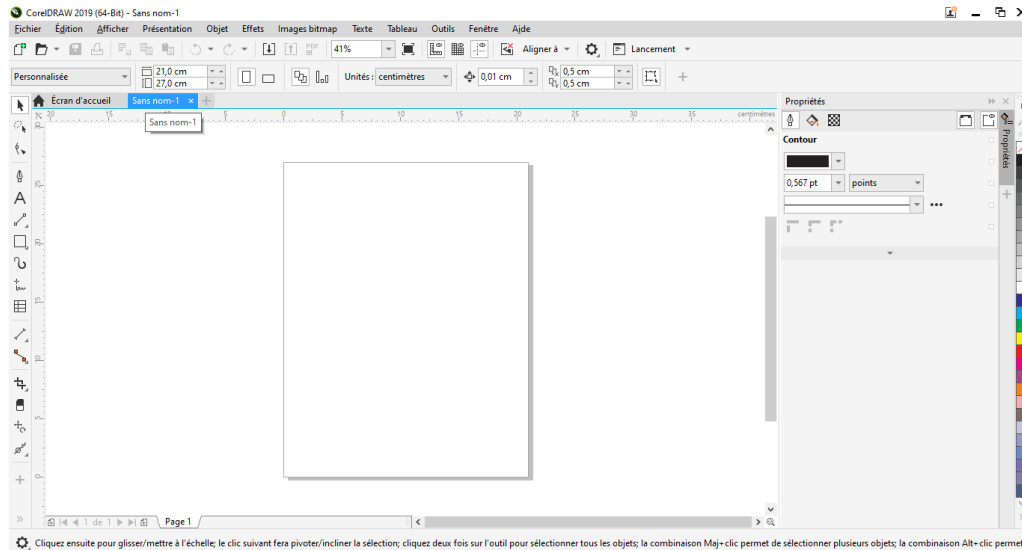


Fig. 3. 8: Environnement de travail de CorelDRAW (version 19).

b) L'ArcGIS :

ArcGIS est un logiciel qui a été développé par l'entreprise américaine ESRI (fondée par le pionnier du logiciel SIG Jack Dongermand en 1969), il permet de collecter, organiser et diffuser des informations géographiques. Afin d'effectuer ce travail sur ArcGIS, trois applications bureautiques sont disponibles (Fig. 3. 9) :

- ArcCatalog est comme une bibliothèque qui permet d'organiser, gérer les stocks de données spatiales et la conception des bases de données ainsi que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées.
- ArcMap est un environnement de bureau utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes.
- ArcToolbox (boîte à outils) est une fenêtre ancrable présente dans les applications ArcGIS qui permet d'analyser, mettre à jour et convertir des données.

Nous avons abouti à notre objectif grâce à ce logiciel qui nous a permis et facilité la création d'un SIG à partir de la collecte et digitalisation des informations figurants sur les cartes photogéologiques d'Aïn Séfra ; Mékalis et sur d'autres sources.

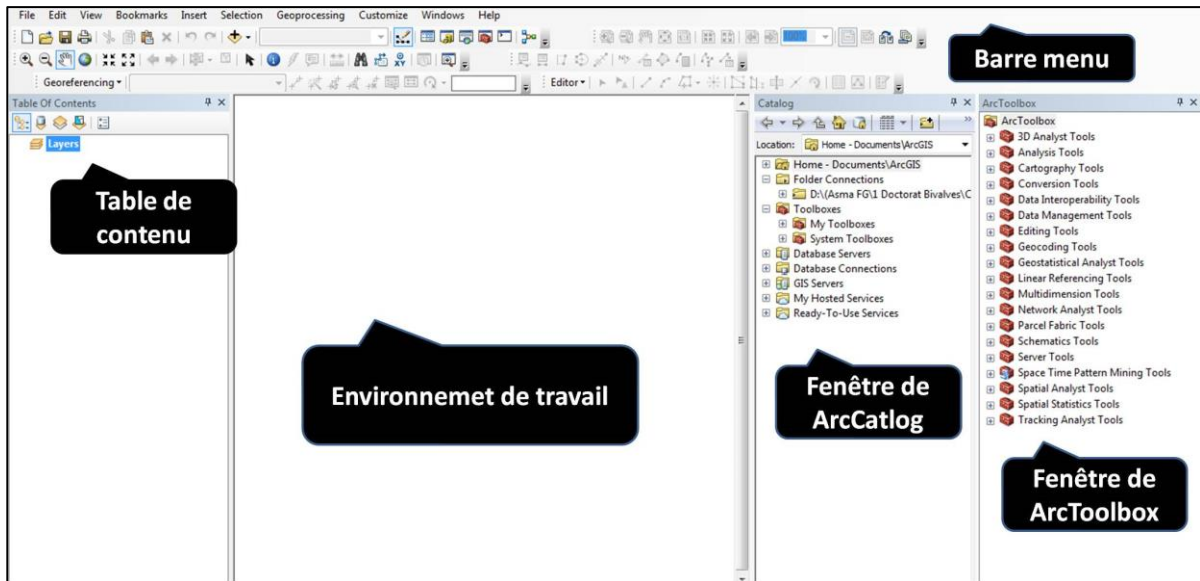


Fig. 3. 9: Environnement de travail de L'ArcGIS.

c) Le PCC :

Le Programme de Conversion de Coordonnées 'PCC' permet de convertir les coordonnées géographiques et cartographiques dans différents systèmes géodésiques. Il est souvent utilisé dans le domaine de la géomatique et des systèmes d'information géographique (SIG) pour transformer des coordonnées géographiques d'un système de projection à un autre.

Il a été utilisé pour la conversion des coordonnées géographiques des points de repère de Géoréférencement du système de projection Lambert au système UTM (Fig. 3 10).

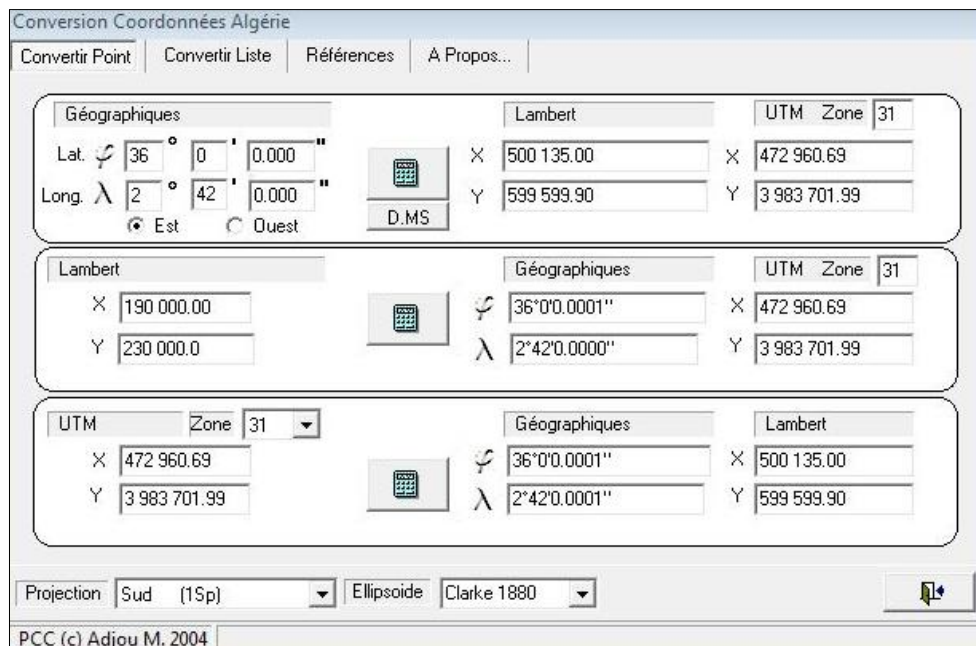


Fig. 3. 10: Environnement de travail du PCC.

d) Google Earth Pro (GEP):

Google Earth Pro est un logiciel ouvert qui permet la visualisation, l'évaluation, la superposition et la création de données géospatiales. Il peut également être utilisé pour visualiser des images satellite à très haute résolution, télécharger des données géospatiales dans son format de fichier natif interopérable (KML), et aussi pour la localisation (par exemple pour un simple géocodage).

Nous l'avons utilisé pour l'extraction des linéaments qui ne figurent pas sur les cartes photogéologiques (Fig. 3. 11)

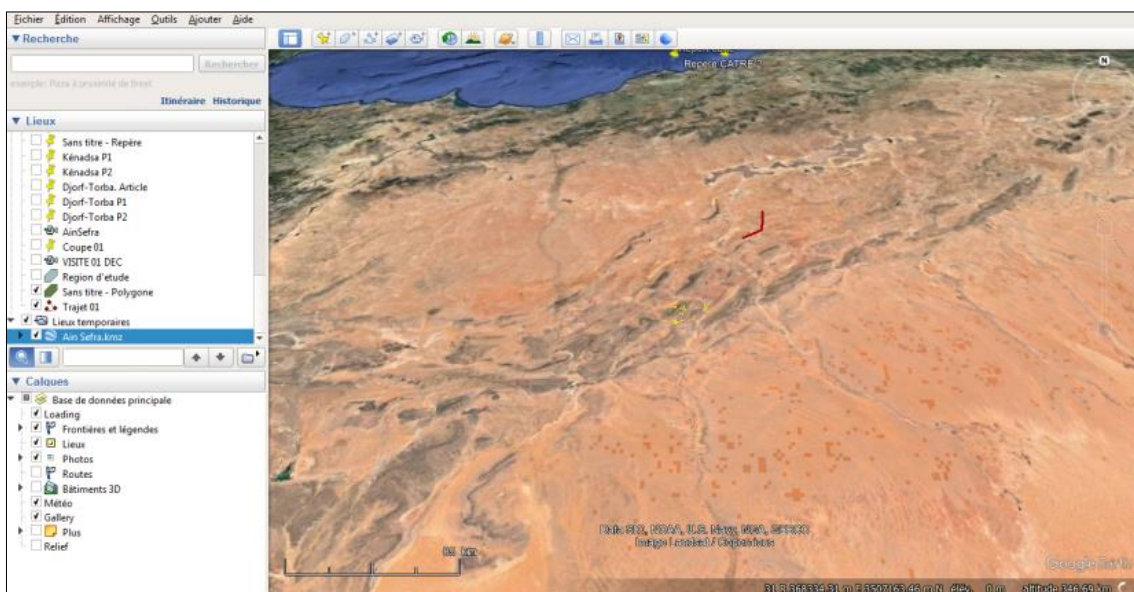


Fig. 3. 11 : Environnement de travail de Google Earth Pro (GEP).

e) GeoRose: (Version 0.5 .1, www.yongtechnology.com):

« Geological Rose Diagram Plot Program » est un ensemble de programmes logiciels spécialisés dans la représentation graphique des données de géologie structurale. Ce programme comprend deux composants : un diagramme en rose qui permet de représenter graphiquement les orientations et les fréquences des éléments structuraux (plans de faille, les plis, ...) et le générateur de stéréonet pour la projection stéréographique, qui permet de créer des stéréogrammes avec une échelle égale pour les aires (canevas de SCHMIDT) et les angles (Canevas de WÜLFF).

Ce logiciel nous a permis de présenter graphiquement la répartition statistique d'orientation des linéaments en roses diagrammes (Fig. 3. 12).

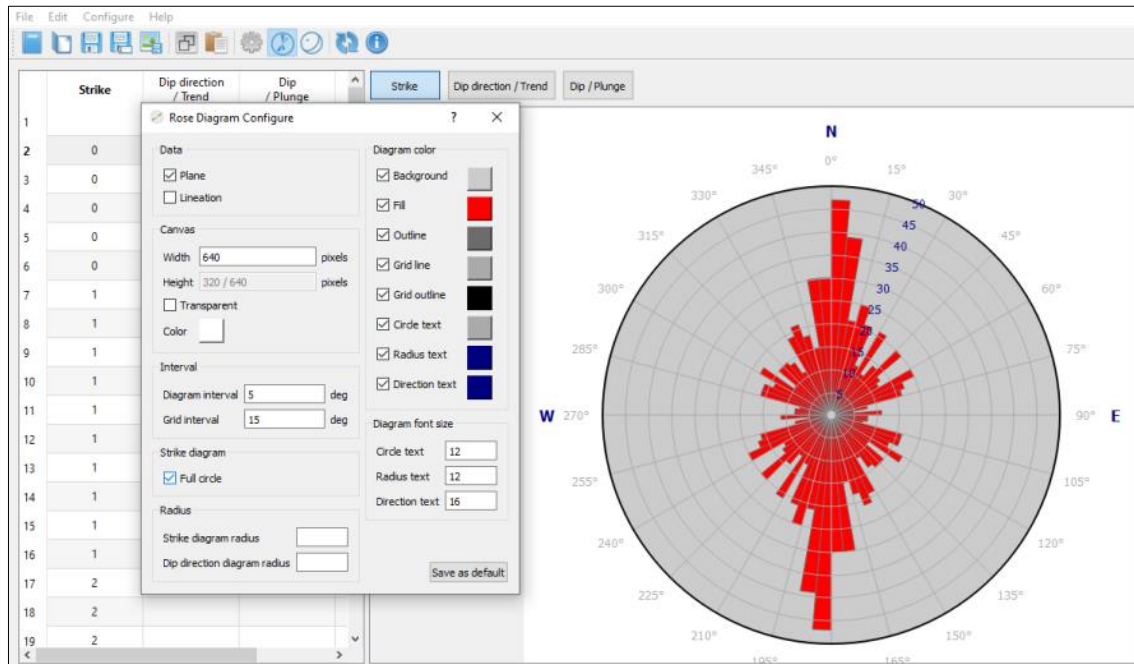


Fig. 3. 12: Environnement de travail de GeoRose.

1.4 Méthodologie

Selon les objectifs tracés dans le premier chapitre : Cartographie des unités lithologiques et des linéaments et manipulation du logiciel ArcGIS qui est le support principal dans cette étude ainsi que le support Google Earth Pro (GEP). Pour concrétiser nos objectifs, nous avons adopté la méthode suivante :

- Pour le premier objectif, concernant la cartographie lithologique, une étude bibliographique de la région a été entamée tout au début, dont nous avons utilisé plusieurs documentations sur la région (stratigraphie, géologie structurale, paléontologie, sédimentologie, pétrologie, cartographie géologique et cartes photogéologiques, etc...)
- Concernant le deuxième objectif relatif à la cartographie des linéaments, nous avons utilisé des cartes photogéologiques (photos aériennes interprétées) et des images satellites Google Earth Pro.
- Avec le logiciel ArcGIS, nous avons procédé la cartographie des unités lithologiques et des linéaments.
- En parallèle, nous avons utilisé aussi Google Earth Pro pour l'extraction des linéaments.

2 Cartographie lithologique

2.1 Traitement des données à partir des cartes photogéologiques (limites des différentes unités à cartographier, les accidents tectoniques, etc.).

C'est seulement au cours du stage de terrain de fin de cursus en Master 2 (M2S3) effectué dans la région d'Aïn Séfra « Monts des Ksour, Atlas saharien occidental » que nous avons pu voir les deux grandes structures géologiques « Djebel Mekther et Djebel Aïssa », dont notre encadreur nous a proposé un thème sur ces structures.

Les cartes photogéologiques d'Aïn Séfra et Mékalis » (Galmier, 1970) et les images satellites GEP, en plus d'une documentation géologique sur la région des Monts des Ksour sont les seuls supports que nous possédons pour accomplir ce travail de cartographie lithologique. Nous avons analysé et délimité les différentes unités géologiques cartographiables (formations et membres) de la zone d'étude : (la formation de Aïssa avec ces deux membres, la formation de Tiloula avec ces deux membres, et la formation de Tiout avec ces trois membres) ainsi que les unités du Tertiaire et du Quaternaire (voir deuxième chapitre).

2.2 Caractérisation des unités et des formations géologiques :

A partir de l'interprétation des photos aériennes (photo interprétation), Galmier a réalisé une étude photogéologique de la région d'Aïn Séfra. Neuf (9) coupures de cartes photos géologiques au 1/100 000^{ème} ont été élaborées. Les différents faciès ont été représentés par des unités lithostratigraphique notées de 1 à 31.

Les différentes formations de notre étude, regroupent les unités à partir de l'unité 11 jusqu'à l'unité 22. Chaque unité ou groupe d'unités correspond à une formation ou à un membre géologique défini par les différents auteurs qui ont travaillé dans la région.

Les cartes photogéologiques établies par (Galmier, 1970) couvrent les Monts des Ksour, de la frontière marocaine, à l'Ouest, jusqu'à Chellala Dahrana, à l'Est. Ces unités concernent les deux sillons ; le sillon atlasique ss et le sillon préatlasique.

En plus des ensembles lithologiques étudiés, ces cartes photogéologiques offrent, une bonne base pour une étude structurale de la région. L'auteur (Galmier, 1970) a réalisé une synthèse tectonique sur la région à partir d'analyses structurales de terrain incomplète qui fut complétées après, à partir d'analyses stéréoscopiques (photos aériennes).

Plusieurs formations constituées de membres et de termes sont englobées dans des séries géologiques que constitue la région soit dans le sillon atlasique (ss) ou dans le sillon préatlasique.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur ces séries géologiques (plus de 14 formations) dans la région de l'Atlas saharien occidental, Bassoullet (1973), Douihasni (1976), Aït Ouali (1990), Ouali (1994), Mekahli (1995), Meddah (2000), Kacemi (2005 et 2013), etc.

Les formations qui caractérisent les monts des Ksour sont au nombre de 14 en plus des formations du Tertiaire et du Quaternaire. Aucune étude n'a été faite sur ces dernières

Les unités lithostratigraphique de (Galmier, 1970) du sillon atlasique correspondent aux formations suivantes (Kacemi, 2005) :

1. Le Complexe argilo-gypso-salin et roches vertes (basaltes) : Trias, correspond aux unités 1 et 2
2. La Dolomie de Chémarikh : Hettangien, unité 4
3. Les Alternances d'Aïn Ouarka : Sinémurien inférieur et supérieur-Carixien-Domérien inférieur, moyen et Domérien Supérieur, unités 4 et 5
4. Les Marno-calcaires d'Aïn Rhézala : Toarcien inférieur-Toarcien moyen et Toarcien supérieur, unité 6
5. La Brèche de Raknet El Kahla : Aalénien-Bajocien Supérieur, unité 7
6. La Formation de Teniet El Klakh : Bajocien moyen à supérieur, unité 8
7. La Formation de Tifkirt : Bajocien supérieur Bathonien inférieur, unités 8 et 9
8. La Formation de Djara : Bathonien inférieur à Callovien Oxfordien, unités 10 et 11
9. La Formation d'Aïssa : Kimmeridgéen-Porthlandien, unités 12, 13 et 14
10. La Formation de Tiloula : Néocomien-Tithonien, unités 14, 15 et 16
11. La Formation de Tiout : Barrémien Aptien Albien, unités 17, 18 et 19
12. La Formation de Rhelida : Vraconien (Albien supérieur), unité 20
13. La Formation de Medaouar : Cénomaniens inférieur, unité 21
14. La Formation de Rhoundjaïa : Cénomaniens Supérieur-Turonien, unité 22
15. Le Tertiaire, unités 25, 26 et 27
16. Le Quaternaire, unités 28, 29, 30 et 31 (formation dunaire)

1.1. Validation des unités de Galmier par les données de terrain (les Formations des différents auteurs)

| UNITES | MEMBRE OU FORMATION | AGES |
|------------------|---|--|
| 1 et 2 | Complexe argilo-gypso-salin et roches vertes (basaltes) | Trias |
| 3 | Formation carbonatée (Dolomie bleuâtre) | Infralias |
| 4 | La « Dolomie de Chémarikh » | Héttangien |
| 4 et 5 | Les « Alternances d'Aïn Ouarka » | Sinémurien inférieur et supérieur-Carixien-Domérien inférieur, moyen et Domérien Supérieur |
| 6 | Les « Marno-calcaires d'Aïn Rhézala » | Toarcien inférieur-Toarcien moyen et Toarcien supérieur |
| 7 | La « Brèche de Raknet El Kahla » | Aalénien-Bajocien Supérieur |
| 8 | La « Formation de Teniet El Klakh » | Bajocien moyen à Bajocien supérieur |
| 8 et 9 | La « Formation de Tifkirt » | Bajocien supérieur Bathonien inférieur |
| 10 et 11 | La « Formation de Djara » | Bathonien inférieur à Callovien Oxfordien |
| 12, 13 et 14 | La « Formation d'Aïssa » | Kimméridgien-Porthlandien |
| 14, 15 et 16 | La « Formation de Tiloula » | Néocomien Tithonien |
| 17, 18 et 19 | La « Formation de Tiout » | Barrémien Aptien Albien |
| 20 | La « Formation de Rhelida » | Vraconien (Albien supérieur) |
| 21 | La « Formation de Medaouar » | Cénomaniens inférieur |
| 22 | La « Formation de Rhoundjaïa » | Cénomaniens Supérieur-Turonien |
| 25, 26 et 27 | Pas de formations déterminées | Tertiaire |
| 28, 29, 30 et 31 | Pas de formations déterminées | Quaternaire |

Tableau. 3. 1: Tableau des équivalences (Unité/Formation ou Membre), (Kacemi, 2005)

3 Cartographie linéamentaire

3.1 Définition de linéament :

Les linéaments sont des traits linéaires cartographiables, simples ou composites d'une surface dont les éléments sont alignés d'une façon rectiligne ou légèrement curviligne et qui diffère des structures adjacentes et qui peuvent refléter un phénomène de subsurface (In HAMMAD, 2016). Ces linéaments présentent sous forme de failles, des fractures, des plis, ou des contacts entre différentes unités géologiques.

3.2 Cartographie linéamentaire :

La cartographie des structures linéamentaires (fracturation) à partir d'images satellitaires, constitue une composante essentielle des études en sciences de la Terre, en particulier pour la compréhension de la tectonique régionale. Elle est réalisée en traçant directement les structures linéaires extraites sur les diverses images filtrées, les images binaires, les bandes ratios, etc. (Kacemi, 2013).

3.3 Méthode :

a. Vectorisation à partir de la carte photogéologique : à partir de cartes photogéologiques, on a vectorisé toutes les informations liées à la tectonique de la région d'étude : Axe de plis, failles majeures et mineures, cassures...

b. Extraction à partir de l'image satellitaire : plusieurs failles ont été observées que sur les fonds satellitaires affichés sur Google Earth Pro, ils ont été également vectorisés.

c. Création des fichiers KML et KMZ

Les fichiers KML (Keyhole Markup Language) sont des fichiers utilisés pour afficher des données géospatiales dans des applications de cartographie. Ils contiennent des informations géographiques telles que des points, des lignes, des polygones et des images superposées sur des images satellites.

Pour créer un dossier KML/KMZ, on suit les étapes suivantes illustrées dans la figure 3. 13 (1, 2 et 3).

- Dans l'option "Lieu", et à l'aide d'un clic droit sur "Mes lieux préférés" sur le menu contextuel, on sélectionne "Ajouter" un Dossier en lui donnant un nom.

- Sélectionnez « Ajouter de repère », on trace une ligne ou une surface et à la fin on enregistre le fichier sous format KMZ / KML grâce au clic droit en choisissant l'emplacement souhaitable.

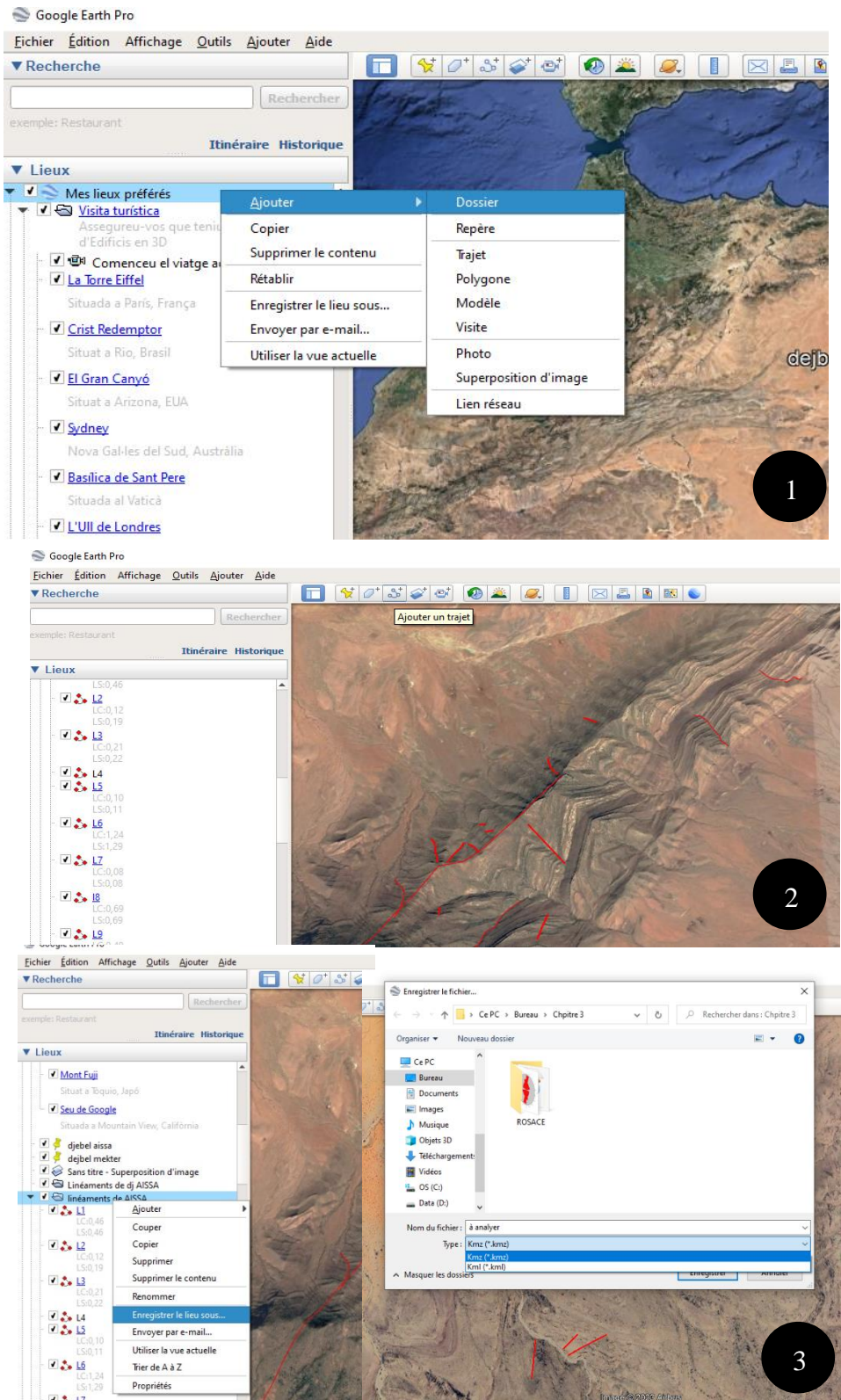


Fig. 3. 13: Création des fichiers KML ou KMZ.

4 Intégration des données dans un SIG

4.1 Introduction : Présentation du système d'information géographique (SIG)

Les Systèmes d'Informations Géographiques correspondent à un ensemble de systèmes liés au traitement de l'information géographique (données spatialisées). C'est un outil important pour la cartographie. Ils possèdent des logiciels propres capables de stocker, traiter, représenter et analyser de la donnée géographique, tel que le logiciel « ArcGIS ». Il s'agit d'interrelation entre les tables et la géométrie, un système qui permet de faire du data management, et de la systématisation dans le traitement.

Le SIG est constitué de cinq composantes principales : i) Hardware (matériel informatique : ordinateur, souris, ...), ii) le Software (logiciel SIG), iii) Les Données (les cartes, etc.), iv) les Utilisateurs (les ressources humaines) et, v) Les Méthodes de travail (figure 3. 14).

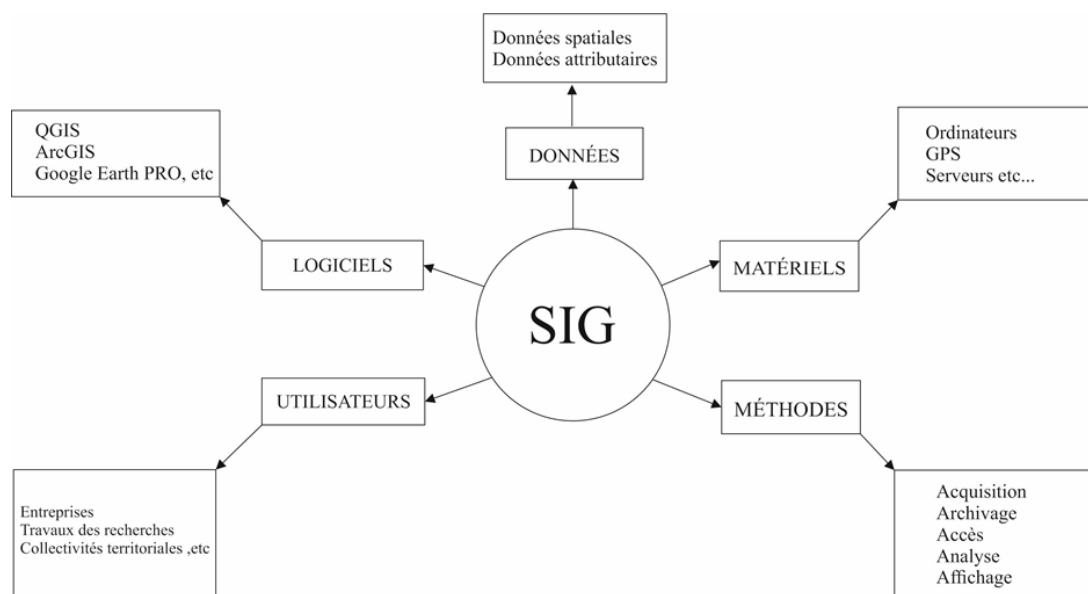


Fig. 3. 14: Composantes principales d'un SIG.

Les fonctionnalités du SIG sont : i) l'Acquisition de la donnée géographique : c'est la collecte de données provenant de différentes sources : des photos aériennes, des images satellitaires, des cartes géologiques, etc., ii) l'Archivage : c'est l'intégration des données géographiques, iii) l'Accès : est la possibilité de modifier et de traiter les données stockées, iv) l'Analyse : est le traitement thématique des données et enfin v) l'Affichage : qui correspond à la présentation des résultats de l'analyse des données géographiques précédentes.

Pour ce qui est de l'utilisation d'un SIG : Ce dernier s'étend à de nombreux domaines dans lesquels il peut être utilisé tels que : la production des cartes (géologiques, etc.), l'analyse d'imagerie spatiale (simple, vectorielle, etc.), la gestion des réseaux hydriques, électrique, etc., la prévention des risques naturels (séisme, érosion...), l'étude d'ingénierie routière et de l'aménagement du territoire, etc.

Les données en SIG se structurent toujours sous formes de couches. Chaque donnée est composée de ses propres éléments qui forment une couche. C'est la superposition de ces couches qui permet d'obtenir une carte. Chaque carte est une compilation de couches empilées les unes sur les autres.

4.2 Méthodologie :

Afin de créer un SIG sur la région. Nous avons pour cela utilisées en premier des cartes photogéologiques géoréférencées (Aïn Séfra, Mékalis) Galmier, (1970) 1/100.000^{ème} ; des fonds topographiques et des images satellitaires de Google Earth Pro.

4.2.1 Création des bases de données :

La géodatabase est la plate-forme commune de stockage et de gestion des données d'ArcGIS, un "conteneur" utilisé pour stocker un ensemble de jeux de données. On a suivi les étapes ci-dessous afin de la créer (Fig. 3. 15) [étapes détaillées]:

- Sur ArcCatalog ou sur la fenêtre Catalogue ArcMap, on développe les connexions de fichier dans l'arborescence du Catalogue.
- A l'aide de clic droit sur le dossier dans lequel on souhaite créer la géodatabase fichier, on pointe sur Nouveau, puis sur Géodatabase fichier.
- Une géodatabase fichier est créée à l'emplacement que nous avons sélectionné.
- On renomme la géodatabase fichier « Aïn Séfra » en cliquant dessus avec le bouton droit, en choisissant Rename « Renommer », puis en entrant le nouveau nom.
- Plusieurs couches ont été créées « Feature Class » en cliquant dessus avec le bouton droit, en choisissant Nouveau « New », puis en entrant le nom de la couche (Pendage, Turonien, etc.)

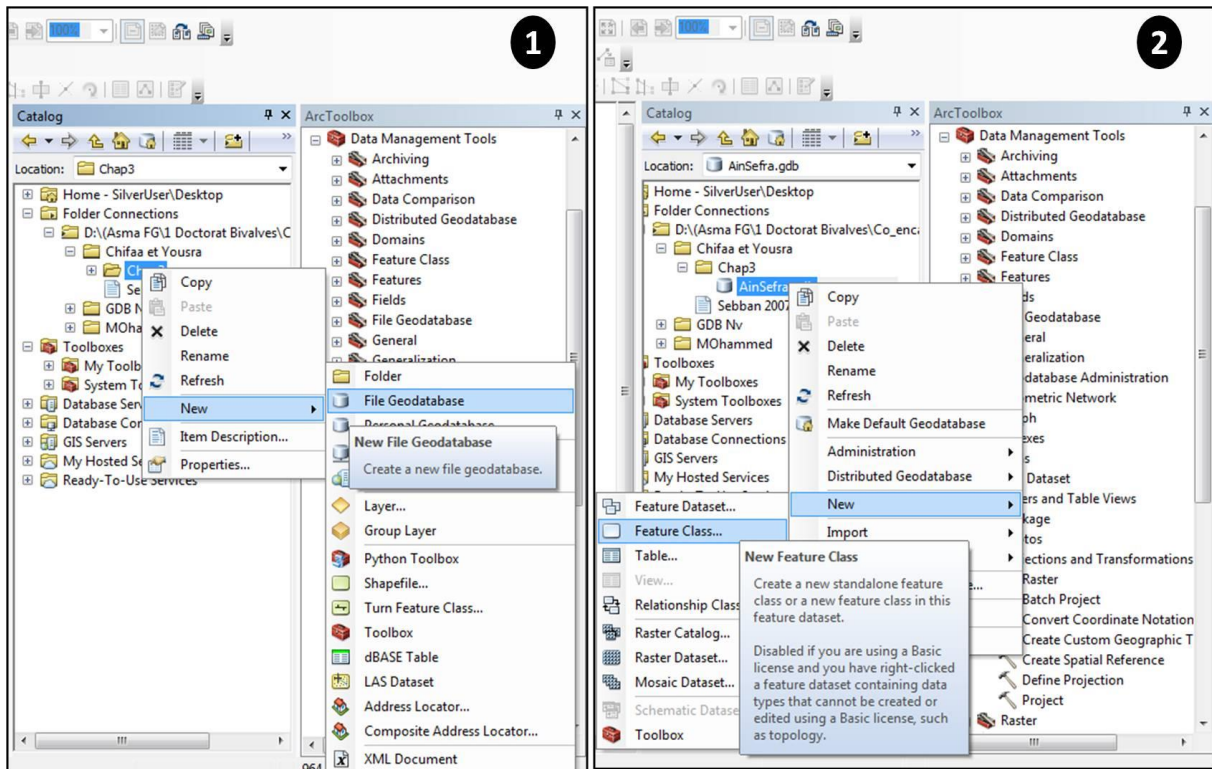


Fig. 3. 15: Etapes détaillées de la création des bases de données sous ArcGIS.

4.2.2 Intégration des données

a. Conversion des coordonnées :

Pour géoréférencer les deux cartes photogéologiques, il fallait convertir les coordonnées de système de projection « Lambert » à « UTM », en utilisant quatre points repère non alignés des cartes photogéologiques d'Aïn Séfra et de Mékalis (Tableaux 3. 2 et 3.2) :

| | Point A | Point B | Point C | Point D |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| Lambert(X) | 190000 | 240000 | 190000 | 240000 |
| Lambert(Y) | 260000 | 260000 | 230000 | 230000 |
| UTM(X) | 722979,61 | 772941,25 | 724608,64 | 774569,10 |
| UTM(Y) | 3641772,90 | 3644491,59 | 3611800,74 | 3614510,08 |

Tableau. 3. 2: Coordonnées Lambert / UTM des points repères de la carte d'Aïn Séfra.

| | Point A | Point B | Point C | Point D |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| Lambert(X) | 190000 | 240000 | 190000 | 240000 |
| Lambert(Y) | 300000 | 300000 | 270000 | 270000 |
| UTM(X) | 703896,02 | 7538941,74 | 705647,40 | 755593,36 |
| UTM(Y) | 3980459,99 | 3983383,36 | 3950496,53 | 3953411,38 |

Tableau. 3. 3: Coordonnées Lambert / UTM des points repère de la carte de Mékalis.

b. Géoréférencement (Fig. 3. 16) :

Le géoréférencement, ou calage d'une image raster, qui servira de fond pour le dessin, consiste à attribuer à l'ordinateur des coordonnées géographiques (longitudes et latitudes) des points de repère. Cette image raster calée pourra ensuite être superposée à d'autres couches.

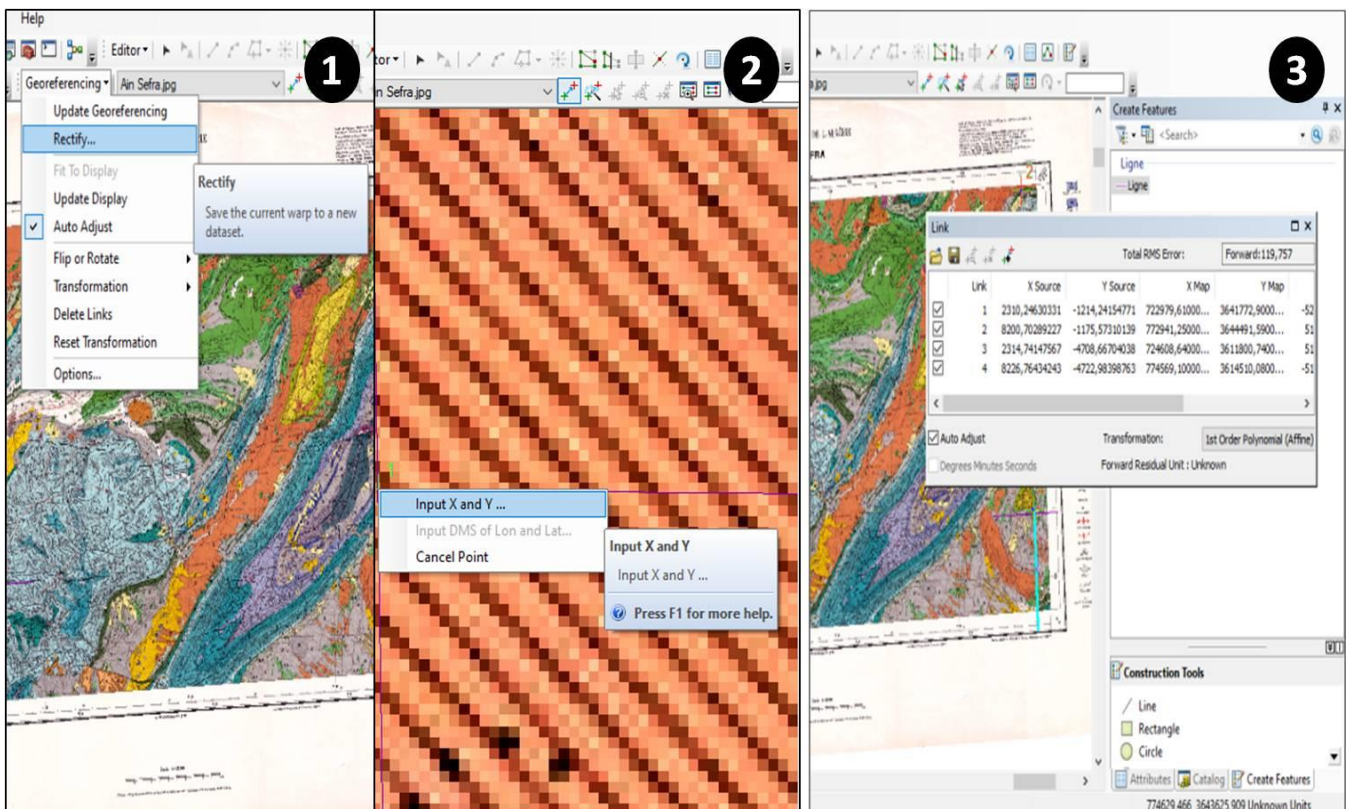


Fig. 3. 16: Géoréférencement de la carte Photogéologique d'Aïn Séfra sur ArcGIS.

c) Vectorisation (digitalisation) des données raster :

- **Mode raster** : Les données raster ont comme élément essentiel le pixel. Elles proviennent soit d'un scannage d'une carte, soit d'une image numérique telle que les photos satellitaires. Les pixels sont répartis dans un raster de façon régulière. Les lignes et les surfaces ne peuvent être représentées que par l'enchaînement de pixels uniques. Un objet ne peut donc être représenté que de façon approximative, c'est ainsi que la taille du pixel conditionne l'exactitude de la représentation.

- **Mode vecteur** : Il permet de représenter le monde réel sous forme de points, lignes ou polygones et chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire. Afin de créer ces couches les étapes suivantes ont été suivies :

Clic droit sur la GDB récemment créée > New Feature Class > Introduire le nom de la couche > choisir le type de la couche > Déterminer le système géographique de projection.

- **Les points** : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des polygones, ou par des éléments qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés (Fig. 3. 17).

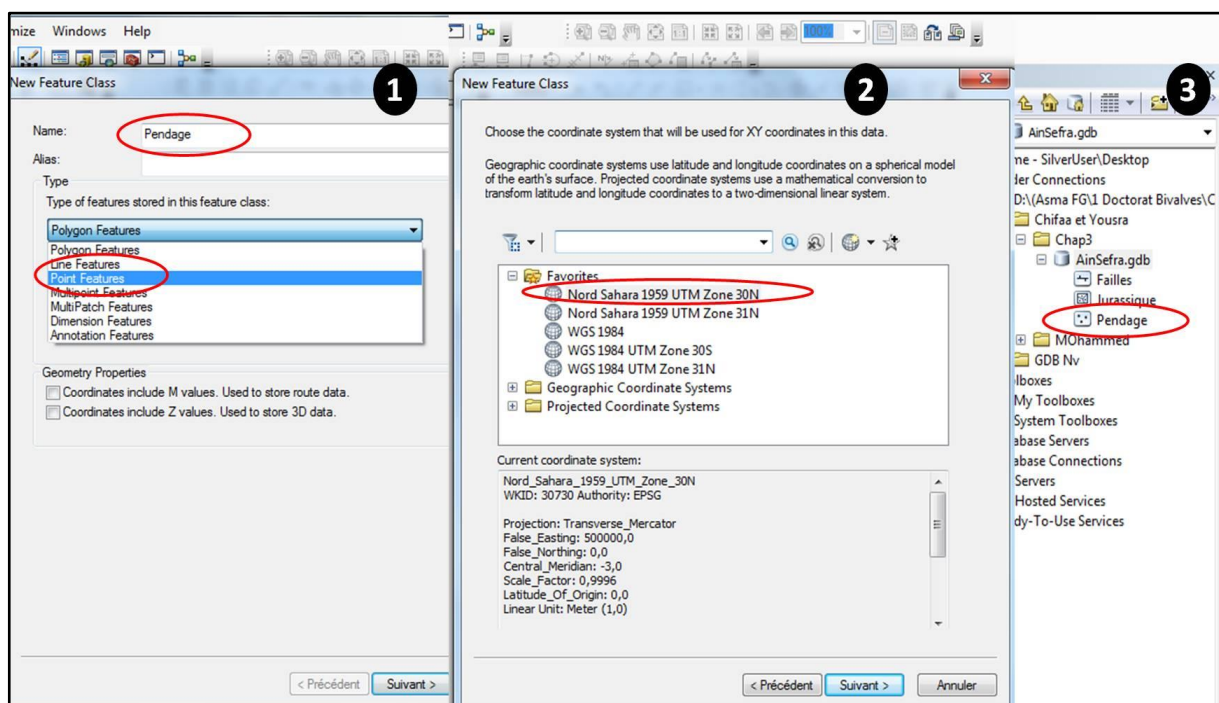


Fig. 3. 17: Etapes de création d'une couche « point » (Exemple : Pendages).

- **Les lignes** : Ils représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui n'ont qu'une longueur, comme les courbes de niveau ou une longueur et une direction tels que les linéaments ou des failles (Fig. 3. 18).

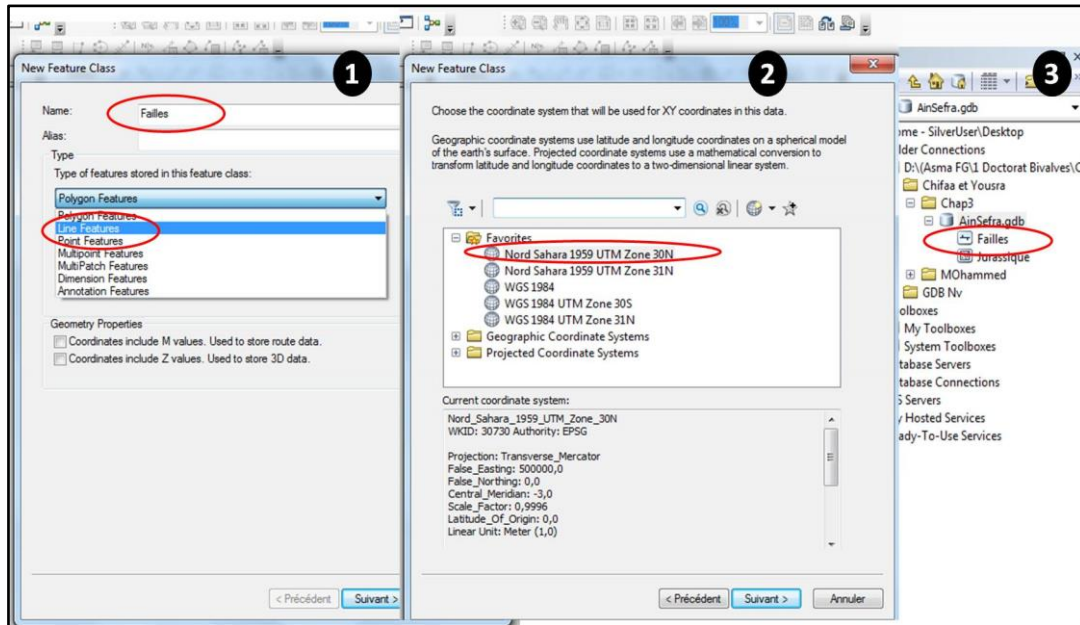


Fig. 3. 18: Etapes de création d'une couche « polyligne » (Exemple : Failles)

- **Les polygones** : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des formations géologiques, etc. (Fig. 3. 19).

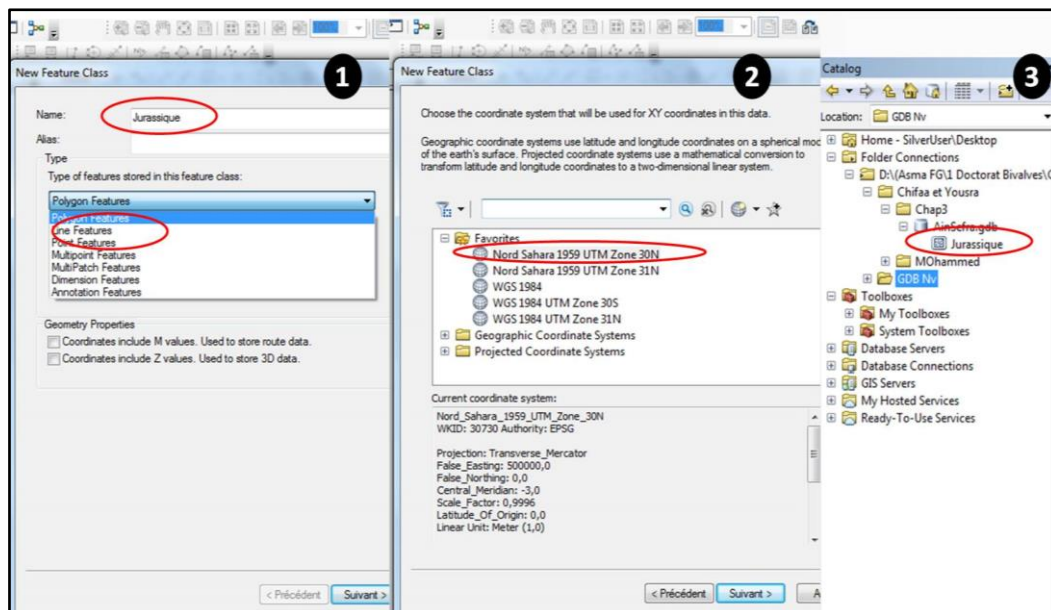


Fig. 3. 19: Etapes de création d'une couche polygone (Exemple : Jurassique)

d) Attribution des données alphanumériques :

Il s'agit de la création de nouveaux champs dans la table attributaires de la couche en question pour attribuer les données alphanumériques (Fig. 3. 20).

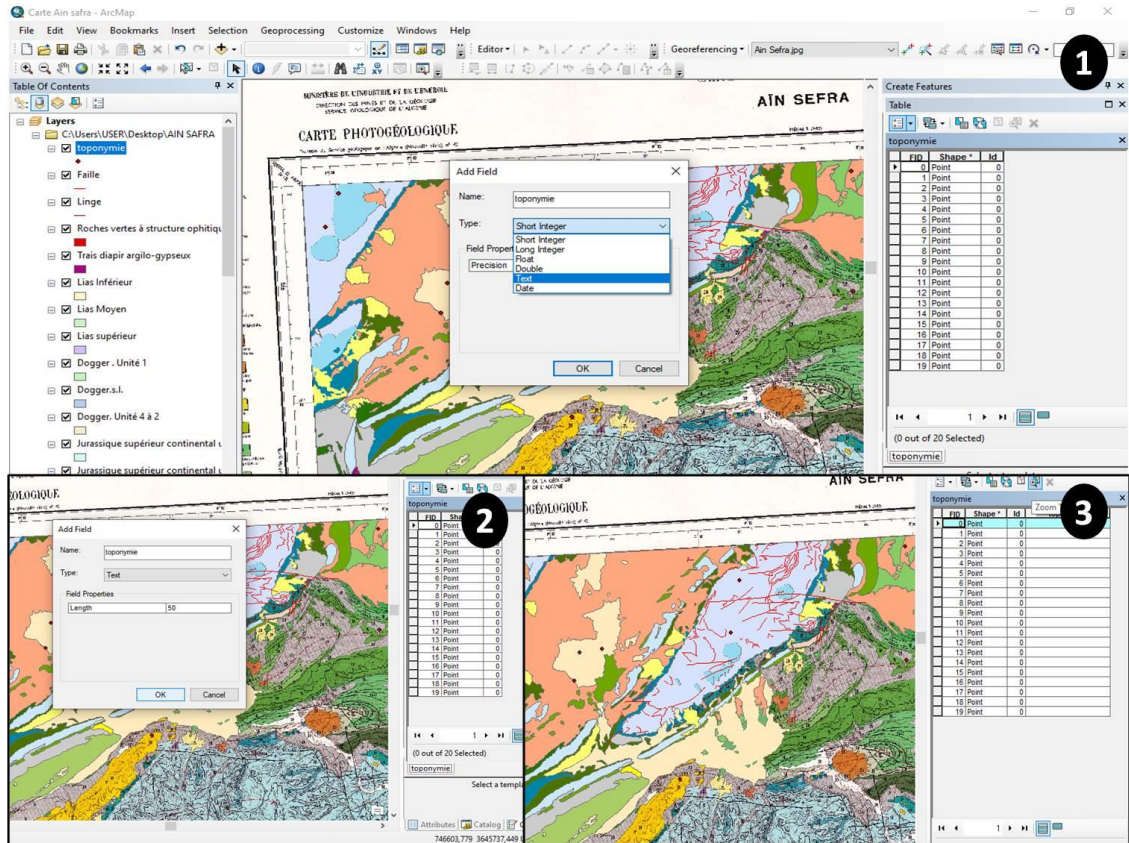


Fig. 3. 20: Etapes d'attribution des données alphanumériques

Les données collectées sont introduites sous format numérique et hiérarchisé (classé) dans la base des données pour faciliter leur manipulation au sein d'un SIG. Nous avons structuré ces données en tables thématiques : table lithologique, table tectonique et table toponymique.

Table lithologique

| Formations | Membres | Ages |
|---------------------------|--|--------------|
| « Formations d'Aïssa » | Membre inférieur unité 12 de Galmier | Portlandien |
| | Membre supérieur unités 13 et 14 de Galmier | Kimméridgien |
| « Formations de Tiloula » | Membre inférieur unités 14 et 15 de Galmier. | Tithonien |
| | Membre supérieur unité 16 de Galmier | Néocomien |
| « Formations de Tiout » | Membre inférieur unité 17 de Galmier. | Barrémien |
| | Membre moyen unité 18 de Galmier | Aptien |
| | Membre supérieur unité 19 de Galmier | Albien |

Table tectonique (failles, axes de plis, signes de pendages, les altitudes)









| Paramètres | Topologie | Signes |
|---------------------|------------|---|
| Failles | Polylignes |  |
| Failles supposés | Polylignes |  |
| Pendage horizontal | Points |  |
| Pendage verticale | Points |  |
| Pendage fort | Points |  |
| Pendage faible | Points |  |
| Axes anticlinal | Polylignes |  |
| Limite de structure | Polylignes |  |

Table toponymique :

| Eléments | Toponymie |
|-----------------------------------|---|
| Villes,villages et agglomérations | Aïn Séfra Mékalis Tiout Morghad Tiloula El Hendjir Tirkount |
| Djebels | Djebel Mekther Djebel Aïssa Djebel Morghad Djebel Tifkirt |
| Sources d'eau et Oueds | Aïn Srara Aïn tiourtelt Aïoun Rachgoun Aïn Aïssa Oued Mekther |

II. Résultats : Validation et Synthèse

1 Cartographie lithologique

1.1 Définition des formations géologiques et reconnaissance des unités à cartographier :

Voir tableau 3. 1 [Tableau des équivalences (Unité/Formation ou Membre), (Kacemi, 2005)]

Pour la cartographie lithologique nous nous sommes basés sur les cartes photogéologiques de Galmier, 1970 (seul support qu'on possède) et les travaux des anciens auteurs qui ont travaillé dans la région.

La première unité cartographiable est représentée par l'unité 12 de Galmier elle englobe le « Membre inférieur » de « La Formations d'Aïssa », l'âge approprié à cette unité est Kimméridgien (Jurassique supérieur)

Le « Membre supérieur » de la « La Formations d'Aïssa » d'âge Portlandien correspond à l'unité 13 de Galmier et qui correspond à la deuxième unité cartographiable

La troisième unité cartographiable représentée par le « Membre inférieur » de la « Formation de Tiloula » d'âge Tithonien, qui rassemblera une partie de l'unité 14 avec l'unité 15 de Galmier.

L'unité 16 de Galmier correspond au « Membre supérieur » de la « Formation de Tiloula », l'âge approprié à cette unité est Néocomien ; c'est la quatrième unité cartographiable.

Le « Membre inférieur » de la « Formation de Tiout » d'âge Barrémien, correspond à l'unité 17 de Galmier. C'est la cinquième unité cartographiable.

Concernent le « Membre médian » de la « Formation de Tiout » c'est la sixième unité cartographiable qui est représenté par l'unité 18 de Galmier. Elle est d'âge Aptien.

Le « Membre supérieur » de la « Formation de Tiout » correspond à l'unité 19 de Galmier d'âge Albien. Il représente la septième unité cartographiable.

La « Formation de Rhelida » d'âge Vraconien (Albien supérieur), correspond à l'unité 20 de Galmier. Elle représente la huitième unité cartographiable.

La « Formation de Medaouar » d'âge Cénomaniens inférieur correspond à l'unité 21 de Galmier et qui représente la neuvième unité cartographiable.

La « Formation de Rhoundjaïa » d'âge Cénomaniens Supérieur-Turonien, correspond à l'unité 22 de Galmier Elle définit la dixième unité cartographiable.

Le Tertiaire (selon Galmier) constitue la onzième unité cartographiable. Elle est représentée pour le moment par les unités 25, 26, 27 de Galmier.

La douzième unité cartographiable, d'âge supposé Quaternaire (Galmier, 1970), englobe les unités 28, 29, 30 et 31 de Galmier.

1.2 Cartographie des unités lithologiques (carte lithologique) (Fig. 3. 21)

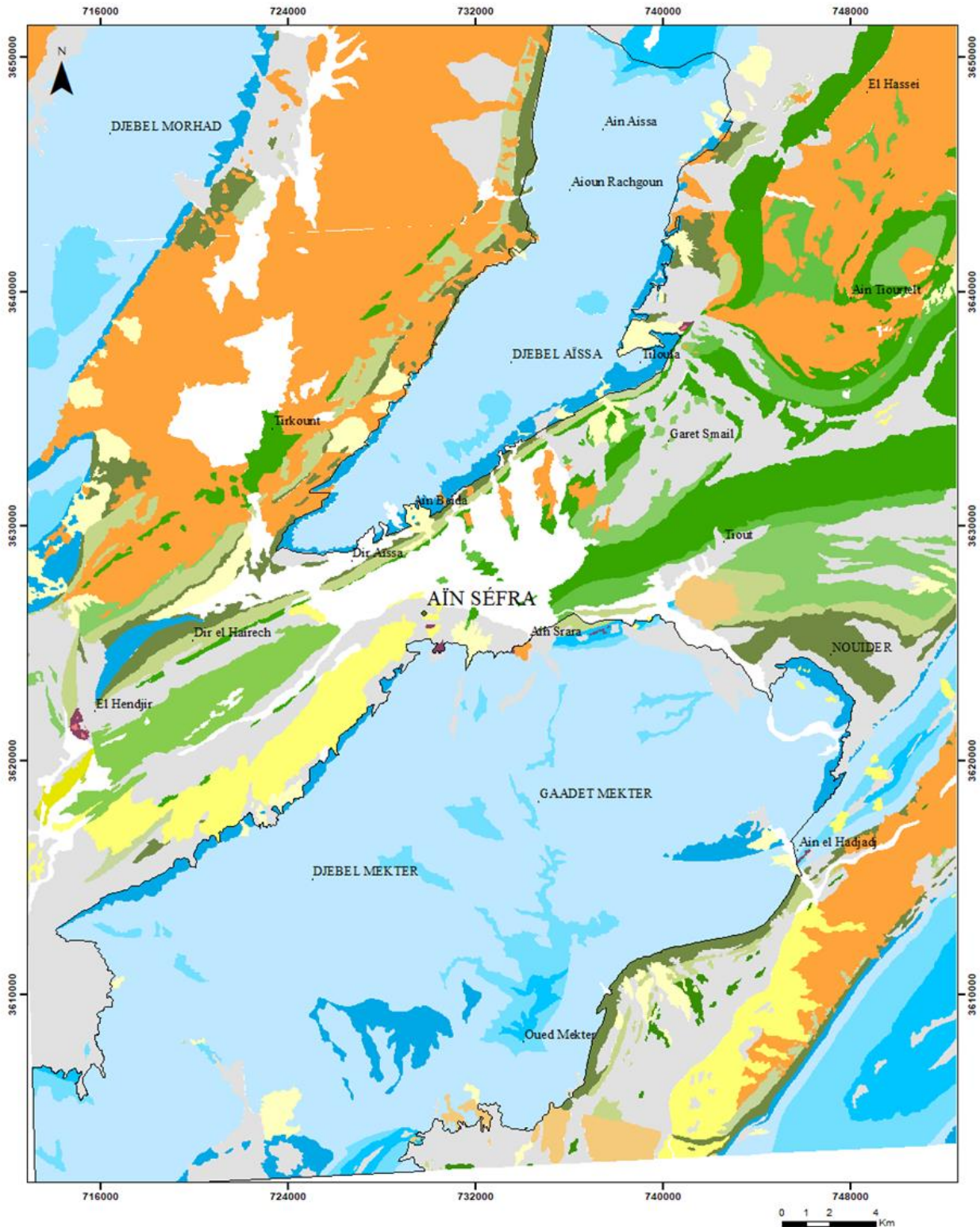


Fig. 3. 21: Carte lithologique de la région d'étude



Fig. 3. 21': Légende de la carte lithologique

2 Cartographie des linéaments

Carte des linéaments (Fig. 3. 22)

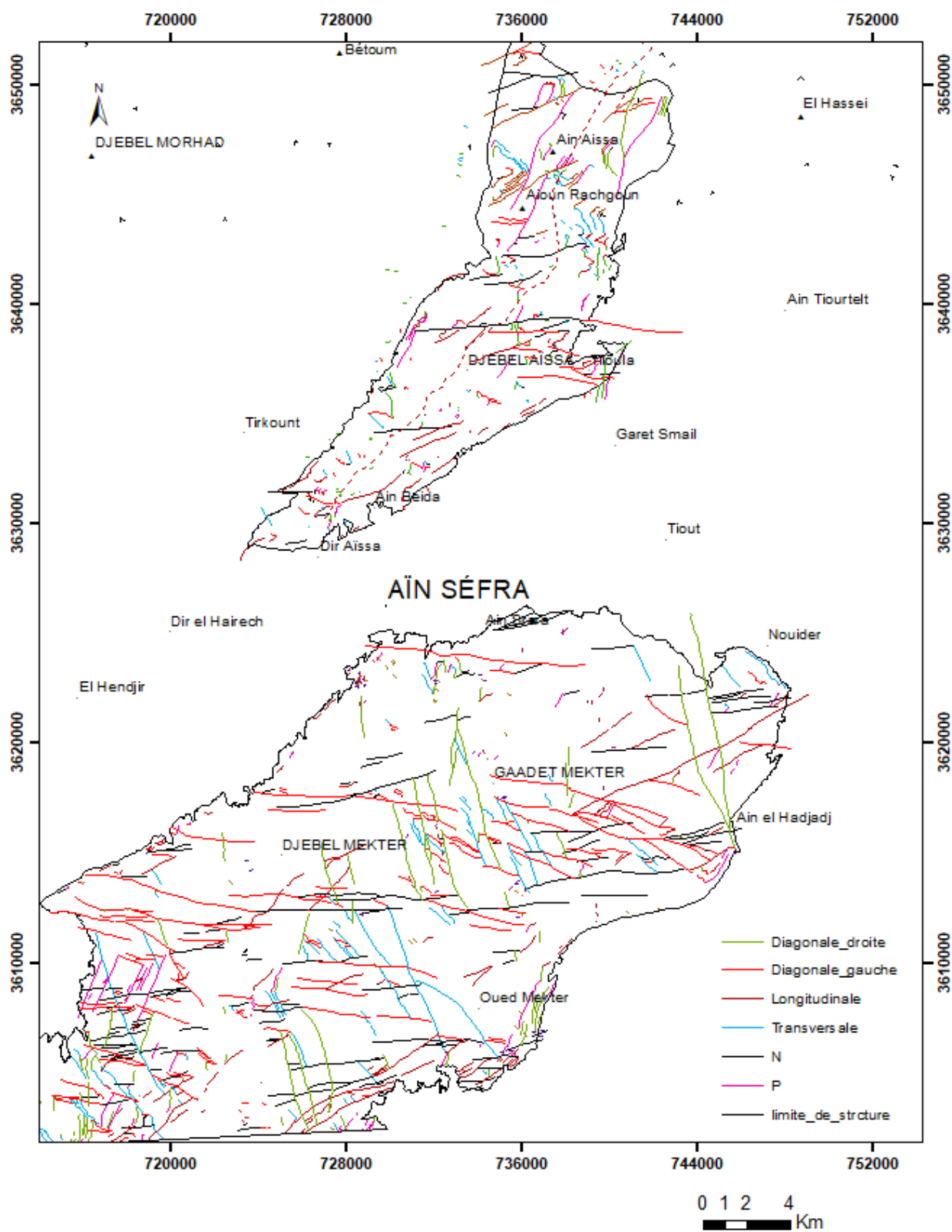


Fig. 3. 22: Carte des linéaments de la région étudiée

3 La carte structurale (Fig. 3. 23)

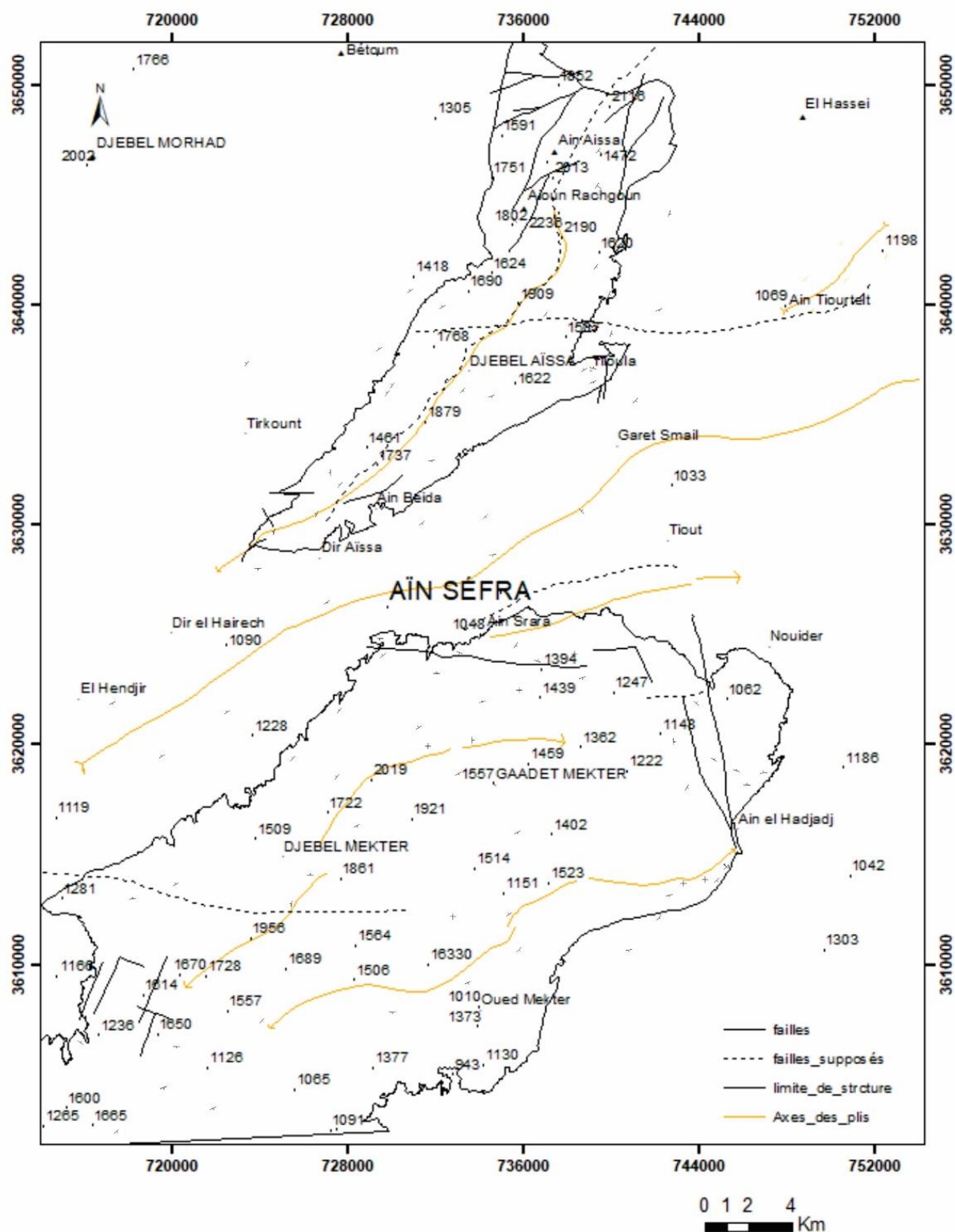


Fig. 3. 23: Carte structurale de la région étudiée.

4.2 Etude statistique de la fracturation globale de chaque structure

La carte photogéologique nous a permis de caractériser un réseau linéamentaire de 833 linéaments dans la structure de Djebel Mekther et de 389 linéaments dans la structure de Djebel Aïssa qui sont réparties en :

- 36 classes avec un pas de 05.
- 18 classes avec un pas de 10.
- 9 classes avec un pas de 20.

Afin de mieux analyser le réseau linéamentaire, nous avons donné des couleurs aux linéaments géologiques (fractures), relativement à leurs orientations par rapport à l'axe des structures plissées (anticlinales) (Fig. 3. 22, 23 et 24)

- Parallèle à l'axe ; les linéaments (LL) sont de couleur marron
- Perpendiculaire à l'axe ; les linéaments (LT) sont de couleur bleu
- Diagonale par rapport à l'axe :

Diagonale droite (Dd) ; les linéaments sont de couleur verte.

Diagonale gauche (Dg) ; les linéaments sont de couleur rouge.

- Les linéaments P sont de couleur Jaune.
- Les linéaments N sont de couleur noir.

La création des rosaces quantitatives (N) et qualitatives (L), ainsi que des histogrammes de fréquence, prend en condition les paramètres suivants :

- N : nombre de linéaments en fonction de leurs orientations.
- N% : pourcentage par rapport au nombre total.
- L : longueur de linéaments selon leurs orientations.
- L% pourcentage par rapport à la longueur totale.
- C : classe avec un pas de 5, de 10 et de 20.

L'analyse géostatistique des fractures (linéaments géologiques) quantitative (N) et qualitative (L), se fera par structure (Djebel Mekther ensuite Djebel Aïssa) avec des pas de 5°, 10° et 20°.

A-Avec un pas de 5°**1. Djebel Mekther :****1.1. Analyse quantitative des linéaments (N) :**

- La carte photogéologique nous a permis de caractériser un réseau linéamentaire de 671 linéaments dans la structure de Djebel Mekther (Tableau 3. 4)

| C | N | P(%) |
|-------------|-----|------|
| (N000-N005) | 56 | 8,35 |
| (N005-N010) | 33 | 4,92 |
| (N010-N015) | 24 | 3,58 |
| (N015-N020) | 22 | 3,28 |
| (N020-N025) | 20 | 2,98 |
| (N025-N030) | 21 | 3,13 |
| (N030-N035) | 15 | 2,24 |
| (N035-N040) | 13 | 1,94 |
| (N040-N045) | 18 | 2,68 |
| (N045-N050) | 25 | 3,73 |
| (N050-N055) | 13 | 1,94 |
| (N055-N060) | 17 | 2,53 |
| (N060-N065) | 18 | 2,68 |
| (N065-N070) | 17 | 2,53 |
| (N070-N075) | 20 | 2,98 |
| (N075-N080) | 5 | 0,75 |
| (N080-N085) | 9 | 1,34 |
| (N085-N090) | 16 | 2,38 |
| (N090-N095) | 10 | 1,49 |
| (N095-N100) | 7 | 1,04 |
| (N100-N105) | 10 | 1,49 |
| (N105-N110) | 19 | 2,83 |
| (N110-N115) | 14 | 2,09 |
| (N115-N120) | 15 | 2,24 |
| (N120-N125) | 17 | 2,53 |
| (N125-N130) | 11 | 1,64 |
| (N130-N135) | 19 | 2,83 |
| (N135-N140) | 11 | 1,64 |
| (N140-N145) | 17 | 2,53 |
| (N145-N150) | 11 | 1,64 |
| (N150-N155) | 25 | 3,73 |
| (N155-N160) | 20 | 2,98 |
| (N160-N165) | 19 | 2,83 |
| (N165-N170) | 18 | 2,68 |
| (N170-N175) | 36 | 5,37 |
| (N175-N180) | 30 | 4,47 |
| Total | 671 | 100% |

Tableau. 3. 4: Récapitulatif des mesures statistiques des directions des linéaments de Djebel Mekther avec pas de 05°, issues de la carte photogéologique.

- Google Earth (GEP) nous a permis de caractériser un réseau linéaire de 162 linéaments dans la structure de Djebel Mekther (Tableau 3. 5).

| C | N | N% |
|-------------|-----|-------|
| (N000-N005) | 3 | 1,85 |
| (N005-N010) | 4 | 2,47 |
| (N010-N015) | 1 | 0,62 |
| (N015-N020) | 2 | 1,23 |
| (N020-N025) | 4 | 2,47 |
| (N025-N030) | 1 | 0,62 |
| (N030-N035) | 3 | 1,85 |
| (N035-N040) | 3 | 1,85 |
| (N040-N045) | 10 | 6,17 |
| (N045-N050) | 2 | 1,23 |
| (N050-N055) | 3 | 1,85 |
| (N055-N060) | 1 | 0,62 |
| (N060-N065) | 2 | 1,23 |
| (N065-N070) | 0 | 0,00 |
| (N070-N075) | 0 | 0,00 |
| (N075-N080) | 4 | 2,47 |
| (N080-N085) | 4 | 2,47 |
| (N085-N090) | 3 | 1,85 |
| (N090-N095) | 3 | 1,85 |
| (N095-N100) | 3 | 1,85 |
| (N100-N105) | 11 | 6,79 |
| (N105-N110) | 17 | 10,49 |
| (N110-N115) | 17 | 10,49 |
| (N115-N120) | 20 | 12,35 |
| (N120-N125) | 11 | 6,79 |
| (N125-N130) | 7 | 4,32 |
| (N130-N135) | 4 | 2,47 |
| (N135-N140) | 5 | 3,09 |
| (N140-N145) | 1 | 0,62 |
| (N145-N150) | 0 | 0,00 |
| (N150-N155) | 1 | 0,62 |
| (N155-N160) | 3 | 1,85 |
| (N160-N165) | 1 | 0,62 |
| (N165-N170) | 2 | 1,23 |
| (N170-N175) | 1 | 0,62 |
| (N175-N180) | 5 | 3,09 |
| Total | 162 | 100% |

Tableau. 3. 5: Récapitulatif des mesures statistiques des directions des linéaments de Djebel Mekther issues de Google Earth avec pas de 05°.

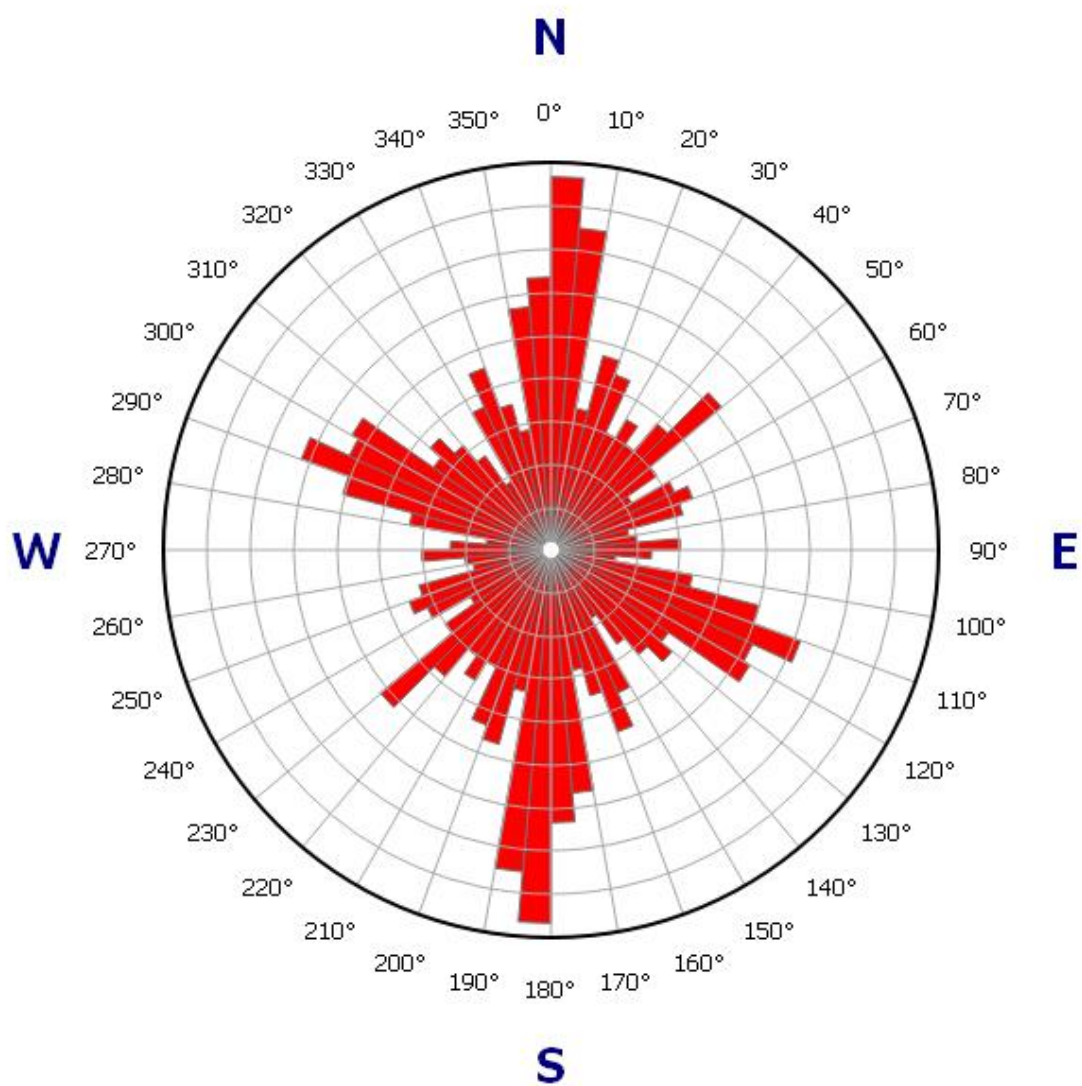


Fig. 3. 25: Rosace de distribution directionnelle des linéaments encaissés dans la structure de Djebel Mekther, avec un pas de 5°.

1.2. L'Analyse qualitative (L) :

- Linéaments issus de la carte photogéologique d'Aïn Séfra (tableau 3. 6):

| C | L (km) | L% |
|-------------|--------|-------|
| (N000-N005) | 81 | 10,19 |
| (N005-N010) | 53,54 | 6,69 |
| (N010-N015) | 31,20 | 3,90 |
| (N015-N020) | 27,26 | 3,41 |
| (N020-N025) | 24,11 | 3,01 |
| (N025-N030) | 32,40 | 4,05 |
| (N030-N035) | 13,45 | 1,68 |
| (N035-N040) | 9,45 | 1,18 |
| (N040-N045) | 13,80 | 1,72 |
| (N045-N050) | 15,03 | 1,88 |
| (N050-N055) | 6,84 | 0,85 |
| (N055-N060) | 6,30 | 0,79 |
| (N060-N065) | 12,04 | 1,50 |
| (N065-N070) | 19,16 | 2,40 |
| (N070-N075) | 16,74 | 2,09 |
| (N075-N080) | 4,09 | 0,51 |
| (N080-N085) | 9,22 | 1,15 |
| (N085-N090) | 7,70 | 0,96 |
| (N090-N095) | 9,23 | 1,15 |
| (N095-N100) | 18,13 | 2,27 |
| (N100-N105) | 11,96 | 1,50 |
| (N105-N110) | 41,98 | 5,25 |
| (N110-N115) | 29,00 | 3,62 |
| (N115-N120) | 16,54 | 2,07 |
| (N120-N125) | 14,68 | 1,83 |
| (N125-N130) | 10,58 | 1,32 |
| (N130-N135) | 15,07 | 1,88 |
| (N135-N140) | 13,88 | 1,74 |
| (N140-N145) | 11,31 | 1,41 |
| (N145-N150) | 5,92 | 0,74 |
| (N150-N155) | 26,30 | 3,29 |
| (N155-N160) | 24,84 | 3,10 |
| (N160-N165) | 24,66 | 3,08 |
| (N165-N170) | 34,14 | 4,27 |
| (N170-N175) | 65,74 | 8,22 |
| (N175-N180) | 42,24 | 5,28 |
| Total | 800 | 100% |

Tableau. 3. 6: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Mekther avec un pas de 05°.

- Linéaments issus de Google Earth (tableau 3. 7) :

| C | L(km) | L% |
|-------------|-------|------|
| (N000-N005) | 1 | 4,28 |
| (N005-N010) | 0,84 | 2,62 |
| (N010-N015) | 0,25 | 0,79 |
| (N015-N020) | 0,25 | 0,78 |
| (N020-N025) | 0,44 | 1,36 |
| (N025-N030) | 0,01 | 0,04 |
| (N030-N035) | 0,16 | 0,50 |
| (N035-N040) | 0,13 | 0,40 |
| (N040-N045) | 1,18 | 3,68 |
| (N045-N050) | 0,45 | 1,39 |
| (N050-N055) | 0,99 | 3,11 |
| (N055-N060) | 0,37 | 1,16 |
| (N060-N065) | 0,37 | 1,17 |
| (N065-N070) | 0,00 | 0,00 |
| (N070-N075) | 0,00 | 0,00 |
| (N075-N080) | 1,05 | 3,28 |
| (N080-N085) | 1,01 | 3,17 |
| (N085-N090) | 1,90 | 5,93 |
| (N090-N095) | 0,79 | 2,48 |
| (N095-N100) | 0,44 | 1,36 |
| (N100-N105) | 1,31 | 4,10 |
| (N105-N110) | 1,76 | 5,51 |
| (N110-N115) | 2,61 | 8,14 |
| (N115-N120) | 2,19 | 6,84 |
| (N120-N125) | 1,18 | 3,69 |
| (N125-N130) | 1,45 | 4,52 |
| (N130-N135) | 2,24 | 7,00 |
| (N135-N140) | 1,75 | 5,45 |
| (N140-N145) | 0,37 | 1,14 |
| (N145-N150) | 0,00 | 0,00 |
| (N150-N155) | 0,11 | 0,33 |
| (N155-N160) | 1,03 | 3,23 |
| (N160-N165) | 1,99 | 6,23 |
| (N165-N170) | 0,14 | 0,45 |
| (N170-N175) | 0,16 | 0,50 |
| (N175-N180) | 1,42 | 4,43 |
| Total | 32 | 100% |

Tableau. 3. 7: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Mekther issues de Google Earth avec un pas de 05°.

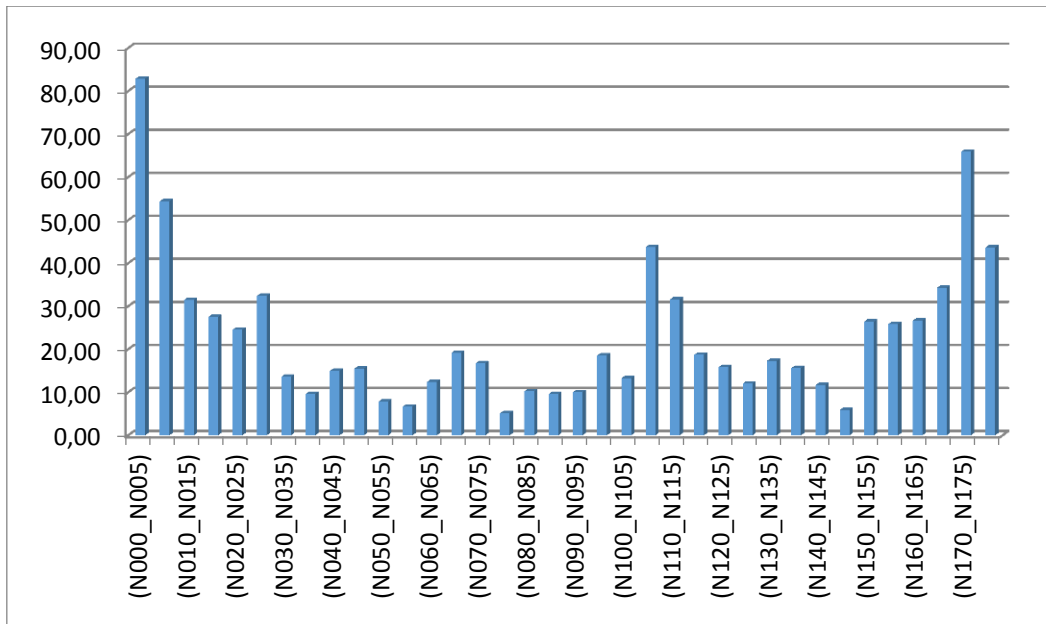


Fig. 3. 26: Histogramme qualitatif des linéaments de Djebel Mekther avec pas de 05°.

L’histogramme qualitatif des longueurs (L) de Dj. Mekther pour un pas de 5° montre 3 familles qui possèdent les plus grandes longueurs. Ces dernières évoluent dans le même sens en un taux presque égale en nombre / classe (N) (rosace quantitative) pour les classes de ces mêmes familles.

La première famille représentée par deux classes : N000°-N005° (9,96%) ; N005°-N010° (6,54%)

La deuxième famille représente par deux classes : N105°-N110 (5,26%) ; N010°-N015° (3,80%)

La troisième famille représente par trois classes : N165-N170 (4,12%) ; N170°-N175° (7,92%) ; N175°-N180° (5,25%)

| C | N | N% | L(Km) | L% |
|-------------|-----|------|--------|------|
| (N000-N005) | 59 | 7,08 | 82,86 | 9,96 |
| (N005-N010) | 37 | 4,44 | 54,38 | 6,54 |
| (N010-N015) | 25 | 3,00 | 31,46 | 3,78 |
| (N015-N020) | 24 | 2,88 | 27,51 | 3,31 |
| (N020-N025) | 24 | 2,88 | 24,54 | 2,95 |
| (N025-N030) | 22 | 2,64 | 32,41 | 3,90 |
| (N030-N035) | 18 | 2,16 | 13,61 | 1,64 |
| (N035-N040) | 16 | 1,92 | 9,58 | 1,15 |
| (N040-N045) | 28 | 3,36 | 14,97 | 1,80 |
| (N045-N050) | 27 | 3,24 | 15,48 | 1,86 |
| (N050-N055) | 16 | 1,92 | 7,83 | 0,94 |
| (N055-N060) | 18 | 2,16 | 6,67 | 0,80 |
| (N060-N065) | 20 | 2,40 | 12,41 | 1,49 |
| (N065-N070) | 17 | 2,04 | 19,16 | 2,30 |
| (N070-N075) | 20 | 2,40 | 16,74 | 2,01 |
| (N075-N080) | 9 | 1,08 | 5,14 | 0,62 |
| (N080-N085) | 13 | 1,56 | 10,23 | 1,23 |
| (N085-N090) | 19 | 2,28 | 9,60 | 1,15 |
| (N090-N095) | 13 | 1,56 | 10,02 | 1,20 |
| (N095-N100) | 10 | 1,20 | 18,56 | 2,23 |
| (N100-N105) | 21 | 2,52 | 13,28 | 1,60 |
| (N105-N110) | 36 | 4,32 | 43,75 | 5,26 |
| (N110-N115) | 31 | 3,72 | 31,60 | 3,80 |
| (N115-N120) | 35 | 4,20 | 18,73 | 2,25 |
| (N120-N125) | 28 | 3,36 | 15,86 | 1,91 |
| (N125-N130) | 18 | 2,16 | 12,03 | 1,45 |
| (N130-N135) | 23 | 2,76 | 17,31 | 2,08 |
| (N135-N140) | 16 | 1,92 | 15,63 | 1,88 |
| (N140-N145) | 18 | 2,16 | 11,68 | 1,40 |
| (N145-N150) | 11 | 1,32 | 5,92 | 0,71 |
| (N150-N155) | 26 | 3,12 | 26,41 | 3,17 |
| (N155-N160) | 23 | 2,76 | 25,87 | 3,11 |
| (N160-N165) | 20 | 2,40 | 26,66 | 3,20 |
| (N165-N170) | 20 | 2,40 | 34,28 | 4,12 |
| (N170-N175) | 37 | 4,44 | 65,90 | 7,92 |
| (N175-N180) | 35 | 4,20 | 43,66 | 5,25 |
| Total | 833 | 100 | 831,73 | 100% |

Tableau. 3. 8: Récapitulatif des mesures statistiques des directions (N) et des longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 05°.

2. Djebel Aïssa :

2.1. Analyse quantitative des linéaments (N) :

- La carte photogéologique nous a permis de caractériser un réseau linéamentaire de 389 de la structure de Djebel Aïssa (Tableau 3. 9).

| C | N | N% |
|-------------|-----|------|
| (N000-N005) | 13 | 4,56 |
| (N005-N010) | 10 | 3,51 |
| (N010-N015) | 4 | 1,40 |
| (N015-N020) | 10 | 3,51 |
| (N020-N025) | 15 | 5,26 |
| (N025-N030) | 10 | 3,51 |
| (N030-N035) | 11 | 3,86 |
| (N035-N040) | 18 | 6,32 |
| (N040-N045) | 10 | 3,51 |
| (N045-N050) | 6 | 2,11 |
| (N050-N055) | 9 | 3,16 |
| (N055-N060) | 8 | 2,81 |
| (N060-N065) | 8 | 2,81 |
| (N065-N070) | 13 | 4,56 |
| (N070-N075) | 9 | 3,16 |
| (N075-N080) | 5 | 1,75 |
| (N080-N085) | 6 | 2,11 |
| (N085-N090) | 3 | 1,05 |
| (N090-N095) | 12 | 4,21 |
| (N095-N100) | 5 | 1,75 |
| (N100-N105) | 4 | 1,40 |
| (N105-N110) | 7 | 2,46 |
| (N110-N115) | 7 | 2,46 |
| (N115-N120) | 3 | 1,05 |
| (N120-N125) | 8 | 2,81 |
| (N125-N130) | 7 | 2,46 |
| (N130-N135) | 4 | 1,40 |
| (N135-N140) | 4 | 1,40 |
| (N140-N145) | 4 | 1,40 |
| (N145-N150) | 7 | 2,46 |
| (N150-N155) | 9 | 3,16 |
| (N155-N160) | 5 | 1,75 |
| (N160-N165) | 6 | 2,11 |
| (N165-N170) | 2 | 0,70 |
| (N170-N175) | 12 | 4,21 |
| (N175-N180) | 11 | 3,86 |
| Total | 285 | 100% |

Tableau. 3. 9: Récapitulatif des mesures statistiques des directions des linéaments de Djebel Aïssa issues de la carte photogéologique avec un pas de 05°.

- Google Earth nous a permis de caractériser un réseau linéaire de 162 linéaments dans la structure de Djebel Mekther (Tableau 3. 10).

| C | N | N% |
|-------------|-----|------|
| (N000-N005) | 2 | 1,90 |
| (N005-N010) | 0 | 0,00 |
| (N010-N015) | 2 | 1,90 |
| (N015-N020) | 4 | 3,81 |
| (N020-N025) | 4 | 3,81 |
| (N025-N030) | 1 | 0,95 |
| (N030-N035) | 2 | 1,90 |
| (N035-N040) | 1 | 0,95 |
| (N040-N045) | 1 | 0,95 |
| (N045-N050) | 3 | 2,86 |
| (N050-N055) | 2 | 1,90 |
| (N055-N060) | 1 | 0,95 |
| (N060-N065) | 2 | 1,90 |
| (N065-N070) | 3 | 2,86 |
| (N070-N075) | 3 | 2,86 |
| (N075-N080) | 1 | 0,95 |
| (N080-N085) | 3 | 2,86 |
| (N085-N090) | 4 | 3,81 |
| (N090-N095) | 3 | 2,86 |
| (N095-N100) | 6 | 5,71 |
| (N100-N105) | 7 | 6,67 |
| (N105-N110) | 3 | 2,86 |
| (N110-N115) | 9 | 8,57 |
| (N115-N120) | 4 | 3,81 |
| (N120-N125) | 2 | 1,90 |
| (N125-N130) | 2 | 1,90 |
| (N130-N135) | 4 | 3,81 |
| (N135-N140) | 2 | 1,90 |
| (N140-N145) | 4 | 3,81 |
| (N145-N150) | 3 | 2,86 |
| (N150-N155) | 4 | 3,81 |
| (N155-N160) | 1 | 0,95 |
| (N160-N165) | 3 | 2,86 |
| (N165-N170) | 2 | 1,90 |
| (N170-N175) | 3 | 2,86 |
| (N175-N180) | 3 | 2,86 |
| Total | 104 | 100% |

Tableau. 3. 10: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Aïssa issues de GEP avec un pas de 05°.

- Rosace de distribution directionnelle des fractures issues de la carte photogéologique et des images GEP :

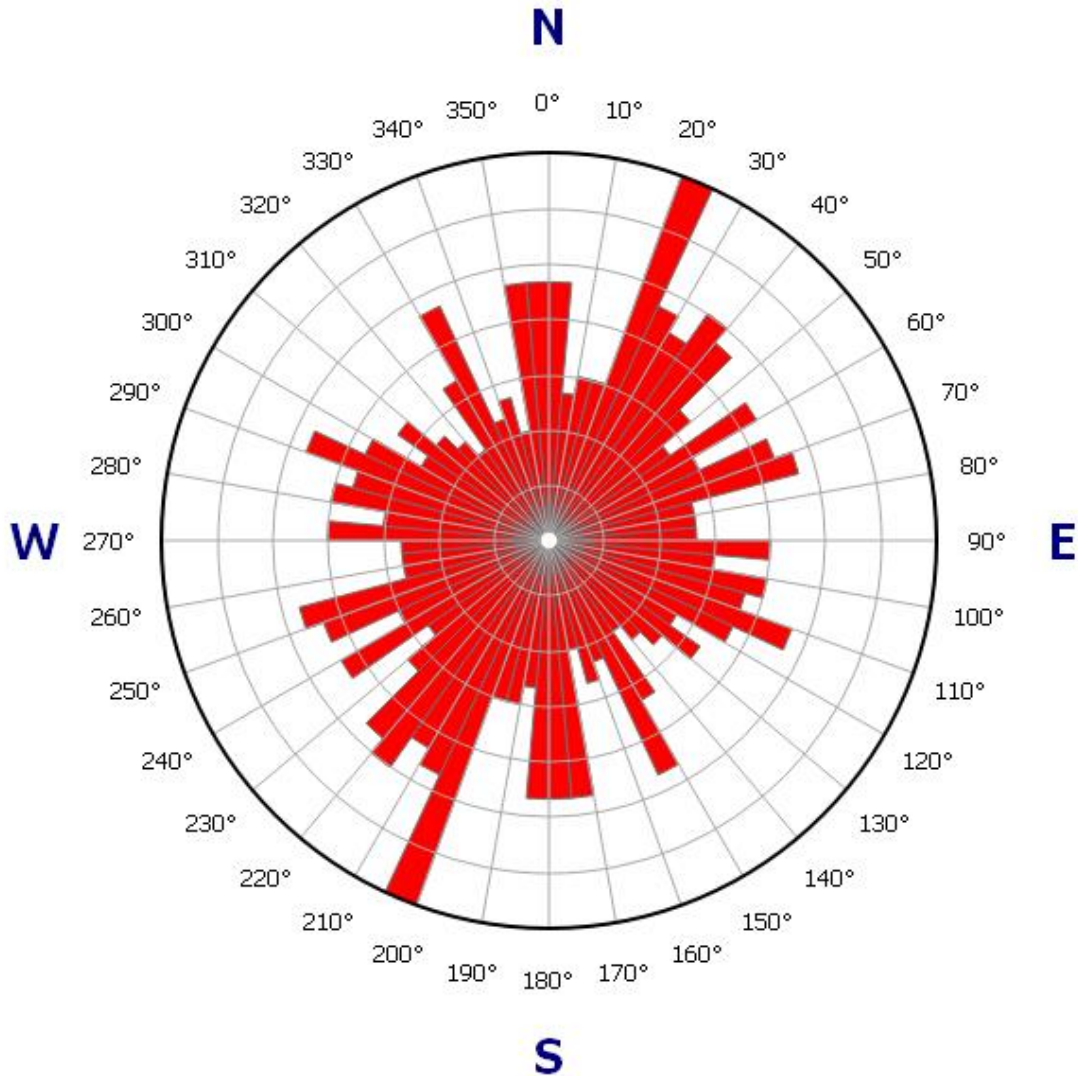


Fig. 3. 27: Rosace de distribution directionnelle des linéaments encaissés dans la structure de Jebel Aïssa avec un pas de 05°.

2.2. Analyse qualitative (L) des linéaments :

- Linéaments issus de la carte photogéologique (tableau 3. 11):

| C | L(Km) | L% |
|-------------|-------|------|
| (N000-N005) | 20 | 8,78 |
| (N005-N010) | 10,17 | 4,48 |
| (N010-N015) | 3,60 | 1,59 |
| (N015-N020) | 6,26 | 2,76 |
| (N020-N025) | 21,49 | 9,47 |
| (N025-N030) | 11,87 | 5,23 |
| (N030-N035) | 9,22 | 4,06 |
| (N035-N040) | 14,35 | 6,32 |
| (N040-N045) | 6,41 | 2,82 |
| (N045-N050) | 2,83 | 1,25 |
| (N050-N055) | 5,52 | 2,43 |
| (N055-N060) | 5,07 | 2,23 |
| (N060-N065) | 11,33 | 4,99 |
| (N065-N070) | 14,74 | 6,49 |
| (N070-N075) | 3,93 | 1,73 |
| (N075-N080) | 5,92 | 2,61 |
| (N080-N085) | 3,80 | 1,67 |
| (N085-N090) | 1,86 | 0,82 |
| (N090-N095) | 4,37 | 1,92 |
| (N095-N100) | 2,27 | 1,00 |
| (N100-N105) | 3,30 | 1,45 |
| (N105-N110) | 2,20 | 0,97 |
| (N110-N115) | 3,33 | 1,47 |
| (N115-N120) | 0,84 | 0,37 |
| (N120-N125) | 3,47 | 1,53 |
| (N125-N130) | 2,30 | 1,01 |
| (N130-N135) | 3,21 | 1,41 |
| (N135-N140) | 3,28 | 1,44 |
| (N140-N145) | 1,32 | 0,58 |
| (N145-N150) | 2,93 | 1,29 |
| (N150-N155) | 5,06 | 2,23 |
| (N155-N160) | 2,68 | 1,18 |
| (N160-N165) | 3,32 | 1,46 |
| (N165-N170) | 1,26 | 0,55 |
| (N170-N175) | 12,27 | 5,41 |
| (N175-N180) | 10,94 | 4,82 |
| Total | 227 | 100% |

Tableau. 3. 11: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Aïssa issues de la carte photogéologiques avec un pas de 05°.

- Linéaments issus de Google Earth (tableau 3. 12) :

| C | L (km) | L% |
|-------------|--------|-------|
| (N000-N005) | 0 | 0,40 |
| (N005-N010) | 0,00 | 0,00 |
| (N010-N015) | 0,30 | 0,52 |
| (N015-N020) | 0,73 | 1,28 |
| (N020-N025) | 0,60 | 1,06 |
| (N025-N030) | 0,16 | 0,28 |
| (N030-N035) | 0,44 | 0,77 |
| (N035-N040) | 1,44 | 2,52 |
| (N040-N045) | 28,18 | 49,44 |
| (N045-N050) | 0,49 | 0,85 |
| (N050-N055) | 0,44 | 0,77 |
| (N055-N060) | 0,21 | 0,37 |
| (N060-N065) | 0,50 | 0,88 |
| (N065-N070) | 1,00 | 1,76 |
| (N070-N075) | 0,63 | 1,11 |
| (N075-N080) | 0,49 | 0,85 |
| (N080-N085) | 0,50 | 0,88 |
| (N085-N090) | 1,67 | 2,93 |
| (N090-N095) | 0,42 | 0,73 |
| (N095-N100) | 1,99 | 3,49 |
| (N100-N105) | 1,75 | 3,07 |
| (N105-N110) | 0,68 | 1,20 |
| (N110-N115) | 2,64 | 4,63 |
| (N115-N120) | 0,70 | 1,23 |
| (N120-N125) | 0,42 | 0,74 |
| (N125-N130) | 1,30 | 2,28 |
| (N130-N135) | 2,71 | 4,76 |
| (N135-N140) | 0,48 | 0,83 |
| (N140-N145) | 0,91 | 1,59 |
| (N145-N150) | 0,64 | 1,13 |
| (N150-N155) | 1,03 | 1,80 |
| (N155-N160) | 0,12 | 0,21 |
| (N160-N165) | 0,93 | 1,63 |
| (N165-N170) | 0,80 | 1,40 |
| (N170-N175) | 0,41 | 0,71 |
| (N175-N180) | 0,61 | 1,07 |
| Total | 57 | 100% |

Tableau. 3. 12: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Aïssa issues de Google Earth avec un pas de 05°.

- Histogramme qualitatif (L) des linéaments de Djebel Aïssa avec un pas de 05

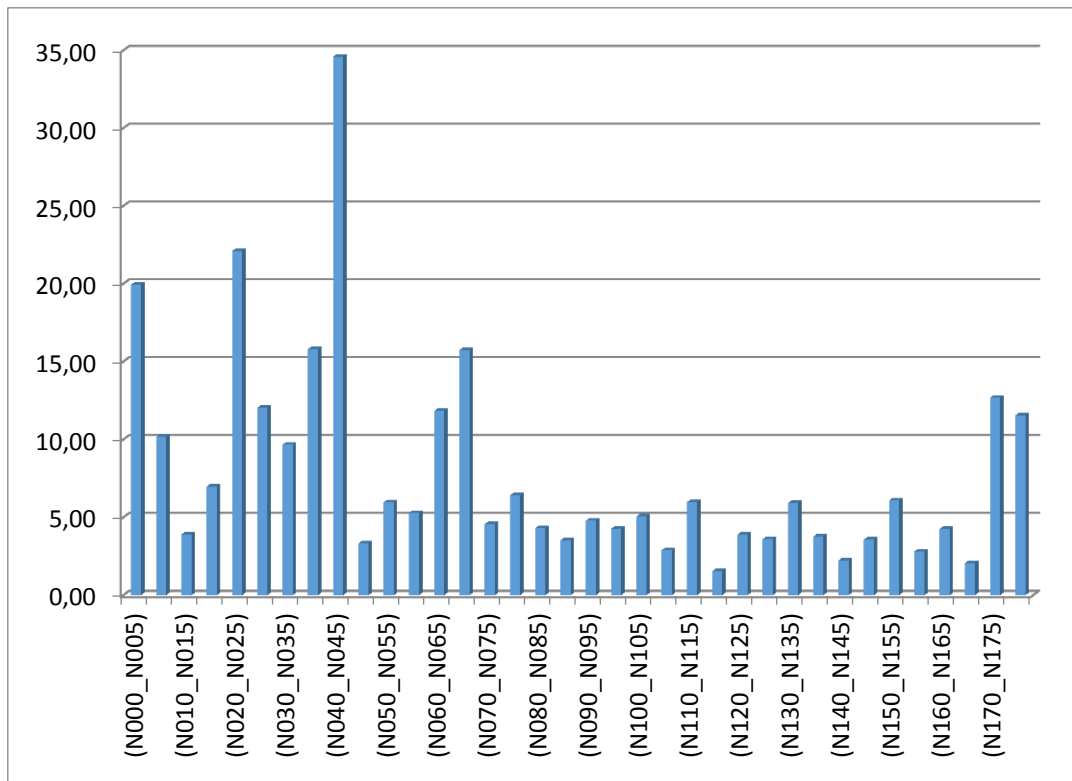


Fig. 3. 28: Histogramme qualitatif des linéaments de Djebel Aïssa avec un pas de 05°.

L’histogramme qualitatif des longueurs (L) de Dj. Aïssa pour un pas de 5° montre 4 familles qui possèdent les plus grandes longueurs. Ces dernières évoluent dans le même sens en un taux presque égale en nombre / classe (N) (rosace quantitative) pour les classes de ces mêmes familles.

La première famille représente par deux classes : N000°-N005° (7,3%) et N005°-N010° (3,58%)

La deuxième famille représente par cinq classes suivantes : N020°-N025 (7,79%) ; N025°-N030° (4,24%) ; N030°-N035° (3,41%) ; N035°-N040° (5,57%) et N040°-N045° (12,19%)

La troisième famille représente par deux classes : N060°-N065 (4,17%) ; N065°-N070° (5,55%)

La quatrième famille représente par deux classes : N170°-N175° (4,47%) ; N175°-N180° (4,07%)

| C | N | N% | L(km) | L |
|-------------|-----|------|--------|-------|
| (N000-N005) | 15 | 3,86 | 19,93 | 7,03 |
| (N005-N010) | 10 | 2,57 | 10,17 | 3,58 |
| (N010-N015) | 6 | 1,54 | 3,90 | 1,38 |
| (N015-N020) | 14 | 3,60 | 6,99 | 2,46 |
| (N020-N025) | 19 | 4,88 | 22,09 | 7,79 |
| (N025-N030) | 11 | 2,83 | 12,03 | 4,24 |
| (N030-N035) | 13 | 3,34 | 9,66 | 3,41 |
| (N035-N040) | 19 | 4,88 | 15,79 | 5,57 |
| (N040-N045) | 11 | 2,83 | 34,59 | 12,19 |
| (N045-N050) | 9 | 2,31 | 3,32 | 1,17 |
| (N050-N055) | 11 | 2,83 | 5,96 | 2,10 |
| (N055-N060) | 9 | 2,31 | 5,28 | 1,86 |
| (N060-N065) | 10 | 2,57 | 11,83 | 4,17 |
| (N065-N070) | 16 | 4,11 | 15,74 | 5,55 |
| (N070-N075) | 12 | 3,08 | 4,56 | 1,61 |
| (N075-N080) | 6 | 1,54 | 6,41 | 2,26 |
| (N080-N085) | 9 | 2,31 | 4,30 | 1,52 |
| (N085-N090) | 7 | 1,80 | 3,53 | 1,24 |
| (N090-N095) | 15 | 3,86 | 4,79 | 1,69 |
| (N095-N100) | 11 | 2,83 | 4,26 | 1,50 |
| (N100-N105) | 11 | 2,83 | 5,05 | 1,78 |
| (N105-N110) | 10 | 2,57 | 2,88 | 1,02 |
| (N110-N115) | 16 | 4,11 | 5,97 | 2,11 |
| (N115-N120) | 7 | 1,80 | 1,54 | 0,54 |
| (N120-N125) | 10 | 2,57 | 3,89 | 1,37 |
| (N125-N130) | 9 | 2,31 | 3,60 | 1,27 |
| (N130-N135) | 8 | 2,06 | 5,92 | 2,09 |
| (N135-N140) | 6 | 1,54 | 3,76 | 1,32 |
| (N140-N145) | 8 | 2,06 | 2,23 | 0,79 |
| (N145-N150) | 10 | 2,57 | 3,57 | 1,26 |
| (N150-N155) | 13 | 3,34 | 6,09 | 2,15 |
| (N155-N160) | 6 | 1,54 | 2,80 | 0,99 |
| (N160-N165) | 9 | 2,31 | 4,25 | 1,50 |
| (N165-N170) | 4 | 1,03 | 2,06 | 0,72 |
| (N170-N175) | 15 | 3,86 | 12,68 | 4,47 |
| (N175-N180) | 14 | 3,60 | 11,55 | 4,07 |
| Total | 389 | 100% | 283,64 | 100% |

Tableau. 3. 13: Récapitulatif des mesures statistiques de directions et de longueurs des linéaments de Djebel Aïssa avec un pas de 5°.

B-Avec un pas de 10°**1. Djebel Mekther**

Avec un pas de 10°, 18 classes ont été déterminées pour un ensemble de 833 linéaments géologiques (fractures) issus des cartes photogéologiques (671) et des images satellites GEP (162), (Tableau 3. 14) :

| Classes | N | N% | L (Km) | L% |
|-------------|-----|-------|--------|-------|
| (N000-N010) | 96 | 11,52 | 137,24 | 16,50 |
| (N010-N020) | 49 | 5,88 | 58,97 | 7,09 |
| (N020-N030) | 46 | 5,52 | 56,96 | 6,85 |
| (N030-N040) | 34 | 4,08 | 23,19 | 2,79 |
| (N040-N050) | 55 | 6,60 | 30,45 | 3,66 |
| (N050-N060) | 34 | 4,08 | 14,50 | 1,74 |
| (N060-N070) | 37 | 4,44 | 31,57 | 3,80 |
| (N070-N080) | 29 | 3,48 | 21,88 | 2,63 |
| (N080-N090) | 32 | 3,84 | 19,83 | 2,38 |
| (N090-N100) | 23 | 2,76 | 28,58 | 3,44 |
| (N100-N110) | 57 | 6,84 | 57,02 | 6,86 |
| (N110-N120) | 66 | 7,92 | 50,34 | 6,05 |
| (N120-N130) | 46 | 5,52 | 27,89 | 3,35 |
| (N130-N140) | 39 | 4,68 | 32,94 | 3,96 |
| (N140-N150) | 29 | 3,48 | 17,60 | 2,12 |
| (N150-N160) | 49 | 5,88 | 52,28 | 6,29 |
| (N160-N170) | 40 | 4,80 | 60,93 | 7,33 |
| (N170-N180) | 72 | 8,64 | 109,56 | 13,17 |
| Total | 833 | 100% | 831,73 | 100% |

Tableau. 3. 14: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 10°.

1.1. Analyse quantitative (N) des linéaments

- Rosace de distribution directionnelle des linéaments (Fig. 3. 29)

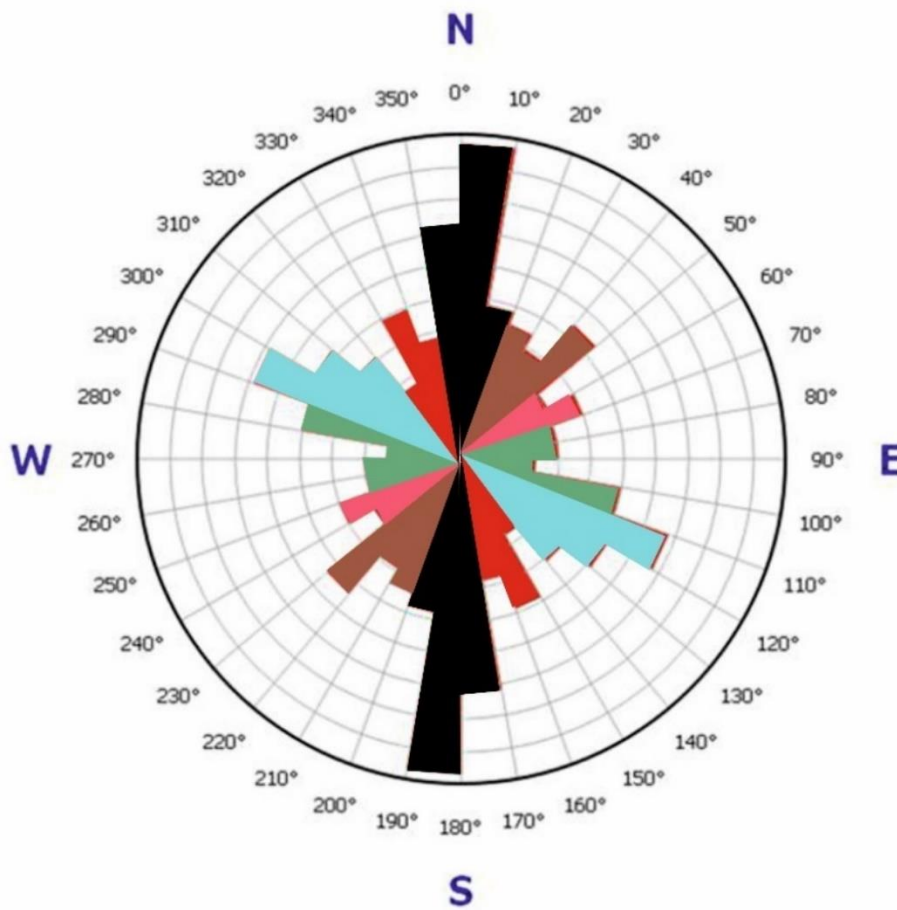


Fig. 3. 29: Rosace de distribution directionnelle de linéaments dans la structure de Djebel Mekther, avec un pas de 10°

1.2. Analyse qualitative des linéaments (L) (Fig. 3. 30)

- Histogramme quantitatif des linéaments

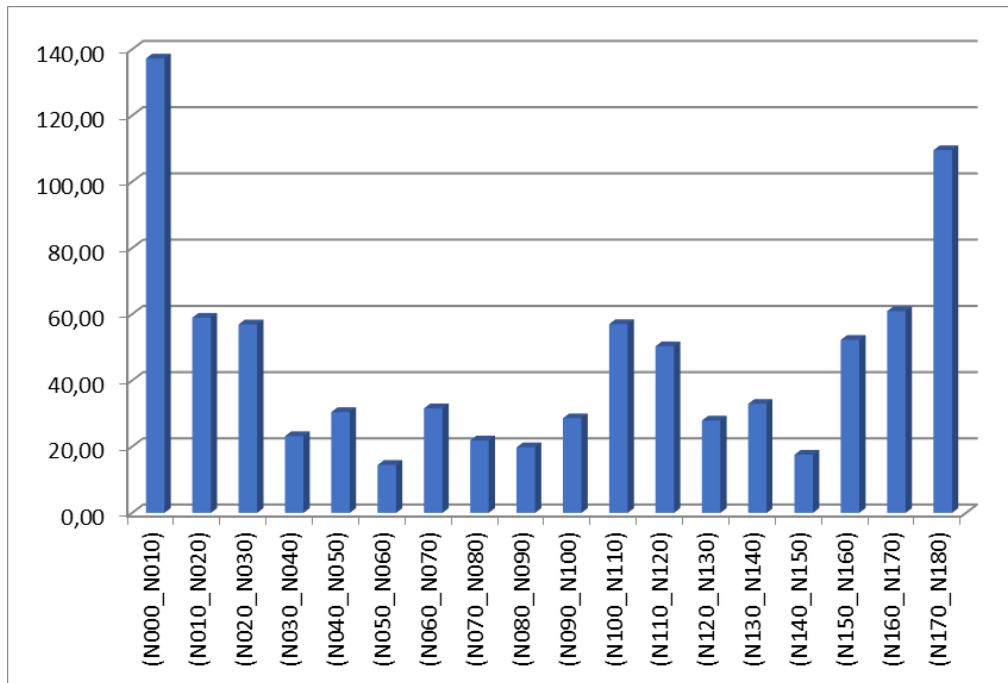


Fig. 3. 30: Histogramme qualitatif des linéaments (L) de Djebel Mekther avec un pas de 10°

L’histogramme qualitatif des longueurs (L) de Dj. Mekther pour un pas de 10° montre 3 familles qui possèdent les plus grandes longueurs. Ces dernières évoluent dans le même sens en un taux presque égale en nombre / classe (N) (rosace quantitative) pour les classes de ces mêmes familles.

La première famille représentée par trois classes : N000°-N010° (16,50%) ; N010°-N020° (7,09%) ; N020°-N030°(6,85%)

La deuxième famille représente par les classes suivantes : N100°-N110° (6,86%) ;
Et N110°-N120° (6,65%)

La troisième famille représente par trois classes : N150°-N160° (6,29%) ; N170°-N175° (7,92%) ; N175°-N180° (5,25%)

2. Djebel Aïssa

Avec un pas de 10°, 18 classes ont été déterminées pour un ensemble de 389 linéaments géologiques (fractures) issus des cartes photogéologiques (285) et des images satellites GEP (109), (Tableau 3. 15) :

| C | N | N% | L (km) | L% |
|-------------|-----|------|--------|-------|
| (N000-N010) | 25 | 6,43 | 30,10 | 10,61 |
| (N010-N020) | 20 | 5,14 | 10,88 | 3,84 |
| (N020-N030) | 30 | 7,71 | 34,12 | 12,03 |
| (N030-N040) | 32 | 8,23 | 25,46 | 8,98 |
| (N040-N050) | 20 | 5,14 | 37,91 | 13,36 |
| (N050-N060) | 20 | 5,14 | 11,24 | 3,96 |
| (N060-N070) | 26 | 6,68 | 27,57 | 9,72 |
| (N070-N080) | 18 | 4,63 | 10,97 | 3,87 |
| (N080-N090) | 16 | 4,11 | 7,83 | 2,76 |
| (N090-N100) | 26 | 6,68 | 9,05 | 3,19 |
| (N100-N110) | 21 | 5,40 | 7,93 | 2,80 |
| (N110-N120) | 23 | 5,91 | 7,51 | 2,65 |
| (N120-N130) | 19 | 4,88 | 7,49 | 2,64 |
| (N130-N140) | 14 | 3,60 | 9,68 | 3,41 |
| (N140-N150) | 18 | 4,63 | 5,80 | 2,04 |
| (N150-N160) | 19 | 4,88 | 8,89 | 3,13 |
| (N160-N170) | 13 | 3,34 | 6,30 | 2,22 |
| (N170-N180) | 29 | 7,46 | 24,22 | 8,54 |
| Total | 389 | 100% | 283,64 | 100% |

Tableau. 3. 15: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et des longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Aïssa avec un pas de 10°.

2.1. Analyse quantitative (N) des linéaments

- Rosace de distribution directionnelle des linéaments (Fig. 3. 31)

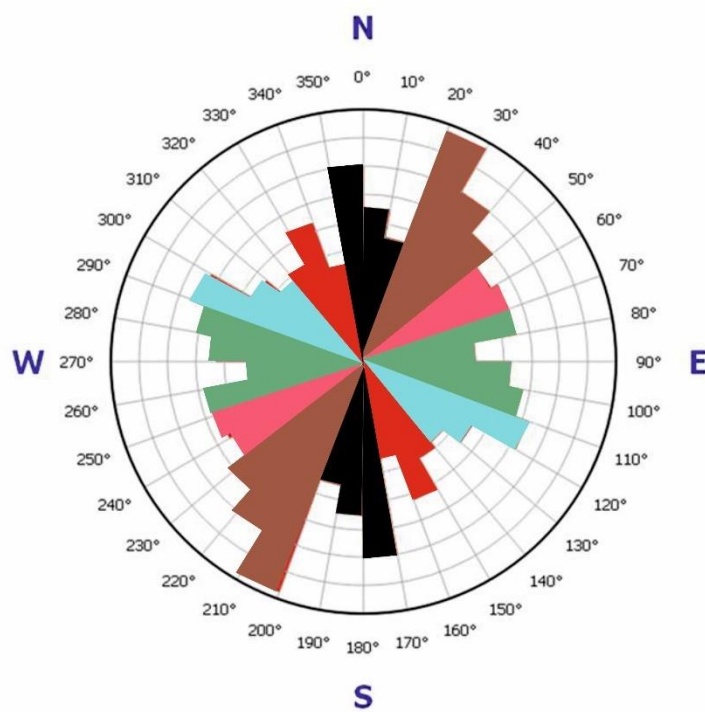


Fig. 3. 31: Rosace de distribution directionnelle de linéaments dans la structure de Djebel Aïssa, avec un pas de 10°

1.2. Analyse qualitative des linéaments (L) (Fig. 3. 32)

- Histogramme quantitatif des linéaments

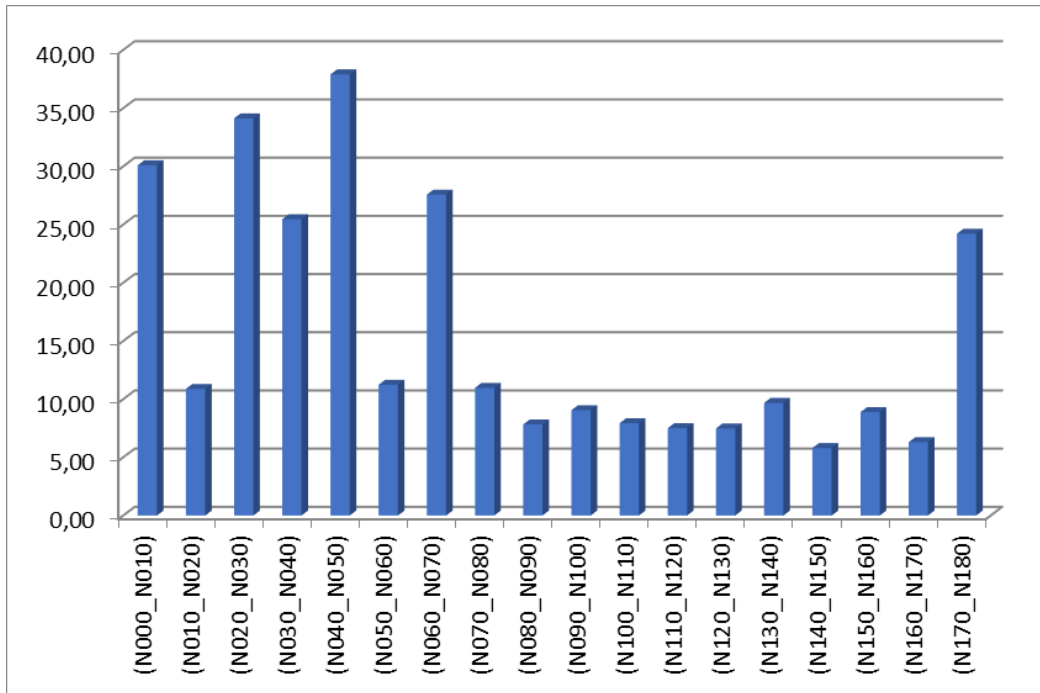


Fig. 3. 32: Histogramme qualitative des linéaments (L) de Djebel Aïssa avec un pas de 10°

L’histogramme qualitatif des longueurs (L) de Dj. Aïssa pour un pas de 10° montre 3 familles qui possèdent les plus grandes longueurs. Ces dernières évoluent dans le même sens en un taux presque égale en nombre / classe (N) (rosace quantitative) pour les classes de ces mêmes familles.

La première famille représentée par la classe : N000°-N010° (10,61%)

La deuxième famille représente par deux classes suivantes : N020-N030 (12,03%) ; N030-N040 (8,98%) ; N040-N050 (13,36%)

La troisième famille représente par la classe : N060-N070 (9,72%)

La quatrième famille représente par la classe N170-N180 (8,54%)

C-Avec un pas de 20°

1. Djebel Mekther

Avec un pas de 20°, 9 classes ont été déterminées pour un ensemble de 833 linéaments géologiques (fractures) issus des cartes photogéologiques (671) et des images satellites GEP (162), (Tableau 3. 16) :

| C | N | N% | L (km) | L% |
|--------------|-----|-------|--------|-------|
| A(N000-N020) | 145 | 17,41 | 196,20 | 23,58 |
| B(N020-N040) | 80 | 9,60 | 80,16 | 9,63 |
| C(N040-N060) | 89 | 10,68 | 44,96 | 5,40 |
| D(N060-N080) | 66 | 7,92 | 53,45 | 6,42 |
| E(N080-N100) | 55 | 6,60 | 48,41 | 5,82 |
| F(N100-N120) | 123 | 14,77 | 107,36 | 12,90 |
| G(N120-N140) | 85 | 10,20 | 60,82 | 7,31 |
| H(N140-N160) | 78 | 9,36 | 69,87 | 8,40 |
| I(N160-N180) | 112 | 13,45 | 170,49 | 20,49 |
| Total | 833 | 100 | 832,03 | 100 |

Tableau. 3. 16: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 20°.

1.1.Analyse quantitative (N) des linéaments

- Rosace de distribution directionnelle des linéaments (fractures) (Fig. 3. 33)

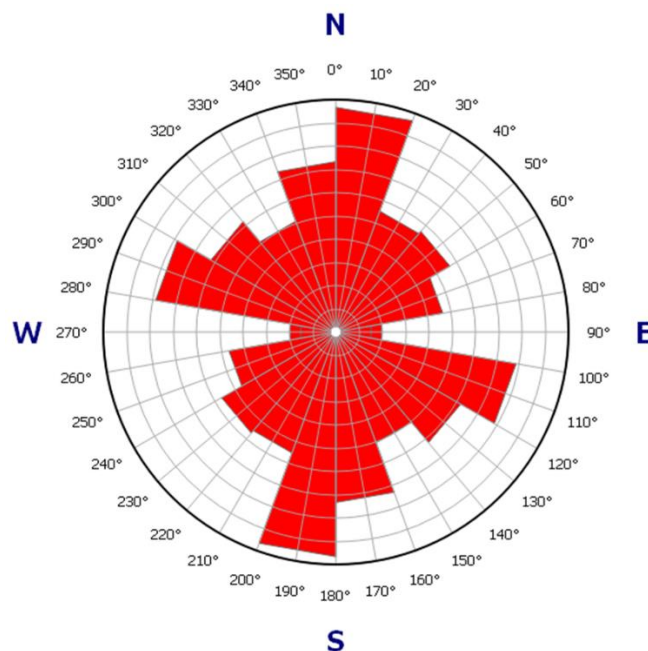


Fig. 3. 33: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 20°.

1.2. Analyse qualitative (L) des linéaments

- Histogramme quantitatif des linéaments (Fig. 3. 34)

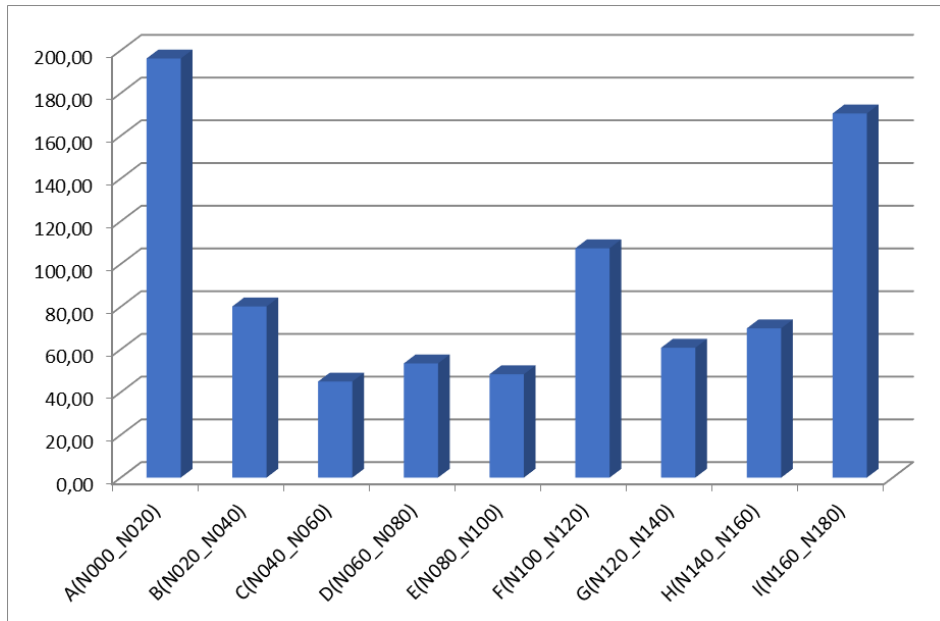


Fig. 3. 34: Histogramme quantitatif des linéaments de Djebel Mekther avec un pas de 20°.

L'histogramme qualitatif des longueurs (L) de Dj. Mekther pour un pas de 20° montre 5 familles qui possèdent les plus grandes longueurs. Ces dernières évoluent dans le même sens en un taux presque égale en nombre / classe (N) (rosace quantitative) pour les classes de ces mêmes familles.

La première famille représente par N000°-N020° (23,58%)

La deuxième famille représente par la classe suivante : N020°-N040° (9,63%)

La troisième famille représente par la classe N040-N060 (12,90%)

La quatrième famille représente par N060°-N080° (8,40%)

La cinquième famille représente par N160-N180 (20,49%)

2. Djebel Aïssa

Avec un pas de 10°, 18 classes ont été déterminées pour un ensemble de 389 linéaments géologiques (fractures) issus des cartes photogéologiques (285) et des images satellites GEP (109), (Tableau 3. 17) :

| Classes | N | N% | L (km) | N% |
|-----------------|-----|-------|--------|-------|
| A : (N000-N020) | 45 | 11,57 | 41 | 14,42 |
| B : (N020-N040) | 62 | 15,94 | 60 | 21,10 |
| C : (N040-N060) | 40 | 10,28 | 49 | 17,30 |
| D : (N060-N080) | 44 | 11,31 | 39 | 13,57 |
| E : (N080-N100) | 42 | 10,80 | 17 | 5,94 |
| F : (N100-N120) | 44 | 11,31 | 15 | 5,44 |
| G : (N120-N140) | 33 | 8,48 | 17 | 6,04 |
| H : (N140-N160) | 37 | 9,51 | 15 | 5,17 |
| I : (N160-N180) | 42 | 10,80 | 31 | 10,75 |
| Total | 389 | 100% | 284 | 100% |

Tableau. 3. 17: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Aïssa avec un pas de 20°.

2.1. Analyse quantitative (N) des linéaments

- Rosace de distribution directionnelle des linéaments (fractures) (Fig. 3. 35)

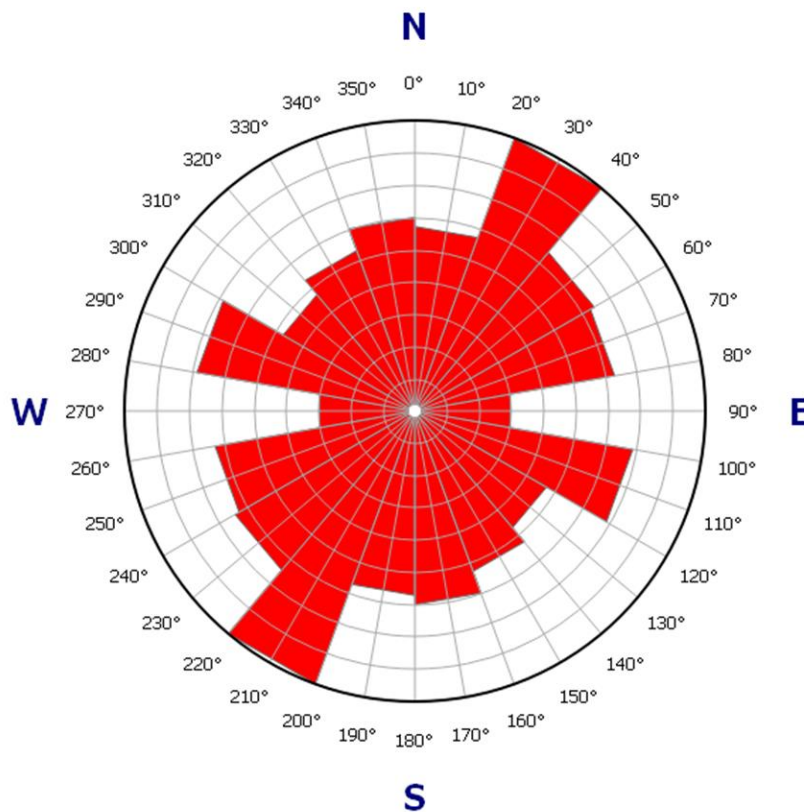


Fig. 3. 35: Rosace de distribution directionnelle de linéaments dans la structure de Djebel Aïssa avec un pas de 20°.

2.2. Analyse qualitative (L) des linéaments

- Histogramme quantitatif des linéaments (Fig. 3. 36)

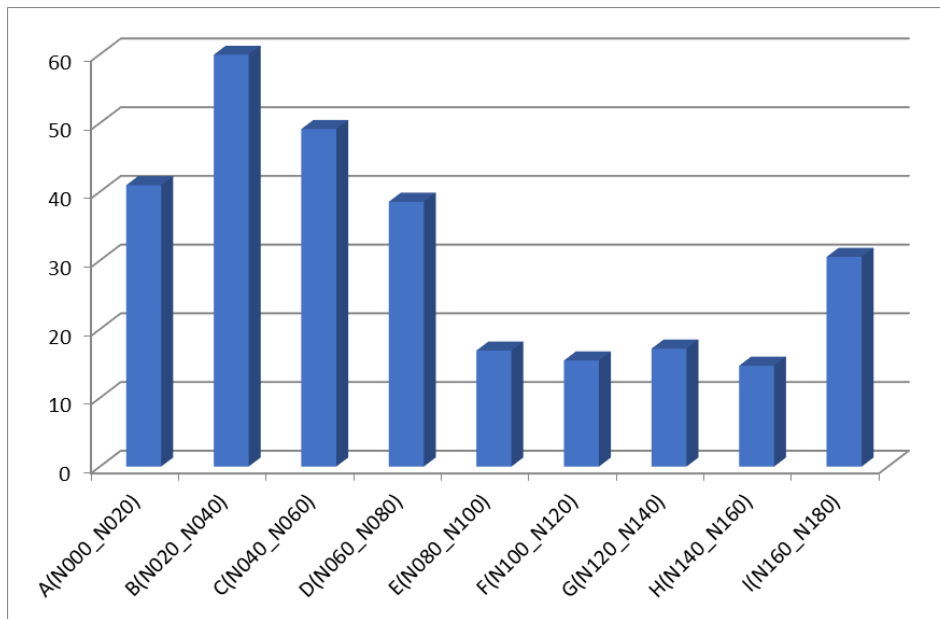


Fig. 3. 36: Histogramme qualitative des linéaments (L) de Djebel Aïssa avec un pas de 20°

L'histogramme qualitatif des longueurs (L) de Dj. Aïssa pour un pas de 20° montre 5 familles qui possèdent les plus grandes longueurs. Ces dernières évoluent dans le même sens en un taux presque égale en nombre / classe (N) (rosace quantitative) pour les classes de ces mêmes familles.

La première famille représente par N000°-N020° (14,42)

La deuxième famille représente par la classe suivante : N020°-N040° (21,10)

La troisième famille représente par la classe N040-N060 (17,30)

La quatrième famille représente par N060°-N080° (13,57)

La cinquième famille représente par N160-N180 (10,75)

Conclusion de l'étude géostatistique des linéaments

La structure de Djebel Mekther comme celle de Djebel Aïssa sont caractérisées par la fréquence et l'intensité des diaclases comme d'ailleurs dans tout l'Atlas Saharien occidental.

Pour la présentation des données, les mesures ont été classées par structure (Djebel Mekther et Djebel Aïssa) et par support de cartographie (carte photogéologique ou Image GEP). 833 linéaments ont été définis en totalité pour Djebel Mekther (Tab. 3. 8), dont 671 issus de la carte photogéologique (Tab. 3. 4) et 162 issus de l'image GEP (Tab. 3. 5). Pour ce qui est de Djebel Aïssa, 389 linéaments ont été déterminé en totalité (Tab. 3. 13), dont 285 issus de la carte photogéologique (Tab. 3. 9) et 104 issus de l'image GEP (Tab. 3. 10).

Pour une analyse convenable des linéaments géologiques (fracturation) les classifications adoptées sont basées sur des classes de directions moyennes déterminées selon des valeurs d'un pas de 5°, de 10° et de 20°. On aurait donc respectivement des familles de classes à analyser pour chacune des structures.

Pour notre interprétation plus ou moins admissible le pas de 10° a été choisi pour les deux structures. Pour Djebel Mekther 18 classes ont été déterminées pour un total de 833 linéaments (Tab. 3. 14). Concernant Djebel Aïssa et pour un total de 389 linéaments, 18 classes ont été définis (Tab. 3. 15).

Interprétation

- **Pour Djebel Mekther :**

Pour un pas de 10°

Selon les données du tableau 3. 13 et la figure 3. 29 (rosace), huit (08) familles de fractures ont été distinguées ; la classe la plus importante de direction moyenne N005° comprise entre N000° et N010° est la plus importante (11.52%). Elle est suivie par la classe de direction moyenne N175° comprise entre N170° et N180° est qui représente 8.64%. Ensuite vient la classe N110-N120 (7,92%). La 4^{ème} famille qui vient après est représentée par les classes N100-N110 (6,84%) et N040-N050 (6,60%). La 5^{ème} famille qui vient ensuite est constituée de 4 classes ; N010-N020° (5,88%), N150-N160 (5,88%), N120-N130 (5,52%) et N020-N030 (5,52%). La 6^{ème} famille qui suit est représentée par 5 classes ayant un taux compris entre 4% et 5%, qui sont N160-N170, N130-N140, N060-N070, N030-N040 et N050-N060. La 7^{ème} famille qui suit est représentée par 3 classes ayant un taux d'environ 3,5%, qui sont N080-N090 et N140-N150. Enfin la 8^{ème} et dernière famille est représentée par la classe N090-N100, pour un taux de 2,76%.

Pour un pas de 20 :

Selon les données du tableau 3. 15 et de la figure 3. 33 (rosace), cinq familles importantes de linéaments (fractures) ont été distinguées ; la classe **A** de direction moyenne N010° comprise entre N000 et N020 (17,41%) est la plus importante. Elle est suivie par la classe **F** de direction moyenne N110 comprise entre N100° et N120° est qui représente 14,77%. La classe **I** (N160-N180) vient juste après avec un taux de 13,45%. Ensuite viennent la classe **C** (N040-N060) avec un taux de 10,68% et la classe **G** (N120-N140) avec un pourcentage 10,20%. Les classes **B** (N020-N040) et **H** (N140-N160) présentent un pourcentage d'environ 9,50%. Enfin les classes **D** (N060-N080) et **E** (N080-N100) viennent en dernier avec un pourcentage compris entre 6% et 8%.

Pour Djebel Aïssa :

- **Pour un pas de 10°**

Selon les données du tableau 3. 14 et la figure 3. 31 (rosace), six (06) familles de fractures ont été distinguées ; la classe la plus importante de direction moyenne N035° comprise entre N030° et N040° est la plus importante (8,23%). Elle est suivie par les classes : N20°-N30° (7,71%) et N170°-N180° (7,46%). Ensuite vient la 3^{ème} famille constituée de 3 classes : N060°-N070° (6,68%) ; N90°-N100° (6,68%) et N000°-N010° (6,43%). La 4^{ème} famille qui vient après est représentée par les classes N110°-N120° (5,91%) ; N100°-N110° (5,40%) ; N050°-N060° (5,14%) ; N040°-N050° (5,14%) ; et N010°-N020° (5,14%). La 5^{ème} famille qui suit est représentée par 4 classes ayant un taux de 4% qui sont N120°-N130° (4,88%), N150°-N160° (4,88%) ; N140°-N150° (4,63%) ; N070°-N080° (4,63%) et N080°-N090° (4,14%). Enfin la 6^{ème} et dernière famille est représentée par les classes N130°-N140° (3,60) et N160°-N170° pour un taux de 3,34%.

- **Pour un pas de 20°**

Selon les données du tableau 3. 16 et de la figure 3. 35 (rosace), cinq familles importantes de linéaments (fractures) ont été distinguées ; la classe **B** de direction moyenne N030° comprise entre N020° et N040° (15,49%) est la plus importante. Elle est suivie par la classe **A** de direction moyenne N010° comprise entre N000° et N020° qui représente 11,57% et La classe **F** (N100°-N120°) avec un taux de 11,31% Et la classe **D** (N100°-N120°) de pourcentage de 11,31%. Ensuite viennent la classe **I** (N160°-N180°) avec un taux de 10,80% et la classe **E** (N080°-N100°) avec un pourcentage 10,80% ; la classe **C** (N040°-N060°) vient juste après avec un taux de (10,28). Les classes **H** (N140°-N160°) présentent un pourcentage 9,51 %. Enfin la classes **G** (N120°-N140°) vienne en dernier avec un pourcentage 8,48%.

4.3 Aperçu sur les deux plis anticlinaux (Djebel Aïssa et Djebel Mekther)

En analysant, la carte photogéologique d'Aïn Séfra et celle de Mékalis (Sud de la carte) (les courbes de niveau et la structure), l'image Satellite GEP (le sens et la valeur des pendages et la direction des couches de chaque flanc) et la carte lithostructurale de synthèse,

L'axe du pli est occupé par une faille inverse axiale (longitudinale) (membre supérieur de la formation d'Aïssa du flanc SE est en contact anormal avec le membre inférieur de la formation d'Aïssa du flanc NW). De loin on observe seulement Flanc NW. (Fig. 3. 37)

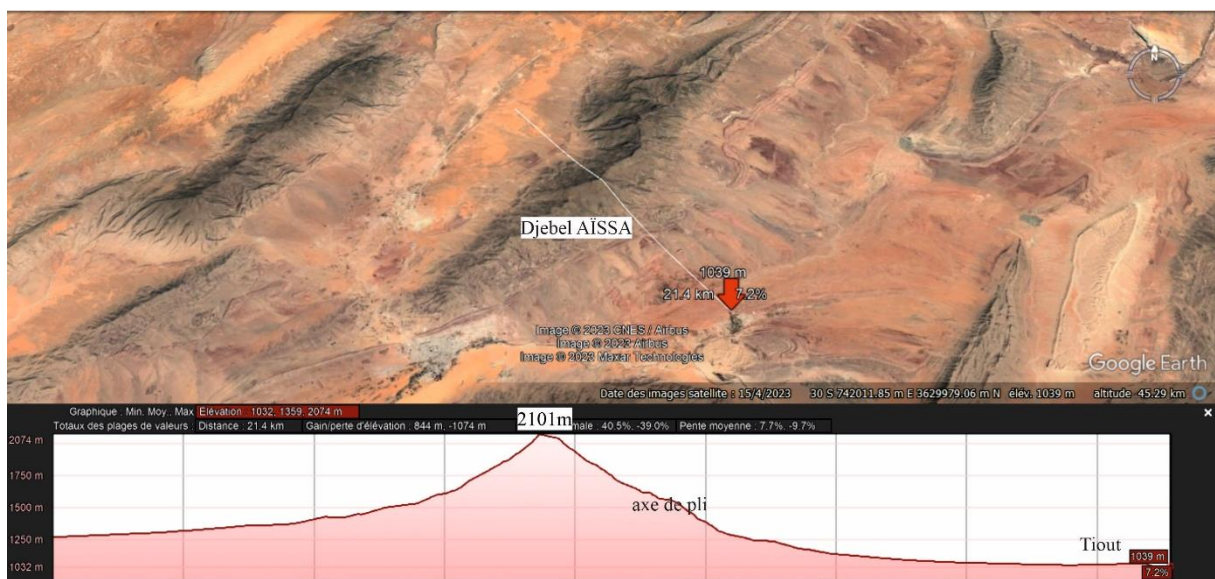


Fig. 3. 37: Profil de charnière relief « Djebel Aïssa »

Djebel Aïssa se présente comme un pli déjeté vers le SE et à axe plongeant vers le SW par contre Djebel Mekther présente l'aspect d'un grand pli coffré possédant deux axes de plis ; un au NW et l'autre au SE voir carte de synthèse lithostructurale (Fig. 3. 25). Les pendages du flanc NW sont faibles à très faibles (25° à 15°), au niveau de la charnière, ils sont subhorizontaux à horizontaux. Par contre les couches du flanc SE présentent des pendages forts (supérieurs à 45°) (Fig. 3. 38).

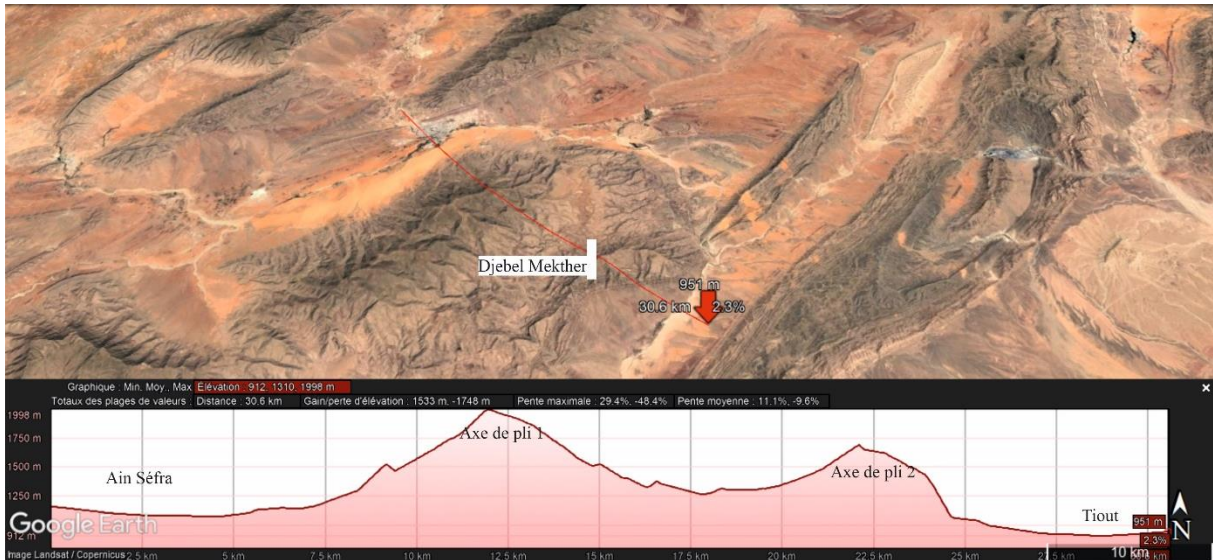


Fig. 3. 38: Profil de charnière relief « Djebel Djebel »

4.4 Relation plissement linéaments géologiques :

Classiquement, les relations géométriques entre les plis et les réseaux de fractures rencontrés sur les exemples de terrain sont décrites par la caractérisation de l'angle existant entre l'azimut de ces fractures et celui de l'axe des plis. La figure 3.39 ; montre une image simplifiée de ces relations et du vocabulaire utilisé.

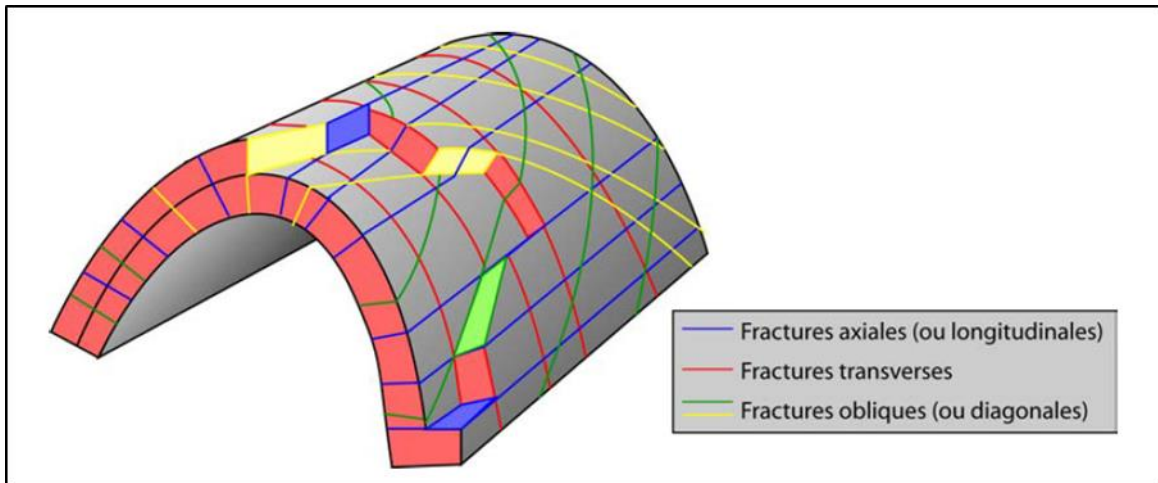


Fig. 3. 39: Illustration schématique de la terminologie utilisée pour décrire les relations directionnelles entre fractures et plis (Ramsay & Hubert, 1987).

Dans la figure 3. 37, les fractures axiales (ou longitudinales) sont parallèles à l'axe du pli, les fractures transverses sont orthogonales à cet axe et les fractures obliques (ou diagonales) font un angle fort avec cet axe.

La distribution de l'analyse de la fracturation des deux structures étudiées ; Djebel Mekther et Djebel Aïssa, a montré une répartition directionnelle des linéaments (ou fractures) avec des taux variables en fonction de l'architecture du plissement (fractures longitudinales, fractures transversales et fractures diagonales (ou obliques) par rapport à l'axe du pli) (Fig. 3. 37).

La distribution de la fracturation dans les deux plis anticlinaux (Mekther et Aïssa) pour un pas de 10° dans l'ensemble des 18 classes est organisée selon les schémas suivants (tableaux : 3. 18 et 3. 19) :

• Pour Djebel Mekther

| Classe | N | N% | % | Types |
|-------------|-----|-------|--------------|-----------|
| (N000-N010) | 96 | 11,52 | 17,40 | N |
| (N010-N020) | 49 | 5,88 | | |
| (N020-N030) | 46 | 5,52 | 16,20 | L |
| (N030-N040) | 34 | 4,08 | | |
| (N040-N050) | 55 | 6,60 | | |
| (N050-N060) | 34 | 4,08 | 8,52 | P |
| (N060-N070) | 37 | 4,44 | | |
| (N070-N080) | 29 | 3,48 | 16,56 | DD |
| (N080-N090) | 32 | 3,84 | | |
| (N090-N100) | 23 | 2,76 | | |
| (N100-N110) | 57 | 6,84 | | |
| (N110-N120) | 66 | 7,92 | 18,12 | T |
| (N120-N130) | 46 | 5,52 | | |
| (N130-N140) | 39 | 4,68 | | |
| (N140-N150) | 29 | 3,48 | 14,16 | DG |
| (N150-N160) | 49 | 5,88 | | |
| (N160-N170) | 40 | 4,80 | | |
| (N170-N180) | 72 | 8,64 | 8,64 | N |
| Total | 833 | 100% | 100% | |

Tableau. 3. 18: Les différents types de linéaments géologiques (fractures) de Djebel Mekther

L : Fractures axiales ou longitudinales

T : Fractures transverses

DD : Fractures obliques ou diagonales droites

DG : Fractures obliques ou diagonales gauches

N : Fractures subméridiennes

P : Fractures auxiliaires ou secondaires

- Pour Djebel Aïssa

| Classe | N | N% | % | Types |
|-------------|-----|------|--------------|-----------|
| (N000-N010) | 25 | 6,43 | 11,57 | N |
| (N010-N020) | 20 | 5,14 | | |
| (N020-N030) | 30 | 7,71 | 21,08 | L |
| (N030-N040) | 32 | 8,23 | | |
| (N040-N050) | 20 | 5,14 | | |
| (N050-N060) | 20 | 5,14 | 11,82 | P |
| (N060-N070) | 26 | 6,68 | | |
| (N070-N080) | 18 | 4,63 | 20,82 | DD |
| (N080-N090) | 16 | 4,11 | | |
| (N090-N100) | 26 | 6,68 | | |
| (N100-N110) | 21 | 5,40 | | |
| (N110-N120) | 23 | 5,91 | 14,39 | T |
| (N120-N130) | 19 | 4,88 | | |
| (N130-N140) | 14 | 3,60 | | |
| (N140-N150) | 18 | 4,63 | 12,85 | DG |
| (N150-N160) | 19 | 4,88 | | |
| (N160-N170) | 13 | 3,34 | | |
| (N170-N180) | 29 | 7,46 | 7,46 | N |
| Total | 389 | 100% | 100% | |

Tableau. 3. 19: Les différents types de linéaments géologiques (fractures) de Djebel Aïssa

L : Fractures axiales ou longitudinales

T : Fractures transverses

DD : Fractures obliques ou diagonales droites

DG : Fractures obliques ou diagonales gauches

N : Fractures subméridiennes

P : Fractures auxiliaires ou secondaires



Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail concerne l'étude de deux grandes structures ; celle de Djebel Aïssa et celle de Djebel Mekther, toutes les deux situées dans la région d'Aïn Séfra (Monts des Ksour ou ASO). L'étude a pour objectifs la cartographie lithologique et linéamentaire des deux structures, à base de cartes photogéologiques (à base de photo aérienne interprétées) et d'images satellitales (Images Google Earth Pro) afin d'aboutir à une carte lithostructurale par le biais d'un SIG. Comme la cartographie est une composante majeure des SIG, ces Systèmes d'Informations Géographiques correspondent à un ensemble de systèmes liés au traitement de l'information géographique (données spatialisées). Ils possèdent des logiciels propres capables de stocker, traiter, représenter et analyser de la donnée géographique, comme le logiciel « ArcGIS » que nous avons utilisé. Les données en SIG se structurent toujours sous formes de couches. Chaque donnée est composée d'éléments qui forment une couche. C'est la superposition de ces couches qui nous a permis l'obtention d'une carte de synthèse « carte lithostructurale ». Il s'agit d'une carte issue d'une compilation de couches empilées les unes sur les autres.

En plus des données de la photogéologie et de l'image G.E.P qui constituent les principaux supports de cette étude, une importante recherche bibliographique a été effectuée pour bien comprendre le contexte géologique local et régional du secteur d'étude et à identifier les lithologies et à définir les différentes unités cartographiables et enfin à analyser et caractériser les différents éléments structuraux, dans le but de créer des bases de données sous forme de couches.

Le support numérique principal qui nous a permis la cartographie lithologique et linéamentaire est le logiciel ArcGIS, en plus du CorelDRAW. D'autres logiciels nous ont facilité l'étude géostatistique des linéaments ; Géo Rose et Stereo32 064.

- La méthode adoptée pour la cartographie lithologique (géologique) s'est effectuée en quatre étapes :

- La première : définition de différentes unités cartographiables.
- La deuxième : Géoréférencement des cartes photogéologiques supports (Aïn Séfra, Mékalis) Galmier, 1970.
- La troisième : digitalisation (vectorisation) des limites des formations à cartographier.
- La quatrième : donner la légende, la toponymie, et les âges aux différentes unités cartographiables.

- La méthode adoptée pour la cartographie des linéaments s'est effectuée en quatre étapes successives :
 - Analyse des cartes photogéologiques (cartes : Aïn Séfra et Mékalis à l'échelle 1/100.000) et des images satellitaires.
 - Vectorisation des linéaments issus dans la carte photogéologique et l'extraction des fractures à partir de Google Earth pro qui ne nous figurent pas sur la carte photogéologique.
 - Identification et représentation des différents éléments de fractures : les failles, les décrochements, les diaclases, les plis, etc.
 - Étude géostatistique des linéaments géologiques (fracturation).
- En ce qui concerne la cartographie lithostructurale, qui est une carte de synthèse, elle a été élaborée à partir d'une synergie de la carte lithologique (géologique) et de la carte linéamentaire à base d'un SIG.

Les résultats de la cartographie lithologique, des linéaments, des différents éléments structuraux (failles, décrochements, pendages et axes de plis), de la toponymie et de la carte de synthèse « Carte lithostructurale », obtenus par le biais de l'ArcGIS à partir des deux supports (photogéologie et images GEP), sont eux-mêmes traités et stockés dans un SIG.

L'intégration de ces résultats (analyses lithologiques et structurales) dans le SIG nous a permis aussi la réalisation de nombreuses analyses thématiques relatives aux interrelations spatiotemporelles des formations et des structures de la zone d'étude.

Enfin une analyse géostatistique a été effectuée avec un autre logiciel « GeoRose », avec des données déjà traitées et stockées dans le SIG (logiciel ArcGIS).

La cartographie lithologique et linéamentaire des deux structures étudiées nous a permis de bien comprendre la géologie de la région de Aïn Séfra et d'apporter de nouvelles données structurales.

Djebel Mekther et Djebel Aïssa sont des structures géologiques constituées de formations d'âge Jurassique supérieur-Crétacé inférieur. Les formations constituant ces deux chaînes de montagnes englobent une lithologie légèrement variée, presque constante ; des grès et des argiles et très peu de carbonates (dolomie).

Le cœur de ces anticlinaux qui constitue l'intrados du pli. Ce dernier est constitué de roches compétentes, rigides qui ont tendance à se fracturer facilement. L'extrados du pli est constitué, de grès et d'argiles. Les grès sont de loin les plus importants. Notons l'importance des épaisseurs des grès massifs des trois formations détritiques continentales qui constituent ces chaînes, celles d'Aïssa, de Tiloula et de Tiout.

En analysant, la carte photogéologique d'Aïn Séfra et celle de Mékalis (Sud de la carte) (les courbes de niveau et la structure), l'image Satellite GEP (le sens et la valeur des pendages et la direction des couches de chaque flanc) et la carte lithostructurale de synthèse, Djebel Aïssa se présente comme un pli déjeté vers le SE et à axe plongeant vers le SW. Par contre Djebel Mekther présente l'aspect d'un grand pli coffré possédant deux axes de plis ; un au NW et l'autre au SE voire carte de synthèse lithostructurale (Fig. 3. 25). Les pendages du flanc NW sont faibles à très faibles (25° à 15°), au niveau de la charnière, ils sont subhorizontaux à horizontaux. Par contre les couches du flanc SE présentent des pendages forts (supérieurs à 45°).

L'étude géostatistique de la distribution directionnelle des linéaments a montré des taux de linéament (N%) qui varient en fonction des classes selon le pas choisis (10° ou 20°). Pour un pas de 20° , à Djebel Mekther, le taux le plus élevé (max.) 17,41% pour la classe N000-N020, le taux le plus bas (min.) 6,60% pour la classe N080-N100. A Djebel Aïssa, toujours avec un pas de 20° , le taux le plus élevé (max.) 15,94% pour la classe N020-N040, le taux le plus bas (min.) 8,48% pour la classe N120-N140.

L'analyse des linéaments en relation avec les deux plis anticlinaux a montré 6 familles de linéaments : la 1^{ère} famille (N) subméridienne représentée par les classes suivantes : (N000-N020) et (N170-N180). La 2^{ème} famille longitudinale ou axiale (L) est représentée par 3 classes : (N020-N030), (N030-N040) et (N040-N050). La 3^{ème} famille diagonale droite (DD) est représentée par 4 classes : avec un pas de 10° (de N070 à N110). La 4^{ème} famille transverse (T) est représentée par 3 classes : avec un pas de 10° (de N110 à N140). La 5^{ème} famille diagonale gauche (DG) est représentée par 3 classes : avec un pas de 10° (de N140 à N170). La 6^{ème} famille auxiliaire (P) est représentée par 2 classes : avec un pas de 10° (de N050 à N070).



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDELALI, A., & BENKERACHE, M., (2011) – Étude Lithostratigraphique et structurologique du secteur Nord Est de djebel Djara, Atlas Saharien Occidental. *Mém. Ing. Univ. Tlemcen*, 10 p.

AIT OUALI R. (1991) - Le rifting des Monts des Ksour au Lias : organisation du bassin, diagenèse des assises carbonatées. Place dans les ouvertures mésozoïques au Maghreb. *Thèse Doct. Sci., Alger*, 297 p., 147 fig., 16 tab., 6 pl.

BASSOULLET J.P. (1973) - Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse Sci. Nat., Paris VI*, 497 p., 50 fig., 32 pl.

BENDDINE A. & MEKKI F. (2014) - Etude de la série triasique et du passage Trias-Lias des monts des Ksour (exemple djebel Mélah) et comparaison avec Djenien Bourezg, Tiout et Ain Ouarka (Atlas Saharien Occidental, Algérie) *Mém. Ing., Tlemcen*, 66p.

CORNET A. (1947) – Observations géologiques dans l'Atlas saharien Sud-Oranais. *Bull. Soc. Hit. Nat. Afrique du Nord*, 38,1-9, pp.63-69, 8 fig.
de l'Oranaise et sur le Sahara. Thèse Science, Université de Lyon, 1002 p., 157 fig., 3 cartes géol. 16 pl.

DELFAUD J., DOUIHASNI M. & ROLET J. (1974) – Mise en évidence de tectoniques superposées dans la région d'Aïn Ouarka (Monts des Ksour, Algérie). *C.R.Acad. Sci. Paris*, sér. D, 278, pp. 1817-1820

des Hautes Plaines algériennes (Aïn Séfra, Mécheria, Nador, Hodna). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Paris, 171p.

DOUIHASNI M. (1976) - Etude géologique de la région d'Aïn Ouarka-Boussemghoun (partie centrale des Monts des Ksour). Analyse structurale. *Thèse 3^{ème} cyc., Univ. Oran*, 2 t., 272 p., 52 fig., 4 pl. (inédit.).

FLAMAND. G. B. M. (1911) : Recherches géologique et géographiques sur le Haut pays

GALMIER D. (1970) - Photogéologie de la région d'Ain Séfra (Algérie). *Thèse Doct. Etat Fac. Sci., Paris*, 320 p., 9 cartes h.t. ronéot.

GUIRAUD R (1973) – Sur la présence de décrochements dextres dans l'Atlas Saharien. Interprétation mégamétrique. *C. Som. S.G.F.*, 8, p. 316-318.

HAMMAD N. (2016) : Cartographie géologique et analyse linéamentaire de la région d'EL Kseïbat (Sahara du sud - ouest) a partir des images spatiales. Incidence sur l'exploration minière. *Thèse Doct.Sci.*, Ouargla, 85p.

<https://desktop.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/arcgis-tutorials.htm>

KACEMI A. (2005) - Cartographie et dynamique sédimentaire de la série fin Dogger début Crétacé (Djara - Rhoundjaïa) des Monts des Ksour (Atlas saharien, Algérie). *Mém. Mag. Univ. Oran*, 194 p., 47 fig., 15 pl.

KACEMI A. (2013) – Evolution lithostructurale des Monts des Ksour (Atlas Saharien, Algérie) au cours du Trias et du Jurassique : Géodynamique, Typologie du bassin et Télédétection Thèse Doct. Sci., Tlemcen, 229p. 88 fig., 5tab.18pl.

KAZI-TANI N. (1986) - Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse Doct. Sci., n°53, Univ. Pau et Pays de l'Adour*, 2 t., 871 p., 970 fig.

LAHRECHEZ. (2014) : Élaboration d'un SIG pour la cartographie lithologique et linéamentaire de la région de MEKALIS-TIRKOUNT. *Mém. Ing.Univ. Tlemcen*, p. 73.

LASNIER (1965) : Contribution à l'étude stratigraphique et paléontologique du Jurassique

MAKANI A. Sédimentologie et organisation de dépôts : Formation de Tiloula et passage a la Formation de Tiout fin Jurassique supérieur début Crétacé Inférieur région de Tiout (Atlas Saharien Occidental). *Mém. Ing. Univ. Tlemcen*, 79 p., 24 fig., 3 pl.

MEDDAH A. (1998) - Etude géologique des appareils diapiriques de l'Atlas saharien occidental (Monts des Ksour). Essai de synthèse sur les diapirs atlasiques. *Mém. Mag. USTHB, Alger*, 174 p., 52 fig. (inédit.).

MEDDAH A. (2010) – La province magmatique de l'atlantique central (CAMP). Dans le Bassin des Ksour (Atlas saharien occidental, Algérie). *Thèse Doct. Sci., Oran*, 144 p., 54 fig., 4 tab.

MEKAHLI L. (1998) - Evolution des Monts des Ksour (Algérie) de l'Hettangien au Bajocien. Biostratigraphie, sédimentologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. *Doc. Lab. Géol. Lyon, France*, n°147, 319 p., 67 fig., 49 pl.

MERCIER J., VERGELY P. (1999) - Tectonique 2^{ème} Edition, Dunod, Paris, 206 p., 161fig.

Méthodes modernes de géologie de terrain (LIVRE) 2b manuel d'analyse structurale, traitement des données. *Edition technip comité des techniciens. Publication de la chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel*, Paris-France (1976), 74 p., 77 fig.,

RAMSAY AND HUBER (1987) : The Techniques of Modern Structural Geology ; Vol. 2 : Folds and Fractures. *Academic Press Edition, London*, 700 p.

Listes des figures

Chapitre 01

Fig. 1. 1: Carte topographique d'Aïn Séfra au 1/200 000^{ème} 2

Fig. 1. 2: Carte photogéologique de la feuille d'Aïn Séfra au 1/100 000^{ème} (Galmier 1972) 3

Fig. 1. 3: Carte de situation géographique des Monts des Ksour..... 6

Fig. 1. 4: Carte d'affleurements des ensembles structuraux des Monts des Ksour Atlas Saharien, (Kacemi, 2005)..... 7

Fig. 1. 5: Coupe lithostratigraphique de la série du Bathonien au Turonien inf. de la «formation de Djara » à la « formation de Rhoundjaïa » des Monts des Ksour (Kacemi, 2005) 12

Chapitre 02

Fig. 2. 1: Morceau de carte issu d'une carte topographique de Aïn Séfra au 1 / 200 000^{ème} montrant Djebel Aïssa au Nord et Djebel Mekther au Sud, d'Aïn Séfra 19

Fig. 2. 2.: Carte géologique de la zone d'étude issue de la carte géologique au 1/500.000^{ème} (Cornet, 1952) montrant les deux anticlinaux d'âge Jurassique supérieur (en bleu) et les synclinaux d'âge Crétacé inférieur (en vert). 21

Fig. 2. 3 Coupe lithostratigraphique de la « Formation d'Aïssa » du secteur oriental des Monts des Ksour, (levée à Dj. Djeraouine), A. Kacemi, 2005..... 24

Fig. 2. 4: Coupe lithostratigraphique de la « Formation de Tiloula » levée à Dj. Aïssa (flanc SE) (Monts des Ksour), A. Kacemi, 2005..... 26

Fig. 2. 5: Coupe de la « Formation de Tiout » levée à Tiout (flanc SE du synclinal de Tiout) (Monts des Ksour), A. Kacemi, 2013..... 29

Chapitre 03

Fig. 3. 1: Organigramme de la méthode d'étude en fonction des objectifs..... 33

Fig. 3. 2: Image satellitaire du secteur d'étude, issues d'une composition colorée 321 (ENVI) 34

Fig. 3. 3: Image satellitaire de Djebel Aïssa, issue d'une composition colorée 457(Envi)..... 35

Fig. 3. 4: Image satellitaire de Djebel Mekther, issue d'une composition colorée 457(ENVI). 35

Fig. 3. 5: Carte photogéologique au 1/100 000^{ème} d'Aïn Séfra (Galmier, 1970)..... 36

Fig. 3. 6: Carte photogéologique au 1/100.000^{ème} de Mékalis (Galmier, 1970)..... 36

| | |
|--|----|
| Fig. 3. 7: Djebel Aïssa et Djebel Mekther sur GEP. | 37 |
| Fig. 3. 8: Environnement de travail de CorelDRAW (version 19). | 38 |
| Fig. 3. 9: Environnement de travail de l'ArcGIS. | 39 |
| Fig. 3. 10: Environnement de travail du PCC. | 39 |
| Fig. 3. 11 : Environnement de travail de Google Earth Pro (GEP). | 40 |
| Fig. 3. 12: Environnement de travail de GeoRose. | 41 |
| Fig. 3. 13: Création des fichiers KML ou KMZ. | 46 |
| Fig. 3. 14: Composantes principales d'un SIG. | 47 |
| Fig. 3. 15: Etapes détaillées de la création des bases de données sous ArcGIS. | 49 |
| Fig. 3. 16: Géoréférencement de la carte Photogéologique d'Aïn Séfra sur ArcGIS. | 50 |
| Fig. 3. 17: Etapes de création d'une couche « point » (Exemple : Pendages). | 51 |
| Fig. 3. 18: Etapes de création d'une couche « polyligne » (Exemple : Failles) | 52 |
| Fig. 3. 19: Etapes de création d'une couche polygone (Exemple : Jurassique) | 52 |
| Fig. 3. 20: Etapes d'attribution des données alphanumériques | 53 |
| Fig. 3. 21: Carte lithologique de la région d'étude. | 57 |
| Fig. 3. 22: Carte des linéaments de la région étudiée. | 59 |
| Fig. 3. 23: Carte structurale de la région étudiée. | 60 |
| Fig. 3. 24: Carte structurale de la région étudiée | 61 |
| Fig. 3. 25: Rosace de distribution directionnelle des linéaments encaissés dans la structure de Djebel Mekther, avec un pas de 5°. | 65 |
| Fig. 3. 26: Histogramme qualitatif des linéaments de Djebel Mekther avec pas de 05°. | 68 |
| Fig. 3. 27: Rosace de distribution directionnelle des linéaments encaissés dans la structure de Djebel Aïssa avec un pas de 05°. | 72 |
| Fig. 3. 28: Histogramme qualitatif des linéaments de Djebel Aïssa avec un pas de 05°. | 75 |
| Fig. 3. 29: Rosace de distribution directionnelle de linéaments dans la structure de Djebel Mekther, avec un pas de 10°. | 78 |
| Fig. 3. 30: Histogramme qualitatif des linéaments (L) de Djebel Mekther avec un pas de 10°. | 79 |
| Fig. 3. 31: Rosace de distribution directionnelle de linéaments dans la structure de Djebel Aïssa, avec un pas de 10°. | 81 |
| Fig. 3. 32: Histogramme qualitative des linéaments (L) de Djebel Aïssa avec un pas de 10°. | 82 |
| Fig. 3. 33: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 20°. | 83 |
| Fig. 3. 34: Histogramme qualitatif des linéaments de Djebel Mekther avec un pas de 20°. ... | 84 |

| | |
|--|----|
| Fig. 3. 35: Rosace de distribution directionnelle de linéaments dans la structure de Djebel Aïssa avec un pas de 20°..... | 85 |
| Fig. 3. 36: Histogramme qualitative des linéaments (L) de Djebel Aïssa avec un pas de 20°. | 86 |
| Fig. 3. 37: Profil de charnière relief « Djebel Aïssa »..... | 90 |
| Fig. 3. 38: Profil de charnière relief « Djebel Djebel »..... | 91 |
| Fig. 3. 39: Illustration schématique de la terminologie utilisée pour décrire les relations directionnelles entre fractures et plis (Ramsay & Hubert, 1987)..... | 91 |

Liste des Tableaux

Chapitre 01

Tableau 1: Essai de corrélation lithostratigraphique dans l’atlas saharien occidental (Début Dogger au Crétacé inférieur) de la formation « Teniet el Klakh » à la « Formation de Tiout » (A. Kacemi, 2013)..... 10

Chapitre 03

Tableau. 3. 1: Tableau des équivalences (Unité/Formation ou Membre), (Kacemi, 2005)..... 44

Tableau. 3. 2: Coordonnées Lambert / UTM des points repères de la carte d’Aïn Séfra. 49

Tableau. 3. 3: Coordonnées Lambert / UTM des points repère de la carte de Mékalis. 50

Tableau. 3. 4: Récapitulatif des mesures statistiques des directions des linéaments de Djebel Mekther avec pas de 05°, issues de la carte photogéologique. 63

Tableau. 3. 5: Récapitulatif des mesures statistiques des directions des linéaments de Djebel Mekther issues de Google Earth avec pas de 05°..... 64

Tableau. 3. 6: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Mekther avec un pas de 05°. 66

Tableau. 3. 7: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Mekther issues de Google Earth avec un pas de 05°..... 67

Tableau. 3. 8: Récapitulatif des mesures statistiques des directions (N) et des longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 05°..... 69

Tableau. 3. 9: Récapitulatif des mesures statistiques des directions des linéaments de Djebel Aïssa issues de la carte photogéologique avec un pas de 05°. 70

Tableau. 3. 10: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Aïssa issues de GEP avec un pas de 05°. 71

Tableau. 3. 11: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Aïssa issues de la carte photogéologiques avec un pas de 05°..... 73

Tableau. 3. 12: Récapitulatif des mesures statistiques des longueurs des linéaments de Djebel Aïssa issues de Google Earth avec un pas de 05°. 74

Tableau. 3. 13: Récapitulatif des mesures statistiques de directions et de longueurs des linéaments de Djebel Aïssa avec un pas de 5°. 76

Tableau. 3. 14: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 10°. 77

Tableau. 3. 15: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et des longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Aïssa avec un pas de 10°. 80

| | |
|---|----|
| Tableau. 3. 16: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Mekther avec un pas de 20°. | 83 |
| Tableau. 3. 17: Récapitulatif des mesures statistiques de directions (N) et de longueurs (L) des linéaments géologiques de Djebel Aïssa avec un pas de 20° | 85 |
| Tableau. 3. 18: Les différents types de linéaments géologiques (fractures) de Djebel Mekther | 92 |
| Tableau. 3. 19: Les différents types de linéaments géologiques (fractures) de Djebel Aïssa .. | 93 |

ملخص:

يقع كل من جبل مكثر وجبل عيسى الذي تم دراستهما في منطقة عين الصفراء في جبال القصور (جبال الاطلس الصحراوي الغربي)، حيث تهدف هذه الدراسة الى: رسم ليتولوجيولوجية وخرائط الفوالق بناء على نظام المعلومات الجغرافية SIG، الخرائط الجيولوجية (عين الصفراء، ميكاليس) (Galmier1790) وصور القمر الصناعي من Google Earth pro.

الطريقة المعتمدة في هذه الدراسة هي ادراج المعطيات في نظام المعلومات الجغرافية الذي يسمح لنا بتطوير الخرائط؛ خريطة ليتولوجيولوجية؛ خريطة خطية، وخريطة صخرية هيكلية. بالإضافة إلى القيام بدراسة احصائية للفوالق، في الأخير تم تقديم نظرة عامة على الخصائص الهيكلية للطبقتين المنحرفتين بناء على تحليل الخرائط الجيولوجية وصور GEP تليها دراسة أولية حول علاقة التواءات -الكسور.

الكلمات المفتاحية: جبل مكثر-جبل عيسى -جبال القصور- رسم الخرائط الصخرية- خرائط الفوالق – نظام المعلومات الجغرافية- دراسة احصائية- علاقة التواءات-الكسور.

Résumé :

Les deux structures étudiées « Djebel Mekther et Djebel Aïssa » sont situées dans la région d'Aïn Séfra. Ils font partie des Monts des Ksour (ou Atlas Saharien occidental). Il s'agit d'une étude qui vise deux principaux objectifs : la cartographie lithologique et la cartographie linéamentaires des deux structures, à base d'un SIG. Des cartes photogéologiques supports (Ain Séfra, Mékalis) (Galmier, 1970) en plus d'images satellitaires issues de Google Earth Pro (GEP). La méthodologie appliquée dans ce travail est essentiellement l'intégration des données dans un SIG qui nous ont permis par la suite à élaborer des cartes ; une carte lithologique (géologique), une carte de linéaments et enfin une carte de synthèse lithostructurale. Ce SIG nous a permis aussi à entamer une étude géostatistique des interrelations entre les linéaments géologiques (fracturation). A la fin un, aperçu sur les caractéristiques structurales sur les deux plis anticlinaux basé sur les observations des cartes photogéologiques et des images GEP a été donné, suivie d'une étude préliminaire sur les relations plissement-fracturation.

Mots clés : Djebel Mekther - Djebel Aïssa - Monts des Ksour - cartographie lithologique - linéaments- SIG - étude géostatistique - relation plissement-fracturation

Abstract:

The two studied structures, Djebel Mekther and Djebel Aïssa, are located in the Ain Séfra region. They are part of the Ksour`s Mountains (or Western Saharan Atlas).

The study has two main objectives: lithological and lineament mapping of the two structures based on GIS. Supporting photo geological maps (Ain Séfra, Mékalis) (Galmier 1970) in addition to satellite images from Google Earth Pro (GEP).

The methodology applied in this work is essentially the integration of data into a GIS, which subsequently enabled us to draw up maps: a lithological (geological) map, a lineaments map, and finally a litho-structural synthesis map.

This GIS also enabled us to begin a geostatistical study of the interrelationships between the geological lineaments (fracturing).

Finally, an overview of the structural characteristics of the two anticlinal folds based on observations of photo geological maps and GEP images was given, followed by a preliminary study of fold-fracture relationships.

Keywords: Djebel Mekther - Djebel Aïssa – Ksour`s Mountains - lithological mapping - lineaments- GIS - geostatistical study - fold-fracture relationship