

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERSONO



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Géologie des Bassins Sédimentaires.

THEME

**Étude géologique de la série de Djebel Seba El hadid dans
les Monts de Chellala. Sédimentologie et application de la
télédétection.**

Présenté par

HADDAD Massinissa

Soutenu publiquement le 20/06/2019

Devant le jury :

Présidente : Melle. ZOUIT Khaldia.

M.A.A Univ. Ouargla.

Encadreur : Mr. MAZOUZI Abdelmounaim.

M.A.A Univ. Ouargla.

Co-encadreur : Mme. HAMMAD Nabila.

M.C.B Univ. Ouargla.

Examineur : Mr. CHERIF Amine.

M.C.A Univ. Ouargla.

Année Universitaire : 2018 / 2019.

TABLE DES MATIÈRES.

Avant-propos.

Pages.

Introduction générale.

Introduction.....	1
Objectifs.....	1
Méthodologie.....	1

Chapitre 1. Généralités & connaissances acquises de la région de Chellala.

Partie I. La région de Chellala.....	3
1. Généralités.....	3
1.1. Ksar Chellala.....	3
2. Cadre géographique des Monts de Chellala.....	3
3. Cadre géologique des Monts de Chellala.....	4
3.1. Présentation du complexe de Chellala.....	4
• Djebel de Ben Hemad.....	5
3.2. Description chrono-stratigraphique des Monts de Chellala.....	6
3.2.1. Le primaire.....	6
3.2.2. Le secondaire.....	6
a. Lias.....	6
b. Dogger et Malm.....	7
• Callovien supérieur et Oxfordien.....	7
• Kimméridgien inférieur.....	7
• Jurassique terminale et la base du Crétacé.....	8
c. Crétacé.....	8
• Le crétacé inférieur.....	8
• Le crétacé supérieur.....	8
3.2.3. Le Tertiaire.....	9
a. Le Nummulitique.....	9
b. Le Néogène.....	9
• Le Miocène inférieur marin.....	9
• Le Miocène supérieur.....	9
3.2.4. Poste Miocène.....	10
3.3. La tectonique.....	10
4. Les ressources souterraines de Chellala.....	11
Partie II. Généralités sur les klippes et les nappes de charriage.....	12
1. Le chevauchement et les nappes de charriages.....	12
1.1. Définition.....	12
1.2. Différents types de nappes de charriage.....	12

1.3. Les éléments d'une nappe de charriage.....	12
1.4. Représentation sur la carte géologique.....	13
2. Les Klippes.....	14
1.1. Définition.....	14

Chapitre 2. Description lithostratigraphique de Seba El Hadid. ---

Introduction.....	16
Partie I. Les Travaux de Caratini (1970).....	16
1. La morphologie.....	16
2. La lithologie.....	18
Partie II. Description lithostratigraphique	19
1. Présentation du Mont de Seba El Hadid.....	19
2. Description lithostratigraphique.....	20
3. Contacts anormaux.....	27
Partie III. Description de lithofaciès.....	28
1. Introduction.....	28
2. Description de faciès.....	29
2.1. Faciès calcaire.....	29
2.2. Faciès marneux.....	32
2.3. Faciès dolomitique.....	32
3. La coupe synthétique de Seba El Hadid.....	33
4. Conclusion.....	34

Chapitre 3. Milieu de dépôt & Analyse séquentielle. ---

Introduction.....	36
Partie I. Milieu de dépôt.....	36
1. Interprétation des différents faciès du secteur d'étude.....	36
1.1. Les sous faciès calcaires d'origine biogénique.....	36
1.1.1. Calcaire à gastéropodes et bivalves.....	36
1.2. Les sous faciès calcaires à structures liés aux courants multidirectionnels.....	37
1.2.1. litages obliques en mamelon (HCS).....	37
1.3. Les sous faciès calcaires à structures liées aux courants unidirectionnels.....	38
1.3.1. Litages horizontaux.....	38
1.3.2. Rides de courant.....	38
1.4. Les sous faciès calcaires à figures de courant.....	38
1.4.1. Figures d'érosion formées à la face supérieure des bancs (<i>Prodsmarks</i>).....	38

1.5. Calcaire massifs.....	39
1.6. Faciès marneux.....	39
1.7. Faciès dolomitique.....	39
2. Association de faciès.....	39
2.1. Quelques généralités.....	39
2.1.1. Le milieu de dépôt.....	39
- Modèle de Wilson 1975.....	40
2.2. Application.....	41
3. Milieu de dépôt.....	44
Partie II. Analyse séquentielle.....	46
1. Introduction.....	46
2. Généralités.....	46
2.1. La séquence.....	46
2.2. La discordance.....	46
2.3. La discontinuité.....	46
2.4. L'eustatisme.....	46
3. Application.....	47
3.1. Coupe synthétique.....	47
3.2. Les discontinuités.....	48
3.3. Les séquences.....	48
4. Conclusion.....	49
Chapitre 4. Origine de la klippe. Apport de la Télédétection. _____	
1. Introduction.....	51
2. Objectifs.....	51
3. Matériels & Méthodes.....	52
3.1. Matériels et données utilisées.....	52
3.2. Méthodologie.....	53
Partie I. Traitement d'image.....	56
1. Traitement d'amélioration et de rehaussement.....	56
2. Traitement thématique.....	57
2.1. Compositions colorées.....	57
2.2. Modèle numérique 3D.....	60
2.3. Transformation HSV.....	60
2.4. Analyse en composantes principales ACP.....	61
2.5. Ratios.....	62
2.6. Filtres directionnels.....	63
Partie II. Cartographie lithologique (caractérisation des unités lithologiques).....	65

1. Caractérisation visuelle.....	65
2. Caractérisation radiométrique (classification non-supervisée).....	65
3. Extraction automatique (classification supervisée).....	66
3.1. Procédure de la classification.....	66
3.2. La classification.....	68
3.3. Validation de la méthode.....	70
3.3.1. Vérité de terrain.....	70
3.3.2. Matrice de confusion.....	72
3.4. Post-classification.....	73
3.5. Carte finale.....	73
4. Origine du klippe de Seba El Hadid.....	74
5. Conclusion.....	77

Synthèse & Conclusion générale.

Synthèse et conclusion.....	78
-----------------------------	----

Références bibliographiques.....	82
---	-----------

Liste des figures.....	85
Liste des tableaux.....	87

Résumé.

Abstract.

المخلص.

AVANT-PROPOS.

« Je remercie Dieu le miséricordieux pour tout ce qu'il m'a donné dans la vie en général et, particulièrement, pour toute l'aide, la volonté, le courage et la persévérance qu'il m'a insufflé tout au long

de ces années d'étude, pour que ce jour de consécration soit, enfin, arrivé».

Le travail présenté dans ce mémoire de fin d'étude a été réalisé dans la commune de Ksar Chellala. A cette occasion, je tiens à adresser mes vifs remerciements et ma sincère reconnaissance à Mr. Mazouzi ainsi qu'à sa famille pour sa générosité et son hospitalité.

Je tiens à exprimer, également, mes profonds remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de manière directe ou indirecte à l'aboutissement de ce travail, en particulier :

A mes deux encadreurs en l'occurrence, Mr. MAZOUZI Abdelmounaim et Mme. HAMMAD Nabila, pour m'avoir offert la possibilité de développer mes connaissances toute au long de ces années de parcours universitaires en tant que enseignants.

Aux membres de jury, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger mon travail.

A mes collègues et proches amis, pour ces belles et mémorables années universitaires passées ensemble.

Je ne puis oublier le précieux service de Messieurs, DJIDEL Mohamed qui a contribué à l'acquisition des cartes satellitaires et BELAID Mourad pour son aide à l'obtention des cartes géologiques de mon secteur d'étude.

Enfin, je réserve mes plus profonds remerciements à mon père qui n'a cessé de m'encourager et de me prodiguer de précieux conseils et dont l'expérience dans le domaine technique m'a été d'une grande utilité. Mes chaleureux remerciements à ma chère Maman, pour sa confiance aveugle et son soutien sans limite pour tout ce que je fais. Je remercie, également, ma sœur Mima pour son aide et assistance en matière d'informatique. Et en fin, à mon petit frère Ismail à qui je souhaite beaucoup de chance et de réussite à son examen du bac.

« A tous, je vous en suis éternellement reconnaissant ».

Introduction

Générale.

Introduction générale.

Le Mont de Seba El hadid faisant partie intégrante de la région de Chellala, constitue le cadre de cette thèse. Parmi les travaux réalisés dans la région de Chellala, où se situe notre zone d'étude, l'étude de Claude Caratini faite dans le cadre de sa thèse de doctorat (1970), constitue incontestablement une source de connaissances et d'informations précieuses et donc une référence pour les études menées depuis dans cette région. Cependant, la zone de Seba El Hadid n'a pas été particulièrement ciblée par les études antérieures sur le plan sédimentologique notamment. D'où, la motivation de cette présente étude qui se veut, d'une part, comme une contribution à l'amélioration des connaissances particulièrement, d'un point de vue sédimentologique dans cette partie précise de la région de Chellala mais aussi comme un éclairage nouveau pour d'éventuelles opportunités et nécessités de travaux de recherche ultérieures plus approfondies d'autre part.

A ce titre, cette étude sédimentologique, grâce à des approches et méthodes d'analyse dont, principalement, la stratigraphie séquentielle et la télédétection conjuguées aux observations relevées sur le terrain, va permettre de caractériser et de définir les conditions de formation des différents faciès sédimentaires, leur répartition verticale et spatiale ainsi que la méthodologie à adapter pour aboutir à la définition d'un modèle réaliste de milieu de dépôt.

Les objectifs.

Le présent travail a été proposé suite aux travaux de Caratini en 1970 qui reste toujours comme la seule référence pour tous travaux de recherche géologique portant, notamment, sur la stratigraphie. Il a pour but d'améliorer l'étude lithologique et sédimentologique des séries du *Crétacé supérieur* des Monts de Chellala sur la série de Djebel Seba El Hadid en appliquant l'outil de télédétection afin de clarifier l'origine du déplacement des lambeaux dolomitiques d'âge *Jurassique supérieur* marqué comme « Klippe » dans les travaux antérieurs, notamment ceux de Caratini (1970). L'étude sédimentologique est basée sur un inventaire détaillé des faciès et la détermination des différentes structures sédimentaires pour la définition des environnements de dépôts ainsi qu'une recherche de la faune.

La méthodologie.

Le travail sur le terrain consiste en un levé de coupe géologique détaillée (banc par banc).

Chapitre 1.

Généralités & connaissances acquises de la région de Chellala.

Partie I.

La région de Chellala.

1. Généralités.

1.1.Ksar Chellala.

Ksar Chellala, ou Reibell à l'époque coloniale, est une commune localisée à 116km à l'extrémité orientale de la wilaya de Tiaret et est située à 260km au Sud de la capitale Alger dans les Hautes plaines. Notre région d'étude qui représente les Monts de Chellala, sont affiliés à cette commune (Fig 01).

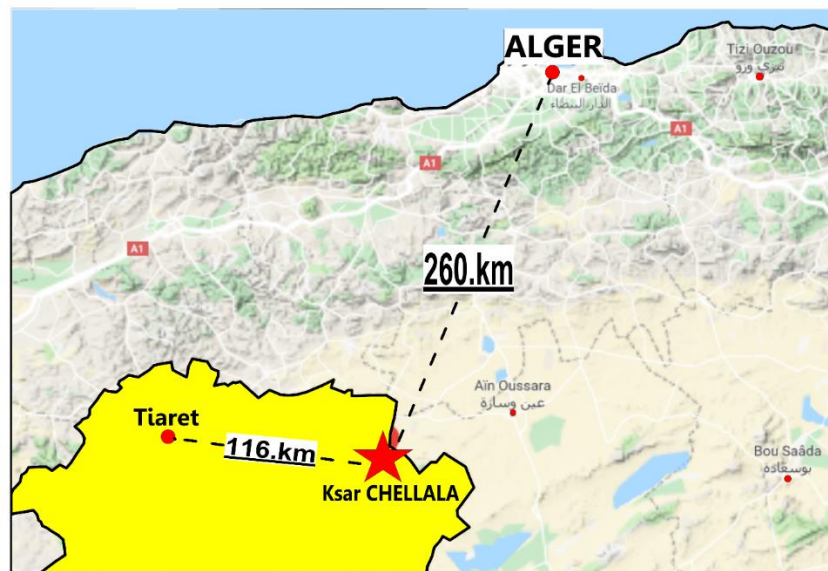


Fig 01 - Carte géographique de la commune de ksar Chellala. (Google map, modifiée).

2. Cadre géographique des Monts de Chellala.

Les Monts de Chellala sont localisés dans le Nord-Est des Hautes plaines occidentales, ils correspondent à une zone intermédiaire entre les grands ensembles géographiques de l'Algérie séparant le géosynclinal tellien du domaine de l'Atlas saharien. Du point de vue géographique, les Monts de Chellala sont attribués au domaine Pré-Atlasique (Guiraud, 1973) qui s'intègrent dans les régions septentrionales du domaine Atlasique. Les bordures nordiques de notre région correspondent à l'Atlas Tellien, et l'Atlas Saharien au Sud. Les altitudes sont

comprises entre 400 et 700m, et peuvent atteindre les 1000m dans certains endroits (Fig 02).

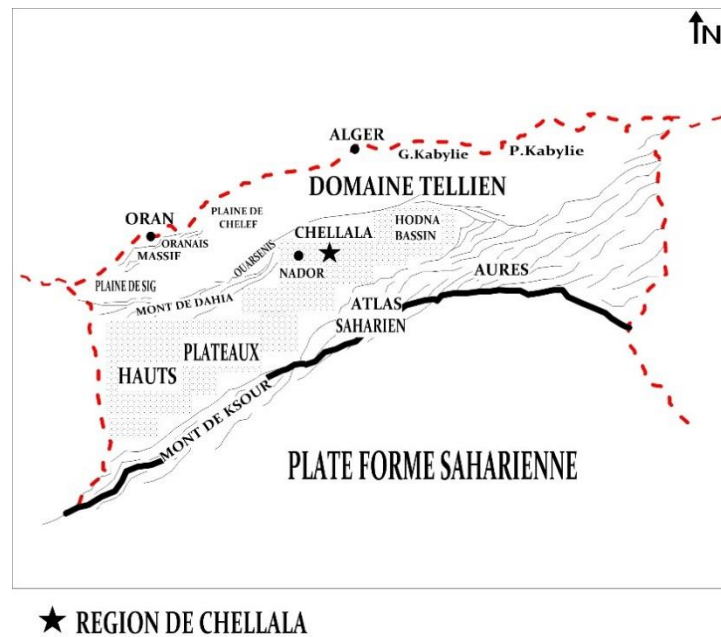


Fig 02 -Situation géographique de la région d'étude. (Image en ligne, modifiée).

3. Cadre géologique des Monts de Chellala.

3.1. Présentation du complexe géomorphologique de Chellala.

Le complexe de Chellala se représente en général, par une étendue bien évidente de Monts, qui présentent une complexité dans le détail, qui débutent par Djebel Metales et les diapirs de Zerga au Sud-Ouest jusqu'au Djebel Serguine dans le Nord-Est, en passant par Tniet el Hamra, Draa Zidia et le trio Djebel Keskas, Albiod et Mendjel, ensuite Djebel Ben Hemad et Seba el Hadid, après la région de Djefala et Djbel Kradou, sur toute l'étendue de l'anticlinal principal. La continuité du Nador-Chellala au Sud-Ouest est séparée par une zone complexe, par contre l'extrémité Nord-Est est caractérisée par la disparition brutale du Jurassique (Caratini, 1970).

L'anticlinal principal correspond à un massif allongé composé d'un ensemble de structures qui peuvent être subdivisées en deux parties par la région complexe de Djefala, affirmée par Caratini (1970) :

- Partie Ouest : djebel de Ben Hemad.

- Partie Est : djebel Serguine.

Les formations sédimentaires dans notre région, présentent des structures tabulaires marquées presque dans toutes les formations des Hauts-plateaux, eu égard à l'absence des mouvements tectoniques ou orogéniques importants au cours de l'histoire géologique dans notre région. Les dépôts Jurassique et Crétacé sont les plus présents dans l'ère secondaire. Au tertiaire, le Miocène est marqué par des dépôts marins, précédés par une période d'érosion au Paléogène. (Caratini, 1970).

- **Djebel de Ben Hemad.**

La structure de ce massif est simple dans sa partie centrale (Fig 03), et il est caractérisé du Nord au Sud par, (Caratini, 1970) :

- Une faille importante suit presque tout l'anticlinal principal localisé dans djebel Keskas.
- Le flanc Sud est très régulier dans sa partie méridionale marqué par quelques cassures dans sa région moyenne.
- Au Sud-Ouest, le massif se termine par un dispositif périclinal, et une faille radiale marquée dans Kef Fchima et Draa Zidia.
- Le Nord-Est, le massif plonge lentement, entraînant de nombreuses irrégularités de dimensions réduites, difficiles à mesurer en raison de la nature dolomitique du terrain et le recouvrement Miocène.

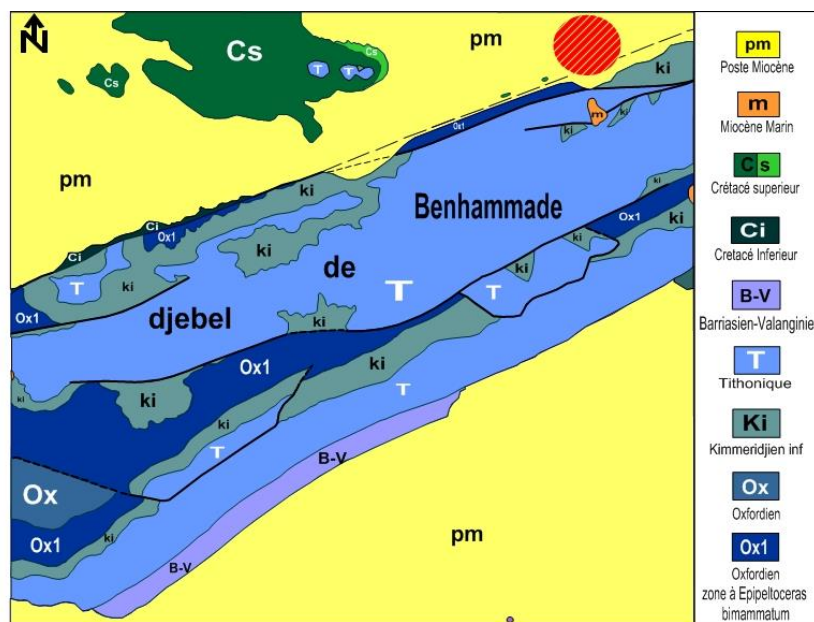


Fig 03 - Carte géologique de la région de Chellala. (Caratini 1970).Modifiée.

3.2. Description Chrono-lithostratigraphique.

3.2.1. Le Primaire.

Aucun terrain d'âge Antétriasique ne parvient normalement à l'affleurement dans notre région d'étude. Le sondage de Bourlier (Bo 1, SNRéal, inédit), au Nord-Ouest de Chellala, demeure la seule source du Paléozoïque (Caratini, 1970), le sondage a révélé la présence de sédiments argilo-pélitiques sous la plaine de Sersou d'âge (Permien ?).

A la surface de cette plaine, se trouvent des Conglomérats d'âge Permien, décrits par (A. Joly 1910, in Caratini, 1970), mais sans aucune preuve évidente.

3.2.2. Le Secondaire.

a. Le Trias.

La période Triasique est représentée par des diapirs plastiques contenant essentiellement des gypses, sels et les argilites, où ils ont été bien reconnus en surface, par leurs remontées à travers les fractures causées par la tectonique entraînant avec eux des dolomies, cargneules et des quartzites dont le Trias n'y est pas prouvé.

Mais le forage de Cédraia 1 (Ced S.P.H.P. 1962 inédit), nous a permis de révéler trois faciès bien définis qui se présentent comme suit (Caratini, 1970) :

(De bas en haut).

- Une formation détritique représentée par des conglomérats d'environ 140m d'épaisseur.
- Une formation argilo-anhydritique de 270m, avec des intercalations calcairo-dolomitiques, contenant quelques faunes du Muschelkalk (Trias moyen).
- Une formation calcairo-anhydritique de 110m d'épaisseur, qui englobe le Rhétien (dernier étage du Trias supérieur) avec des restes de lamellibranches et gastéropodes.

b. Le Jurassique.

- **Le Lias.**

Le Jurassique inférieur est marqué par une régression générale en Algérie, cela a été bien marqué par les dépôts sédimentaires importants déposés dans une mer peu profonde décrite comme suit (Caratini, 1970) :

- Des calcaires biolithiques ou des dolomies métasomatiques (Djebel Nador), leur épaisseur dépasse les 400m, révélée par le forage de Cedraia 1, ils correspondent au Lias inférieur.
- Des calcaires marneux d'environ 150m d'épaisseur, à accidents siliceux fréquents, riches en ammonites, d'âge Domérien (sous étage du Pliensbachien).
- Ammonitico-rosso, représente une espèce de calcaire rougeâtre riche en ammonites, souvent marneux ou argileux condensé qui se singularise au Djebel Nador, caractérisant le Toarcien.

- **Le Dogger et le Malm.**

A cette période, la tranche d'eau n'était pas vraiment importante caractérisée par des sédiments d'origine marine, essentiellement carbonatés (calcaires à débris filamenteux) avec la présence de faunes typiques de ce milieu, les ammonites et les échinides dans d'autres endroits. Les phénomènes orogéniques à cette période ont touché des régions loin du Mont de Chellala, mais seulement une subsidence non négligeable a affecté cette région, ce qui a permis le dépôt, en milieu peu profond, de 750m de sédiments (Caratini, 1970).

- **Le Callovien supérieur et Oxfordien.**

A cet étage, la subsidence du dogger continue à augmenter dans notre région d'une manière irrégulière, la subsidence est plus intense à l'Est qu'à l'Ouest, ce qui explique l'incompatibilité des épaisseurs des faciès dans les différents levés de coupe et le taux de sédiments est bien important à l'Est vers l'Atlas saharien. La sédimentation est carbonatée d'origine marine, contenant d'importantes formations détritiques, des grès fins et des argilites vertes d'environ 400 à 700m d'épaisseur, et il s'agit d'un faciès de flysch, caractérisant le milieu deltaïque (Caratini, 1970).

- **Le Kimméridgien inférieur.**

Dans le Mont de Chellala, le Kimméridgien inférieur a été daté pour la première fois par François Atrops & Michel Benest (1982), à partir de la récolte d'échinides et d'ammonites retrouvés dans plusieurs zones à l'instar de Seba el Abiode et Djebel Keskas dans notre région et, à base d'une espèce indice d'ammonite *Sutneria Platynota* ; cette région a été attribuée à une zone typique nommée zone à *Platynota*, alors que ce type d'ammonite n'était connu que sur le bord européen du domaine mésogéen.

Les conditions de sédimentation sont presque similaires à celle du Callovien supérieur & Oxfordien, la tectonique demeure inactive et la subsidence continue à augmenter. Des marnes et des calcaires remplacent progressivement les grés et les argilites vertes.

Les levés réalisés dans le Mont de Chellala ont donné deux séries de sédiments, une série détritique basale représentée par des marno-calcaires et une autre série supérieure qui représente une plate-forme carbonatée caractérisant le début du Kimméridgien supérieur.

- **Le Jurassique terminal et la base du Crétacé.**

La limite Jurassique/Crétacé, dans notre région, n'est pas vraiment nette et évidente. La sédimentation, ici, correspond au sens large, à une continuité verticale des faciès entre les deux âges avec des petites variations au niveau des faciès. La subsidence est toujours puissante à l'Est et la mer reste en phase de régression permettant le dépôt des faciès caractéristiques du milieu de plate-forme comme les calcaires oolithiques graveleux alternant avec des marnes.

Notant que ces derniers ont été transformés en dolomies métasomatiques, observées à l'Ouest, beaucoup plus dans le Nador-Chellala suite au phénomène de dolomitisation (Caratini 1970).

c. Le crétacé.

- **Le crétacé inférieur.**

L'invasion des dépôts détritiques souvent continentaux (fluvio-éolien) sont majoritaires et s'observent nettement dans notre région d'après (Caratini 1970). La subsidence reste plus active à l'Est pendant qu'à l'Ouest elle demeure toujours faible et reste émergée, ainsi que Le Crétacé inférieur apparaît dans des dépôts gréseux continentaux à faible épaisseur (environ 200m). Par contre, dans la partie orientale de notre Mont, les épaisseurs des sédiments sont plus importantes et atteignent les 1000m, subdivisant le Crétacé inférieur en plusieurs groupes de faciès, dont le faciès gréseux souvent continental prédomine, avec des épisodes de faciès gréso-carbonaté marin d'âge Valanginien-Hauterivien-Barrémien (Caratini 1970).

- **Le crétacé supérieur.**

Un changement radical caractérise cette période, après les assises continentales déposées au Crétacé inférieur, une transgression générale s'installe dans la région de Chellala nommé, la transgression Cénomaniennne. Notons que les premiers dépôts transgressifs ont débuté à l'Albien supérieur localisés à l'Ouest de notre région, dans l'Ouarsenis (M. Mattauer 1958 et dans Oulad nail J. Emberger 1960 (in Caratini, 1970). Alors qu'à l'Est, les assises, dans notre région, ont été datées dès le Cénomaniennne d'après Caratini (1970), déposant des calcaires observés à Chellala et Taguine, et des niveaux argilo-gréseux continentaux. Le passage entre ces deux formations est marqué par de faibles horizons détritiques qui s'achèvent en biseau

dans les calcaires. Cette transgression irrégulière comme elle a été décrite par Caratini (1970), a probablement recouvert la région jusqu'à la fin du Crétacé, car les formations les plus récentes sont datées au Campanien et les derniers niveaux du Crétacé supérieur ont été érodés. Les strates sont tabulaires et coordonnantes reflétant la stabilité tectonique régnant à cette période.

3.2.3. Le Tertiaire.

a. Le Nummulitique.

Au Paléogène, le nord de l'Algérie était pratiquement exposé à l'air libre, la mer se retire à la fin du Crétacé et l'orogénèse règne pour former la série de l'Atlas Saharien et l'Aurès au début de l'Eocène supérieur à l'Oligocène inférieur qui se prolonge du Haut Atlas Marocain jusqu'à l'Atlas Tunisien, correspondant au cycle orogénique Alpin.

Ainsi, cette orogénèse est considérée comme responsable de l'érection des reliefs de notre région, du fait que notre région apparaît sans doute dans l'Atlas Saharien prouvé par Caratini (1970), en premier lieu sur le plan structural puis sur le plan sédimentologique, mettant en évidence que les premiers dépôts discordants non plissés, sont d'âge Miocène inférieur. Les dépôts détritiques continentaux dominant à cette période, déposant ainsi des blocs et des sédiments éoliens.

b. Le Néogène.

- **Le Miocène inférieur marin.**

La mer retrouve le chemin de retour et revient de nouveau sur la partie nord de notre région, qui a immergé les Hauts plateaux algérois actuels en mettant les dépressions des paléo-reliefs comme des zones de dépôts. La tranche d'eau était faible déposant ainsi des sédiments essentiellement grésos-carbonatés. Ainsi, cette époque est la dernière étape de formations de notre région où l'aspect de la morphologie actuelle est achevé.

Vu que le Nummulitique est soumis aux agents atmosphériques, les dépôts du Miocène inférieur entrent en contact direct avec les terrains Mésozoïques, formant ainsi une discordance visible, surtout dans les Hautes plaines Algéroises (Caratini, 1970).

- **Le Miocène supérieur.**

A cette époque, la région de Chellala est exposée encore une fois aux agents atmosphériques, préluée par le Miocène inférieur marin. Les phénomènes orogéniques demeurent inexistant

et la stabilité prédomine vu l'évolution des réseaux hydrographiques, et les assises Miocènes marin très peu déformées.

3.2.4. Post Miocène.

Dans les temps plus récents, la région a été touchée par des mouvements intenses autant que les surélévations qu'a subies l'ensemble Chellala-Nador durant le Plio-Quaternaire, et atteignant les 250m d'épaisseur, mais sans changer sa morphologie extérieure.

3.3. La tectonique.

La tectonique dans notre région d'étude est bel et bien présente et ses effets apparaissent clairement dans les différentes zones des Monts de Chellala. Mais, la plus importante correspond à la grande faille de Reibell décrite par Caratini en 1970, qui s'étend sur presque toute la longueur de l'anticlinal, suivie par des failles secondaires dans le compartiment Ouest et des flexures particulières qui caractérisent le compartiment Est.

Diverses structures tectoniques ont été observées dans la région de Chellala à l'instar de l'ensemble des structures de Serguine, constituées d'un Horst nommé horst de Serguine et une dépression nommée Djefala et la pincée de Kradou décrite pour la première fois par L.Glangeaud en 1945, caractérisée par un compartiment effondré puis comprimé par le rapprochement des deux lèvres, localisée à l'Est de l'anticlinal principal. Au Nord de la zone faillée de Chellala, deux structures ont été bien décrites par Caratini en 1970. Il s'agit de l'anticlinal de Ahmar Kradou et le synclinal de Teniet El Hamra, suivant une direction N 310° E. A l'Ouest, plusieurs structures tectoniques ont été mentionnées dont les plus importantes sont le diapir triasique localisé à Djebel Zerga et la structure pli-faille dans Ksar de Ben Hemad.

Bien que la zone de Seba El Hadid soit caractérisée par une structure anomalique décrite sommairement par Caratini (1970), mais il s'agit d'une klippe bien évidente, détachée de la grande faille de Reibell intégrante dans l'anticlinal principal. Cette structure met en contact

les dolomies supérieures du Tithonique avec les dépôts inférieurs d'âge Crétacé supérieur, créant ainsi une discordance nette.

Notons que, selon Caratini (1970), cette klippe aurait été soumise à un glissement par gravité et à l'érosion issue de la zone la plus septentrionale, mais ceci reste une hypothèse et la seule admise jusqu'à présent (Fig 04).

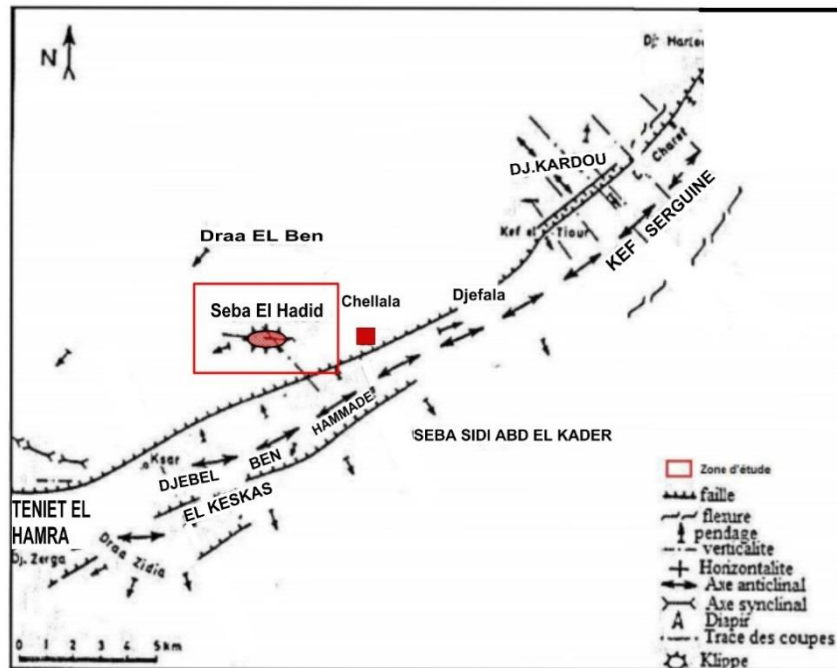


Fig 04 -Carte structurale générale de la région de Chellala. (Caratini, 1970).Modifiée.

4. Les ressources souterraines de Chellala.

Le climat aride et sec et la végétation de type steppique, est l'aspect dominant de notre Mont, vu sa position géographique localisée dans les Haut-plateaux. Néanmoins, la région de Chellala contient dans sa sub-surface des ressources, le moins que l'on puisse dire, sont importantes. Des nappes aquifères localisées dans différents endroits de la région d'étude, à l'instar de la nappe de Sersou, qui est en exploitation et les inféroflux de l'Oued Touil. Ces deux sources alimentent les formations perméables gréseuses du Crétacé inférieur formant de bons réservoirs hydrauliques de la région, ainsi que, les groupes des sources de l'Oued Ouerq et Serguine, qui demeurent des richesses souterraines importantes dans la région de Chellala (Caratini 1970).

Partie II.

Généralités sur les klippes et les nappes de charriage.

1. Le chevauchement et les nappes de charriages.

1.1. Définition.

On appelle chevauchement, la superposition verticale de deux ensembles de terrains dont la succession n'est pas normale. Dans le cas des roches sédimentaires, on observera une série supérieure formée de roches plus anciennes que la série inférieure. On a vu que les chevauchements résultent de failles inverses très faiblement inclinées (faille inverse à pendage faible inférieure à 15°), les failles inverses sont appelées dans ce cas : failles de chevauchement. Lorsque le déplacement horizontal relatif des deux massifs rocheux de part et d'autre du plan de rupture devient important (plurikilométrique), on parle de nappes de charriage.

1.2. Différents types de nappes de charriage.

En fonction du matériel qui constitue la nappe, on distingue trois grands types de nappes :

- **La nappe de couverture.**

Formées de roches sédimentaires désolidarisées de leur substratum. Ex : nappe de Digne.

- **La nappe de socle.**

Formées de roches métamorphiques ou magmatiques. Elles peuvent recouvrir d'autres unités du socle ou bien des formations sédimentaires. Ex : nappes Austro-Alpines.

- **Les nappes ophiolitiques.**

Formées de lithosphère océanique (croûte et manteau) et roches sédimentaires associées. Leur présence dans une chaîne de montagne matérialise la suture d'un ancien domaine océanique. Ex : Le Cervin.

1.3. Les éléments d'une nappe de charriage.

Une nappe de charriage est donc, un ensemble de terrains qui ont été déplacés, appelés allochtones, épais de centaines parfois de milliers de mètres, qui reposent, selon un contact anormal, appelé aussi plan de charriage sur un autre ensemble de terrains appelés autochtones dont ils étaient très éloignés à l'origine (Fig05). Les éléments constituant ce complexe géologique sont comme suit :

- **La racine de la nappe** : c'est la zone de départ des nappes de charriage.
- **Le front de la nappe** : représente les parties antérieures de la nappe qui sont les plus avancées.
- **Flèche** : c'est l'amplitude du recouvrement de la nappe.

Le phénomène d'érosion favorise la formation de deux aspects morphologiques typiques des nappes de charriage, les klippes et les fenêtres.

- **La Fenêtre** : représente une ouverture intégrante dans la partie allochtone, sous forme de boutonnières qui font apparaître le compartiment autochtone qui est complètement entouré par l'allochtone.
- **Demi-fenêtre** : c'est une ouverture dans les nappes allochtones, mais qui n'est pas entièrement entourée par celle-ci.
- **La Klippe** : l'érosion est le phénomène principal pour la naissance d'une klippe située à la partie frontale de la nappe en laissant subsister des morceaux isolés de la nappe de charriage.

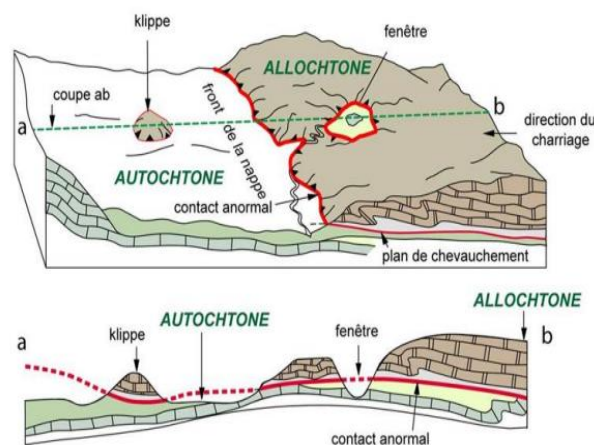


Fig 05 - Présentation des différents éléments d'une nappe de charriage. (Image en ligne).

1.4.Représentation sur la carte géologique.

Sur une carte géologique, les contacts anormaux sont représentés par des triangles qui sont par convention, tournés vers le compartiment chevauchant (l'allochtone). Fenêtres et klippes peuvent donc être facilement différenciées sur une carte géologique.

2. Les Klippes.

2.1.Définition.

« Lambeau de charriage », c'est une butte, une masse ou une portion d'unité tectonique allochtone séparée et isolée du reste de celle-ci, qui peut être une nappe de charriage ou un massif résultant d'une collusion horizontale (un écart de quelques mètres à plusieurs kilomètres entre la klippe et l'unité allochtone). Ce détachement résulte, généralement, par l'érosion (Fig06).

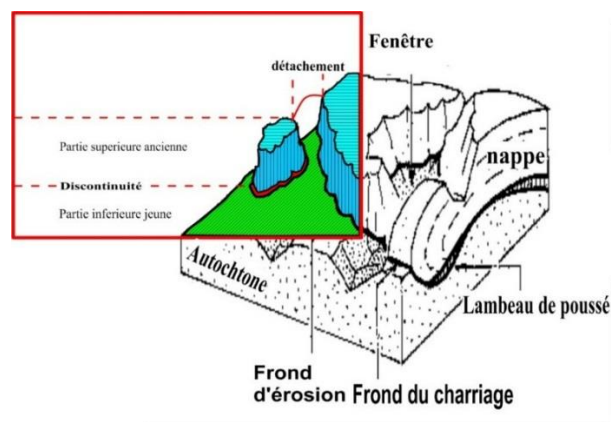


Fig 06 -Schéma descriptif d'une klippe. (Image en ligne, modifiée).

Le Pr. Bernard Biju-Duval dans son livre (**Géologie sédimentaire 1999**), a souligné la présence de deux types de klippe :

- **Une klippe sédimentaire.**

(Terme initié par P. Lamare en 1946), c'est un élément allochtone resédimenté suite à son glissement dans un bassin en cours de remplissage, ou dans une matrice plus jeune (voir, *Olistolithes*).

- **Une klippe tectonique.**

Définie comme une portion résiduelle de la nappe, qui a résisté à une érosion intense.

Chapitre 2.

Description lithostratigraphique de Seba El Hadid.

Introduction.

Ce chapitre est subdivisé en trois parties. La première partie est consacrée au rappel des différents travaux réalisés par Caratini (1970) ainsi que ses principaux résultats ; la deuxième partie à la représentation et l'organisation des différentes lithologies constatées à partir d'un levé géologique réalisé sur terrain et, en fin, la troisième partie consiste à décrire en détail les faciès majeurs constituant le Mont de Seba El Hadid. Ce Mont fait partie du territoire administratif de la commune de Ksar Chellala, situé à 3,5 km à l'Ouest de la commune. Seba El hadid est l'un des Monts constitutifs de la région d'étude de Chellala.

Partie I.

Travaux de Caratini, 1970.

Les études réalisées par Caratini en 1970 sur le Mont de Seba El Hadid associé avec Draa El Leben, ont été basées sur la lithologie dominante et les grandes structures caractérisant ce Mont. Et on distingue :

1. La morphologie.

La morphologie de notre Mont est subdivisée horizontalement en deux parties, inférieure carbonatée et détritique et supérieure, dolomitique séparée par une discontinuité.

- La partie inférieure : correspond aux assises Cénomaniennes-Turoniennes & Sénoniennes localisées à Seba El Hadid et Draa El Leben. C'est un relief assez étendu et faiblement incliné. Les dépôts présentent une variabilité dans le détail, qui débute par des faciès détritiques localisés à Draa El Leben au Nord, et des dépôts, essentiellement, carbonatés à Seba El Hadid au Sud, de calcaires et, un degré moindre, de marnes.
- La partie supérieure : c'est une partie allochtone correspondant à des masses dolomitiques d'âge Tithonique, bien individualisées et séparées de la série inférieure par un contact anormal évident (Fig07)

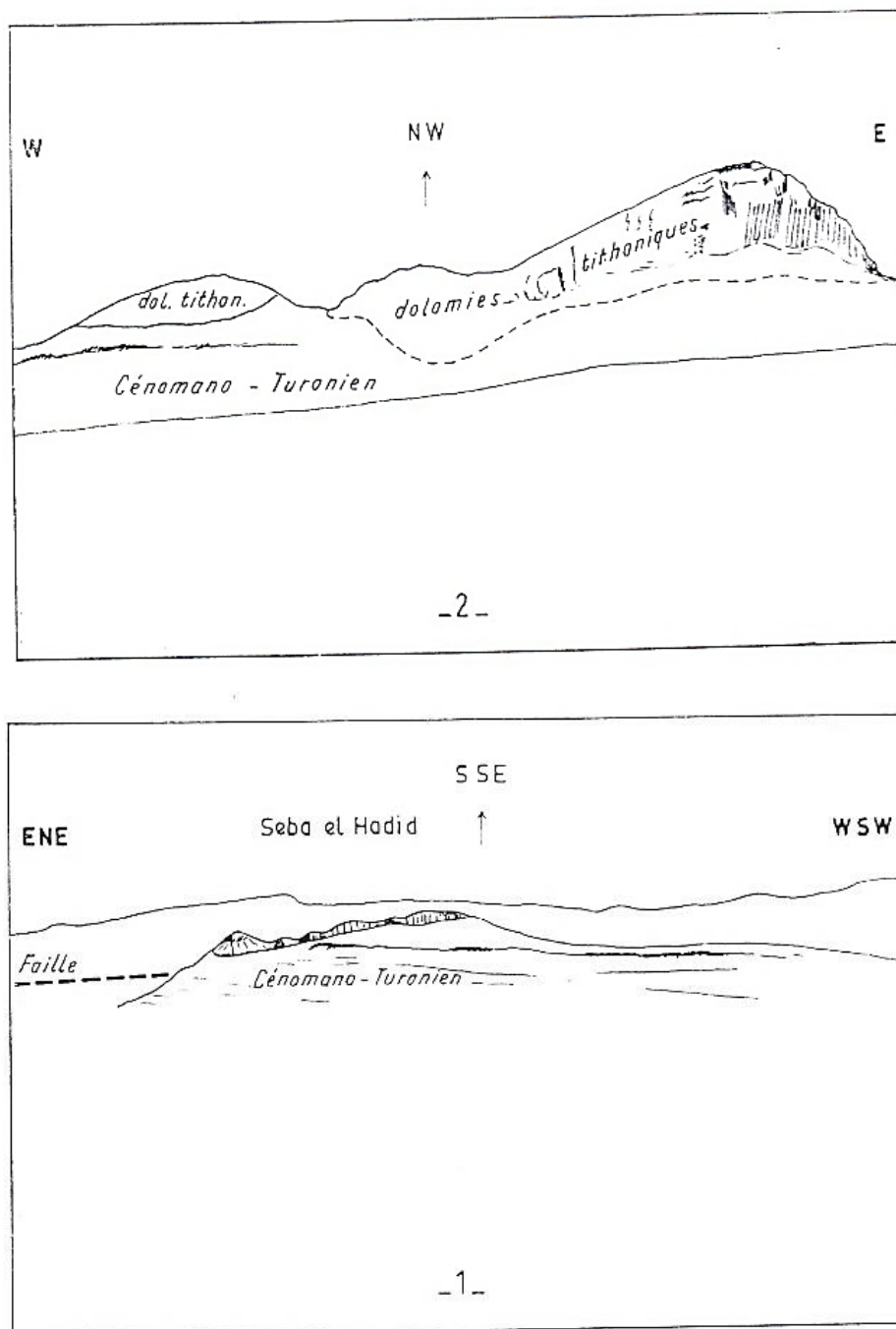


Fig 07 -Schémareprésentatif du Mont de Seba El Hadid (Caratini, 1970).

2. La lithologie.

La description lithologique de Seba El hadid, a révélé trois formations essentielles dont:

- **Les formations de calcaires inférieures.**

De 40m d'épaisseur, elles représentent des calcaires blanchâtres à jaunâtres, légèrement argileux, fossilifères (Gastéropodes) avec présence de figures sédimentaires.

- **Les formations marno-calcaires médianes.**

De 57m d'épaisseur, elles correspondent, en général, à une alternance de calcaires, de calcaires marneux et de marnes, fossilifères.

- **Les formations calcaires supérieures**

De 43m d'épaisseur, elles sont semblables aux calcaires inférieurs avec présence d'un niveau dolomitique (Fig08).

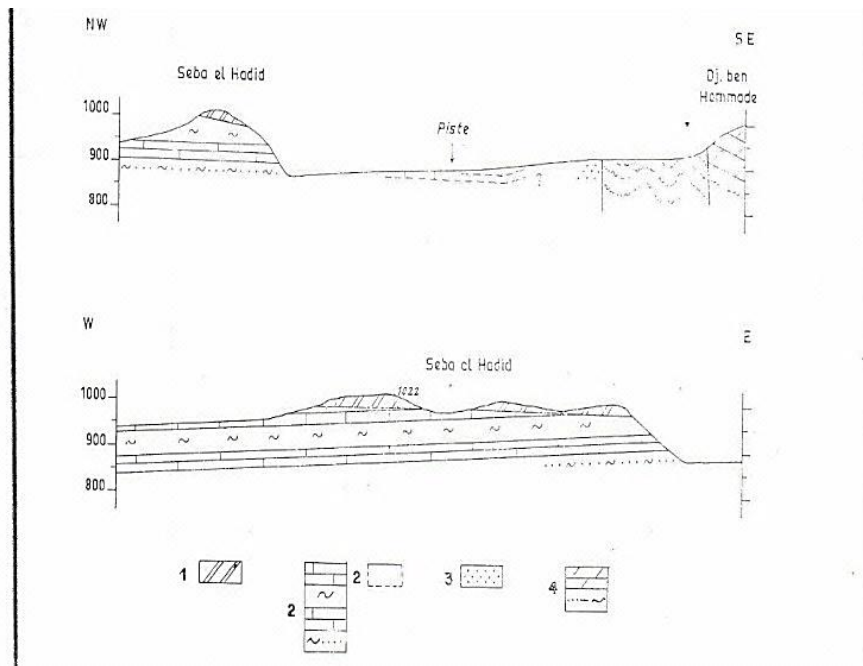


Fig 08 - Différentes lithologies de Seba El Hadid (Caratini, 1970).

Partie II.

Description lithostratigraphique.

1. Présentation du Mont de Seba El Hadid.

Le cadre de cette étude concerne Djebel Seba El hadid, situé à 2km au Nord de la grande faille de Reibell. De forme longitudinale et isolé du reste de l'anticlinal principal de Ben Hamed, il se présente comme une succession de buttes alignées selon l'axe ESE-WNW et s'étale sur une distance de 1700m de long et de 900m de large ; son point culminant s'élève à près de 170m du sol et de 995m du niveau marin (Fig09).



Fig09 -Représentation et situation du Mont de Seba El Hadid.

2. Description lithostratigraphique.

La description lithologique de la zone d'étude a été entamée de bas vers le haut selon un parcours choisi de façon à recouper le maximum d'affleurements, selon une direction NE-SW afin de restituer la colonne lithologique caractéristique complète du Mont. Pour cela, nous avons subdivisé la colonne lithologique en plusieurs unités afin d'organiser les différents bancs et inter-bancs en fonction des différents types de lithologies rencontrés ainsi que leur succession verticale, leur épaisseur et leurs contenus (Fig10).

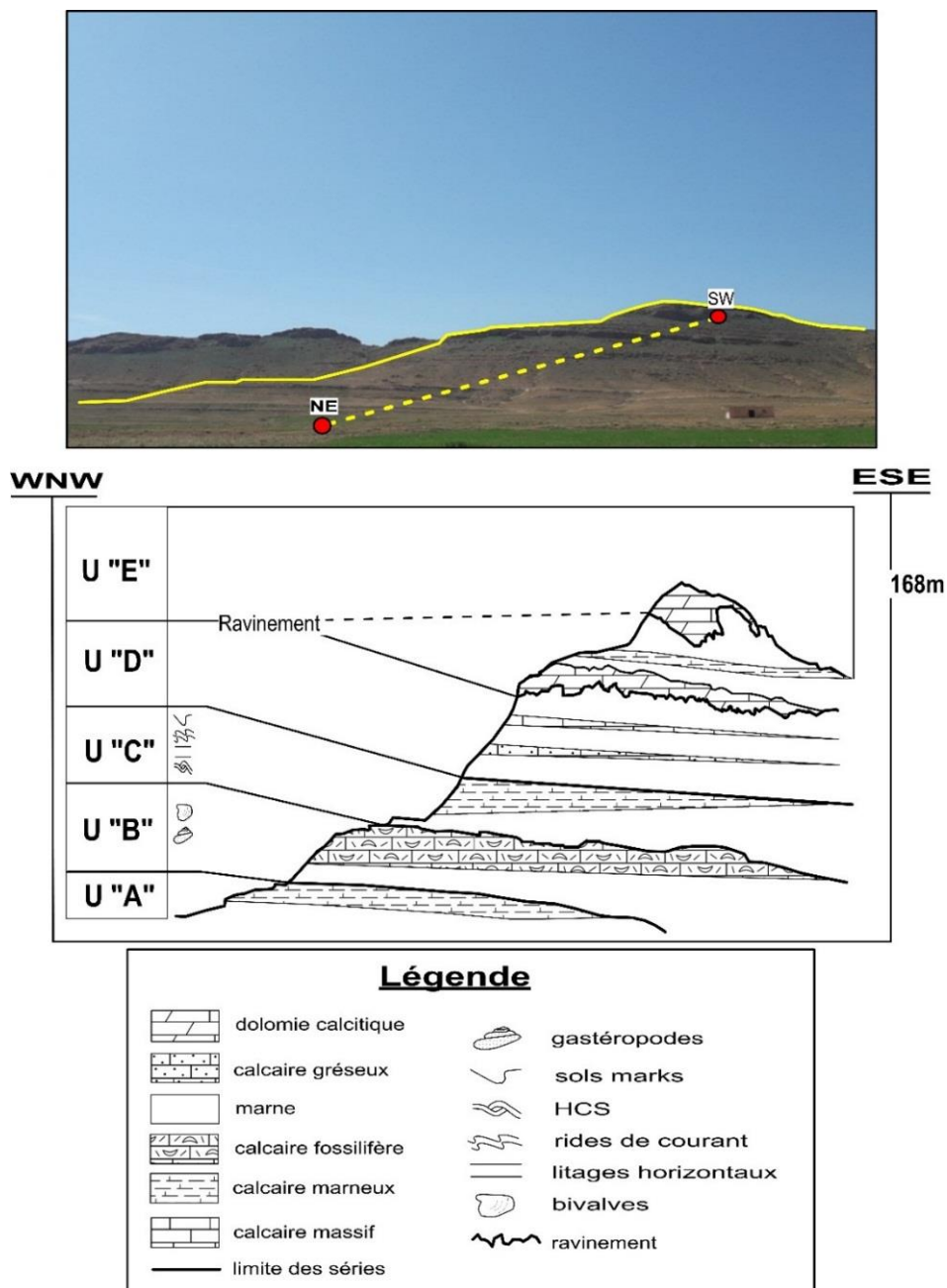


Fig10–Subdivisions lithologiques du Mont de Seba El Hadid.

2.1. Unité 'A' (10,5m).

Constituée, à la base, par un banc de calcaire marneux, massif, d'environ 1m d'épaisseur, dur, de couleur brunâtre à la patine et jaunâtre à la cassure, surmonté par des marnes brunâtres de 10m d'épaisseur, admettant une passée de calcaire marneux, brunâtre de 50cm d'épaisseur (Fig11).

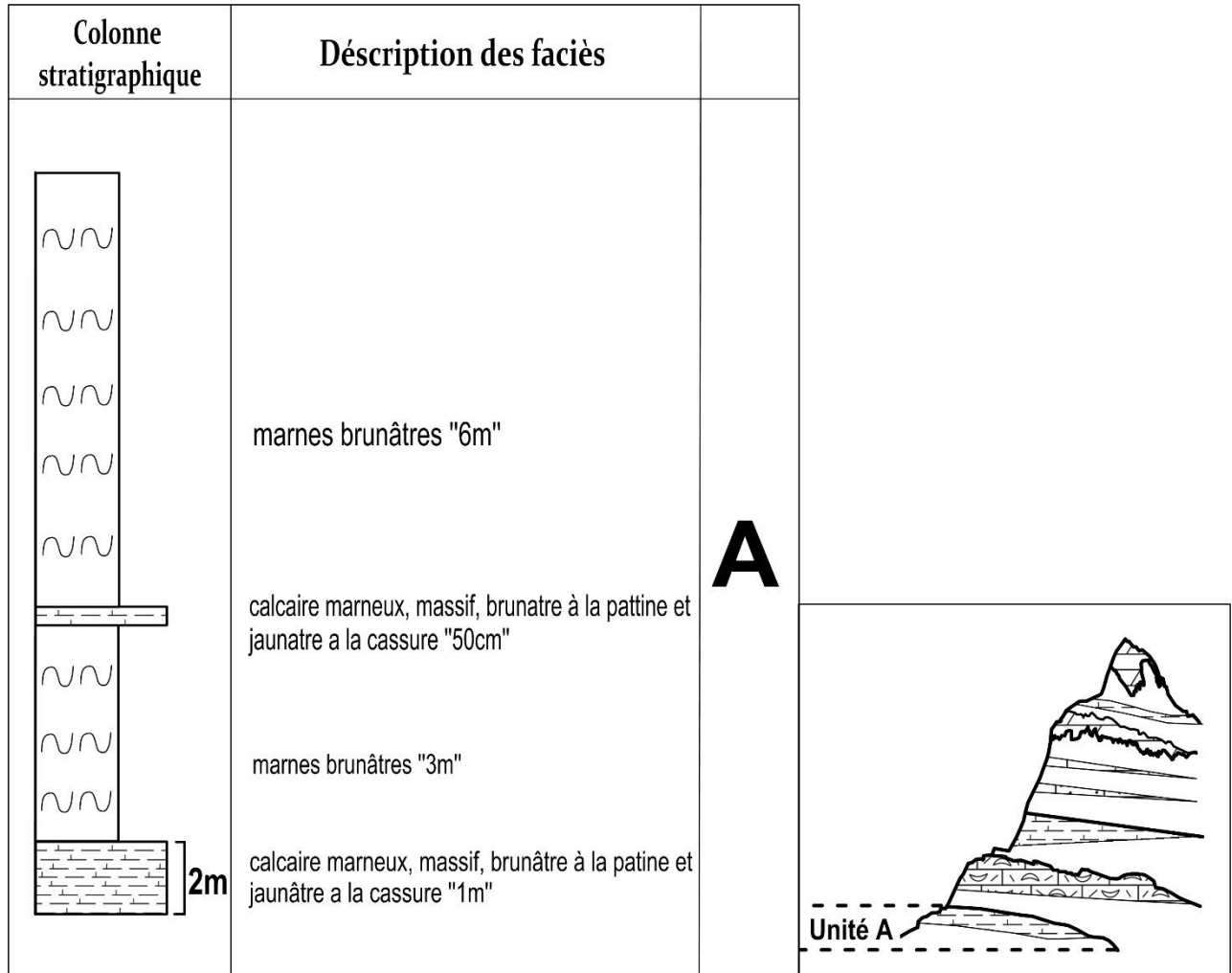


Fig 11 –Succession lithologique de l'unité A.

2.2. Unité 'B' (24,5m).

Représentée d'alternance de bancs de calcaires marneux riche en fossiles et de marnes.

- Les bancs de calcaire sont nombreux et présentent des épaisseurs variables (de 40cm à 4m), de forme lenticulaire, dur, de couleur brunâtre et jaunâtre à la base. A noter la présence importante de fossiles dans les calcaires marneux tels que les gastéropodes, formant ainsi des dalles de fossiles, des empreintes de bivalves à remplissage calcitique associées à des rides de courant observées à la base de cette unité. Quelques figures sédimentaires ont été, également, observées à la base dans le niveau de calcaire marneux tels que les prods castes et les rides de courants.
- Les marnes présentent le même aspect que celles de la partie A (Fig12).

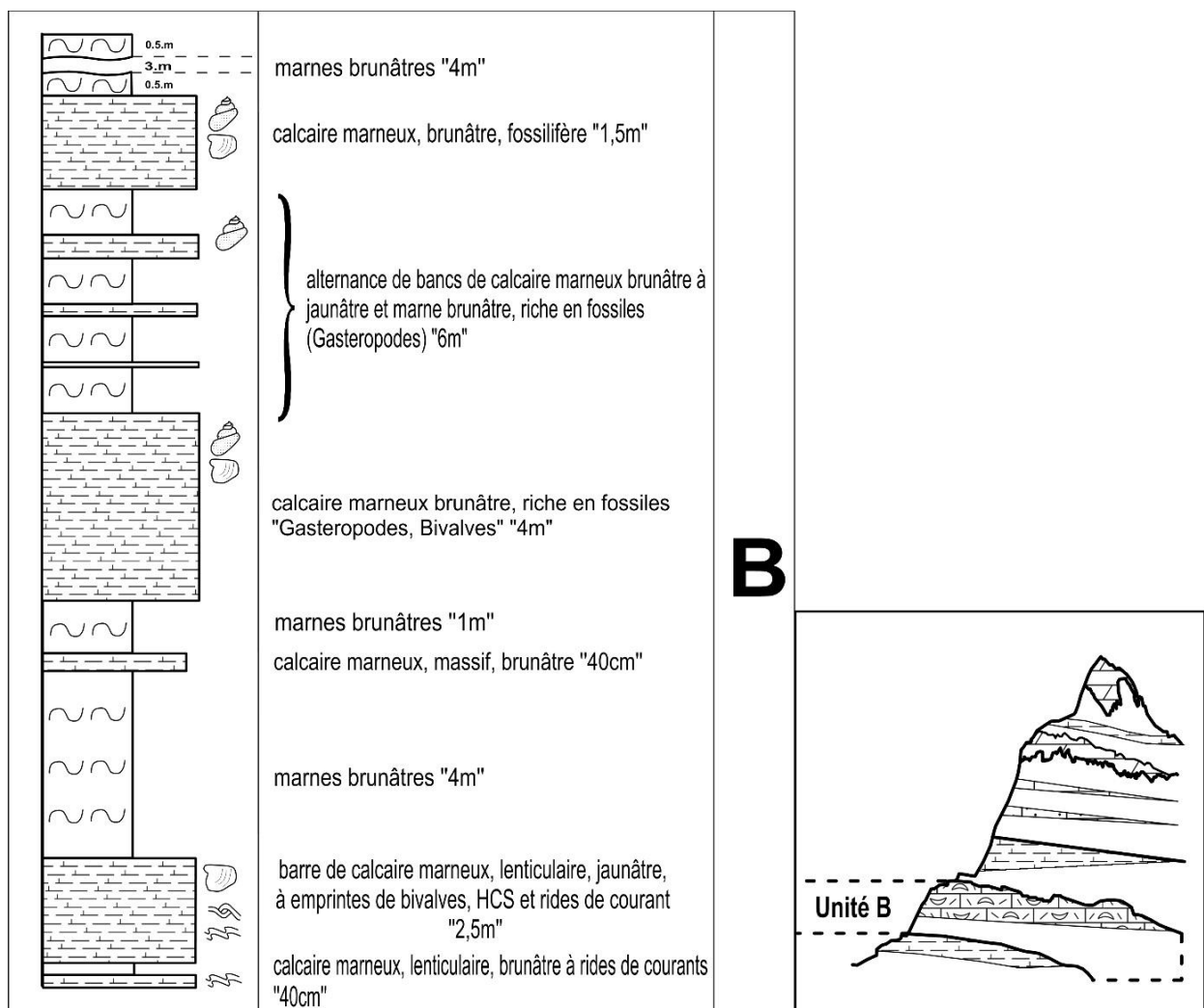


Fig 12 - Succession lithologique de l'unité B.

2.3. Unité 'C' (30m).

Caractérisée par l'alternance de calcaires marneux et de marnes portant des figures sédimentaires.

- Les calcaires marneux sont nombreux d'épaisseurs variables (de 20cm à 2m), de couleur brunâtre à la base et jaunâtre au sommet de l'unité, ainsi que quelques bancs de calcaire massifs. Les figures sédimentaires sont très fréquentes telles que, les rides de courant, HCS, et litages horizontaux. A noter la présence d'un banc de calcaire marneux strato-croissant à rides de courant à la base et un niveau de calcaire en plaquettes, jaunâtre de 50cm d'épaisseur.
- Les marnes présentent le même aspect que les marnes décrites précédemment. A signaler que le sommet de cette unité est caractérisé par la présence de 5m de marnes verdâtres riches en moules de bivalves (Fig13).

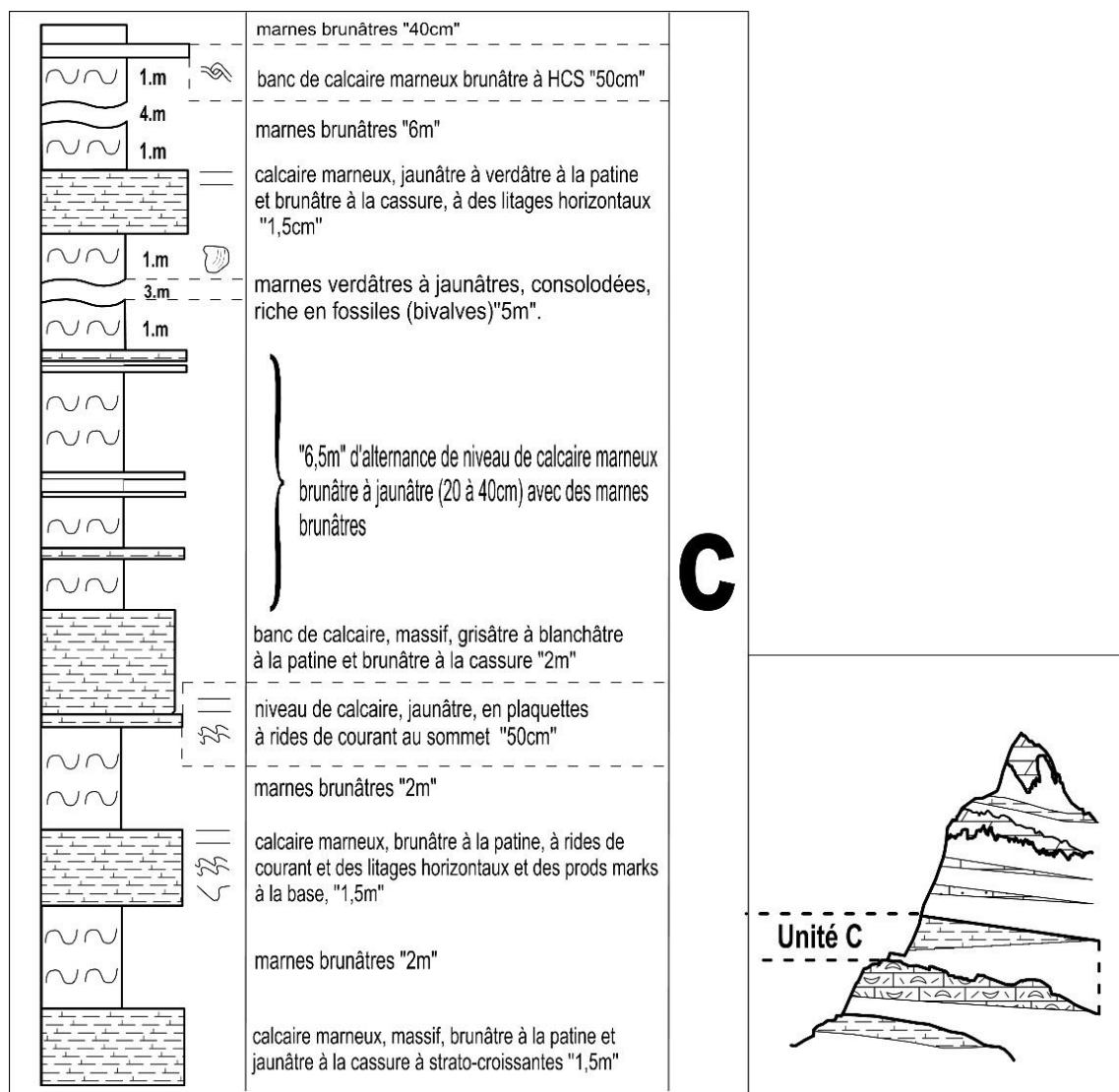


Fig13 -Succession lithologique de l'unité C.

2.4. Unité 'D'(44m).

Caractérisée par l'installation d'une puissante série de marnes d'environ 40m d'épaisseur, de couleur brunâtre, friables qui ont le même aspect que les marnes précédemment décrites, admettant la présence de bas en haut :

- D'un niveau de calcaire marneux de l'ordre de 50cm, massif de couleur brunâtre.
- D'un banc de calcaire gréseux, massif, de couleur brunâtre d'environs 1,5m.
- De deux bancs de calcaire massifs de couleur brunâtre de l'ordre de 1m d'épaisseur

(Fig14).

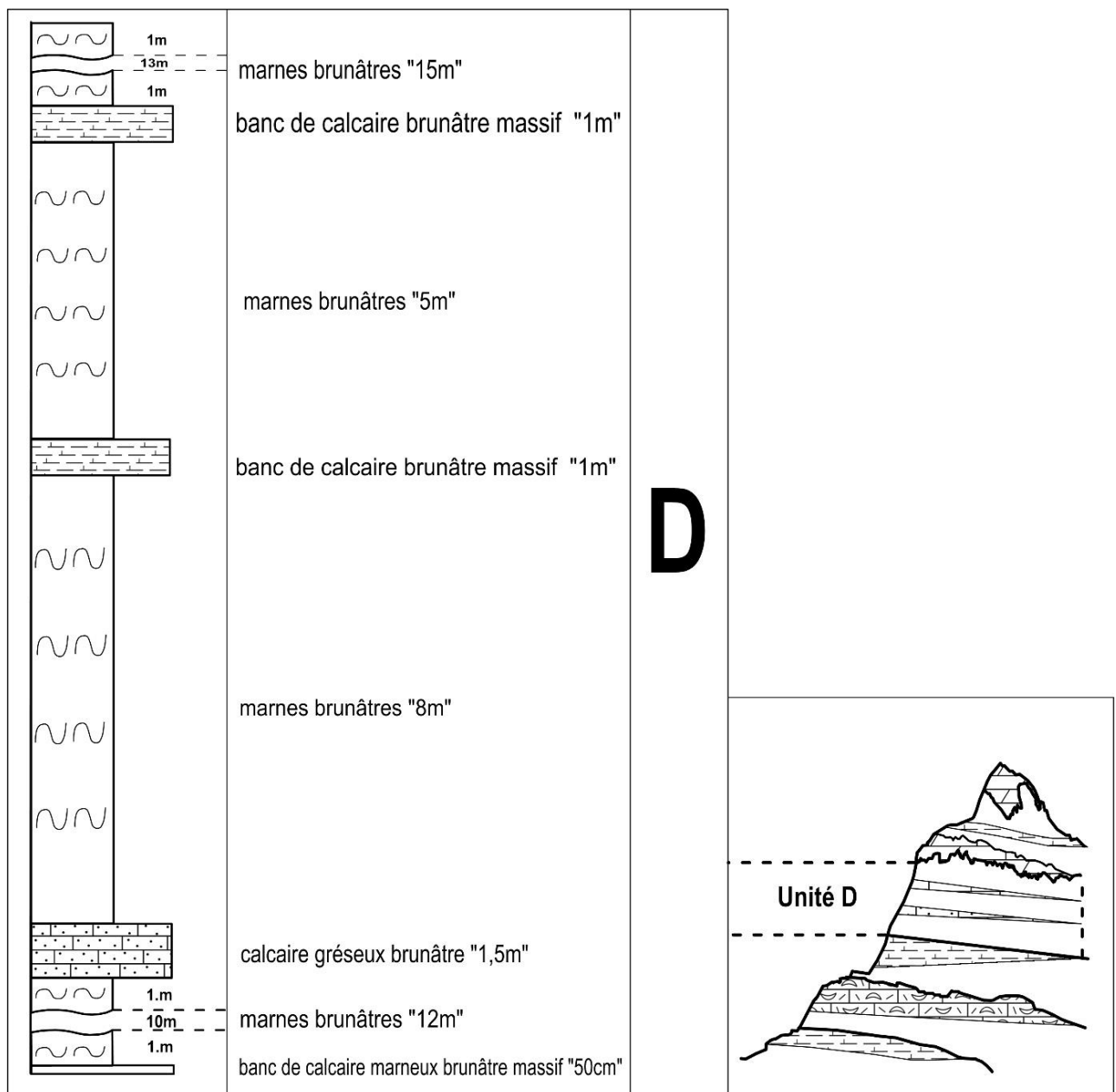
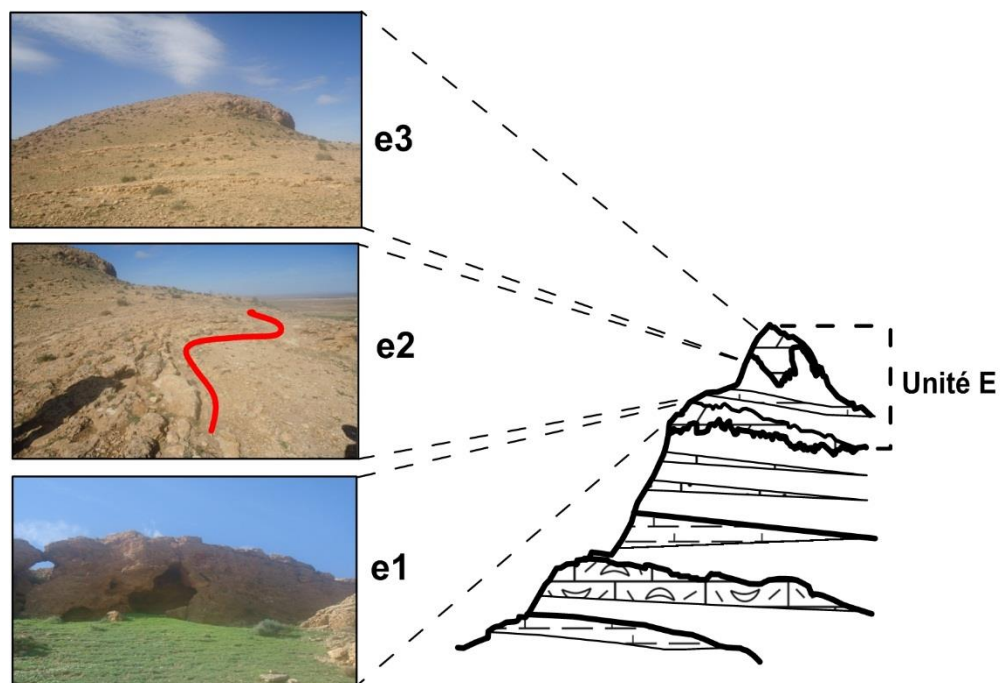


Fig 14 -Succession lithologique de l'unité D.

2.5. Unité 'E' (60m).

Correspond à la partie sommitale de notre Mont, qui peut être subdivisée en plusieurs parties qui se présentent comme suit :

- **Sous unité 'e1' et 'e3'** : limitent l'unité E, à la base et au sommet, par deux importantes masses dolomitiques alloctones d'épaisseur, respectivement, de 8m et plus de 20m, de couleur brunâtre. La formation **e3** représente la crête sommitale de la série de Seba El Hadid.
- **Sous unité 'e2'** : correspond à la partie médiane, qui est limitée, de bas en haut, par deux unités dolomitiques **e1** et **e3**. Cette partie se présente comme une l'alternance de calcaire marneux, massif, brunâtre, strato-croissant, plissé et de marnes brunâtres, de 21m d'épaisseur.(Fig15).



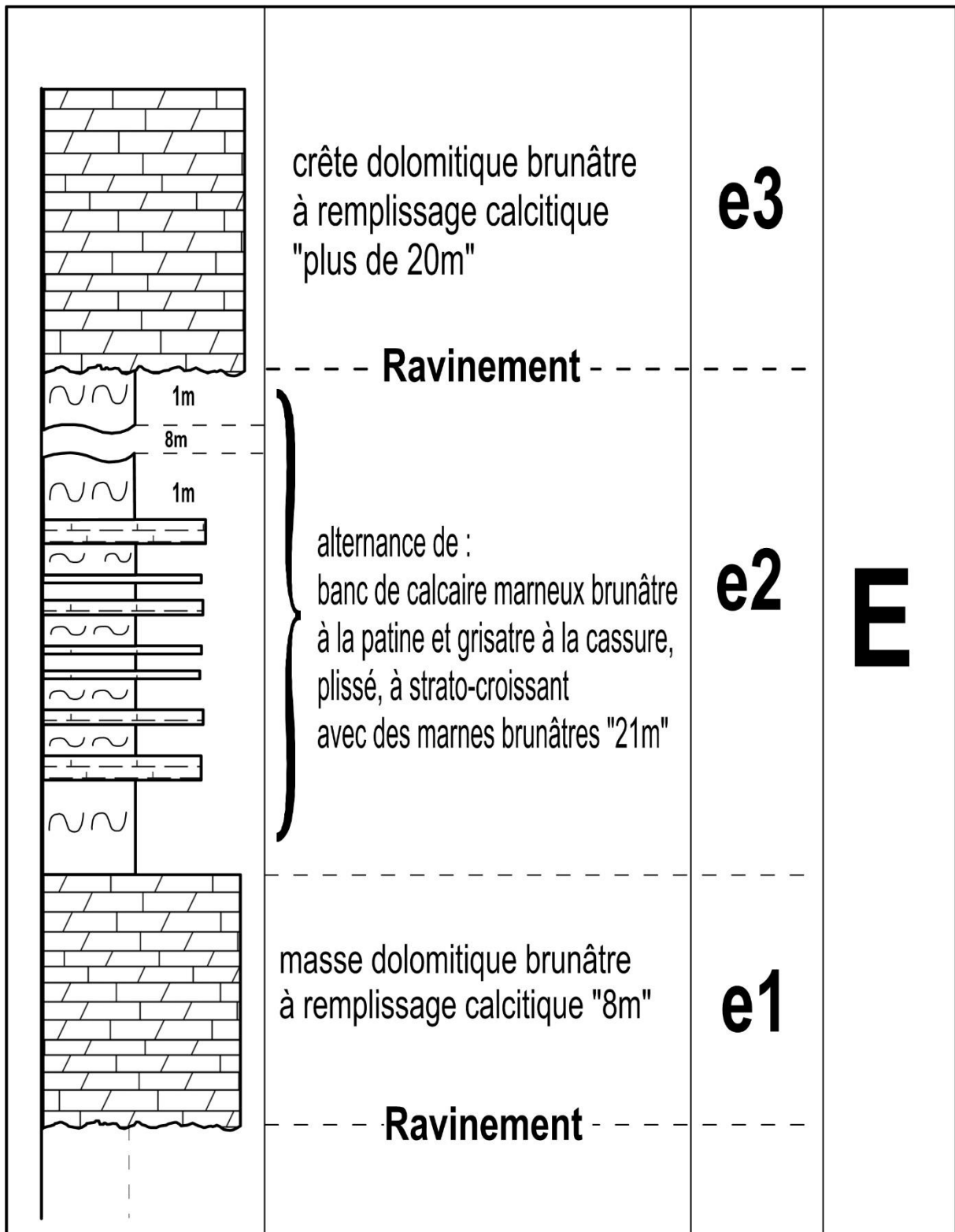


Fig15 -Succession lithologique de l'unité E.

3. Contacts anormaux.

Deux contacts anormaux ont été observés dans le secteur étudié, correspondant à un ravinement. Le premier contact marque la limite entre l'unité D et l'unité E, qui met en contact les dolomies Tithoniques avec les marnes Cénomano-turonniennes, le second, entre la crête dolomitique « e3 » et les formations marneuses de la partie médiane « e2 » de l'unité E (Fig16).

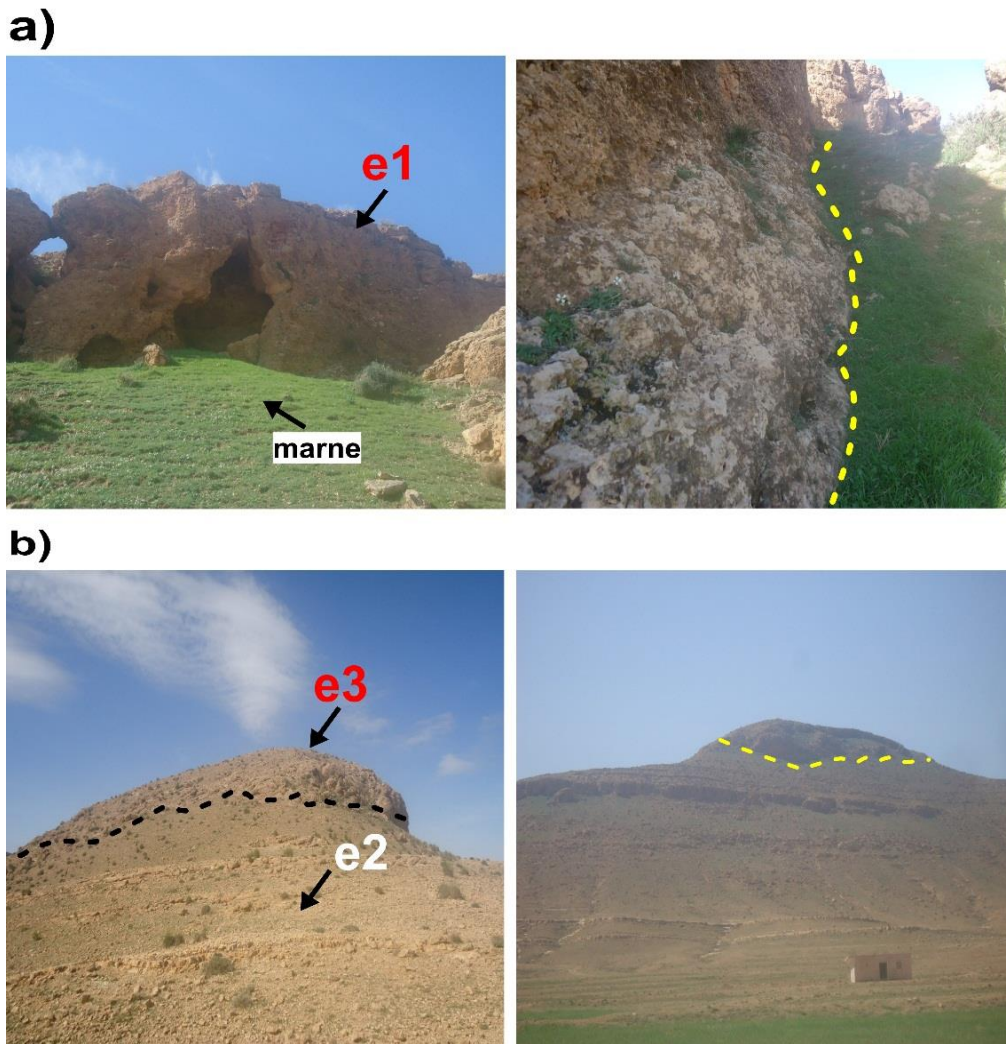


Fig 16 -Illustrations photographiques descontacts anormaux du secteur étudié.

(a) : contact entre les dolomies de la partie « e1, unité E » et les marnes de l'unité D.

(b) : contact entre les dolomies de la partie « e3 » et la partie « e2 » unité E.

Partie III.

Description de lithofaciès.

1. Introduction.

Cette troisième partie du chapitre est consacrée à l'étude des lithofaciès. Ce terme défini par Krumbien en 1948, p 1909, désigne la description des propriétés visibles de la roche en question, à savoir la couleur, l'épaisseur, le contenu etc... qui ne doit contenir aucune interprétation.

Pour cela, nous essayerons, dans cette partie, de décrire les principaux faciès observés dans cette série et de tenter, à travers ceux-ci et leur description lithologique, de réaliser une coupe synthétique qui englobe ces principaux faciès.

Et pour ce faire, trois principaux faciès ont été mis en évidence dans la coupe de Seba El Hadid :

- Faciès calcaire.
- Faciès marneux.
- Faciès dolomitique.

2. Description macroscopique.

2.1. Calcaires.

- **Sous faciès calcaire marneux.**

Correspond à des bancs de calcaires contenant un pourcentage d'argile qui est mal connu. Ils se manifestent presque sur toute la série de Seba El Hadid.

- **Sous faciès calcaire massif.**

Il a été bien observé dans les calcaires marneux et ils se présentent sous forme de bancs et de niveaux durs, généralement, brunâtres à la patine et jaunâtres à blanchâtres à la cassure, leurs épaisseurs sont comprises entre 20cm à 4m et ne présentent aucune structure sédimentaire ou contenu fossilifère. Ce faciès a été rencontré presque dans toute la série, mais il est beaucoup plus présent dans l'unité A, D et E et se répète d'une façon rythmique dans les autres unités sous forme d'horizons et des petits niveaux (Fig17).

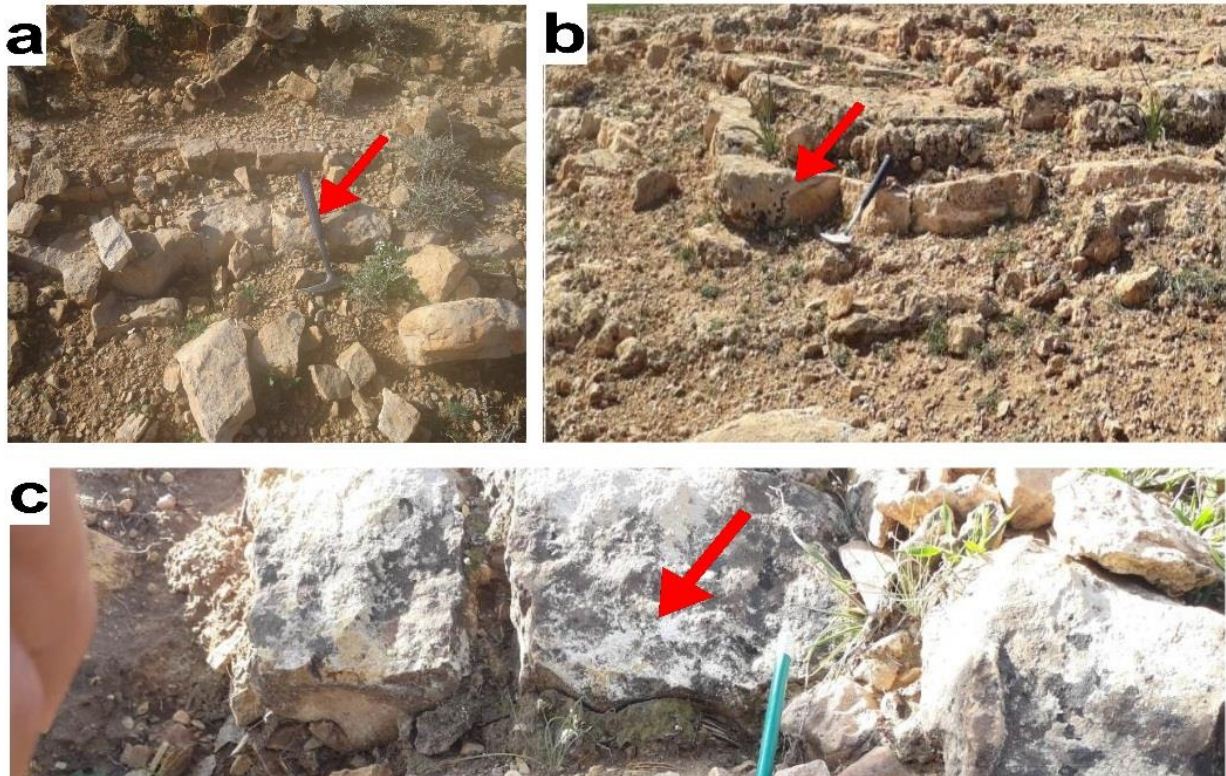


Fig17 -Illustrations photographiques des différents types de calcaires massifs.

(a) : calcaire marneux massif, localisé dans l'unité A. /(b) : calcaire marneux, localisé dans l'unité E. /(c) : calcaire massif localisé dans l'unité C.

- **Sous faciès calcaires fossilifères.**

Il n'a été observé que dans l'unité B, et il présente une richesse fossilifère marquée par des gastéropodes et des bivalves reconnus sur terrain formant des "dalles de fossiles" (Fig18), qui se présentent comme suit :

- **calcaires à gastéropodes et à traces de bivalves.**

Ce sont des bancs évidents d'ordre métrique, brunâtres, riches en fossiles de gasteropodes et de bivalves. On les trouve soit détachés du banc (Fig18a), soit enveloppés par des sédiments formant ainsi des dalles de fossiles (Fig18b).

- **calcaires à empreintes de bivalves.**

Présente un seul banc de calcaire marneux, observé à la base de l'unité B, de couleur jaunâtre à blanchâtre, riche en empreintes de bivalves de couleur blanchâtre, remplies de calcite présentant des formes variées (en rondelles, en demi-cercles etc...) (Fig18c).

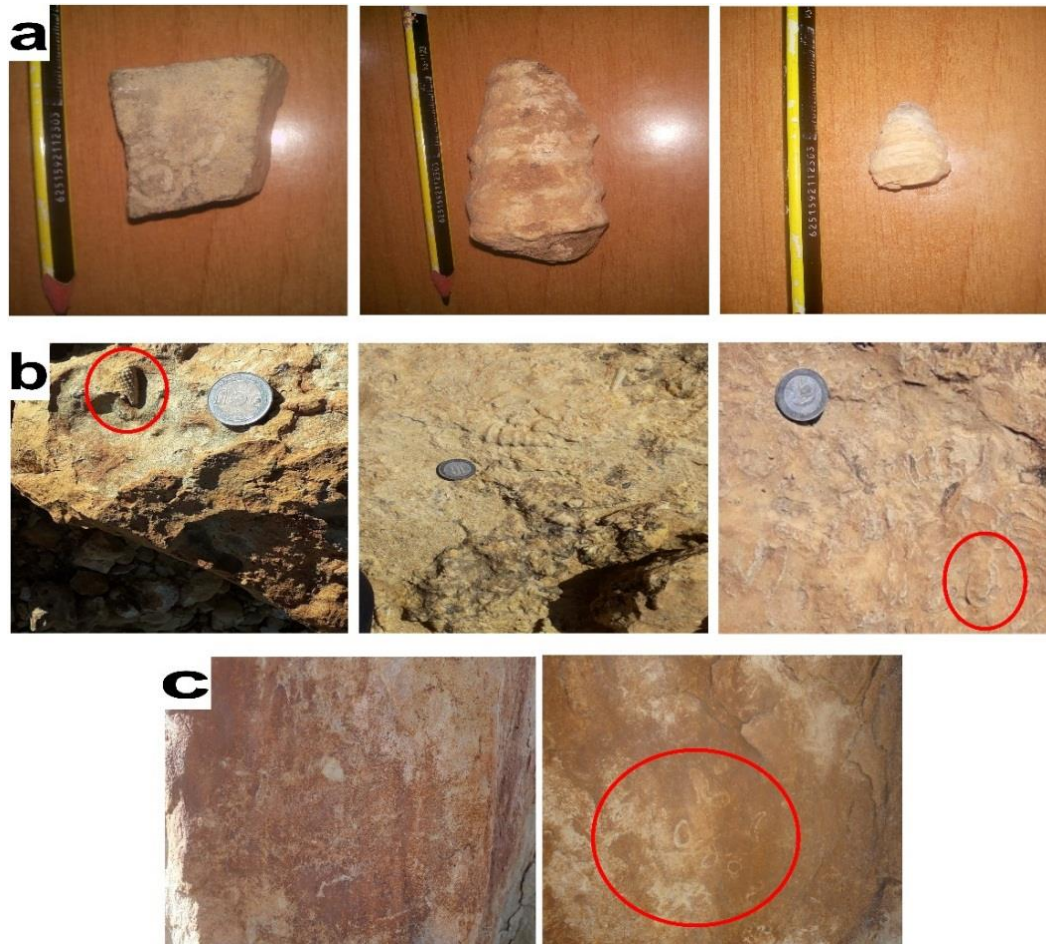


Fig18 -Illustrations photographiques des calcaires fossilifères.

(a) :fossiles. / (b) :dalles fossilifères. / (c) :empreintes de bivalves.

- **Sous faciès calcaires à figures de courant.**

Ce sous faciès est beaucoup plus répandu dans l'unité C. Il se présente dans les bancs de calcaire et les calcaires marneux, durs, de couleur variées, brunâtres, jaunâtres et blanchâtres, leurs épaisseurs sont comprises entre 20cm à 2m (Fig 19). Quelques figures sédimentaires ont été observées dans l'unité B associées aux bancs fossilifères. On distingue :

- **Calcaires à rides de courant (*Rippel marks*).**

S'observent en grande partie au sommet des bancs calcaires qui sont, en général, mal conservés (Fig19.a1), ils sont localisés, en grande partie, dans l'unité C. Notons qu'une seule figure de ride de courant a été observée à la base de l'unité B (Fig19.a2).

- **Calcaires à litages horizontaux.**

Localisés dans plusieurs niveaux de l'unité C, ils se présentent en bon état de conservation (Fig19b).

- **Calcaires à HCS (*Hummockey Cross Stratification*).**

Observés dans quelques bancs de calcaire de l'unité C, ils sont peu fréquents et mal conservés et se présentent dans un état presque dégradé (Fig19c).

- **Calcaires à Sols marks (*prods marks*).**

Correspondent probablement à des (*Prod marks*), localisés à la base de quelques bancs calcaires.

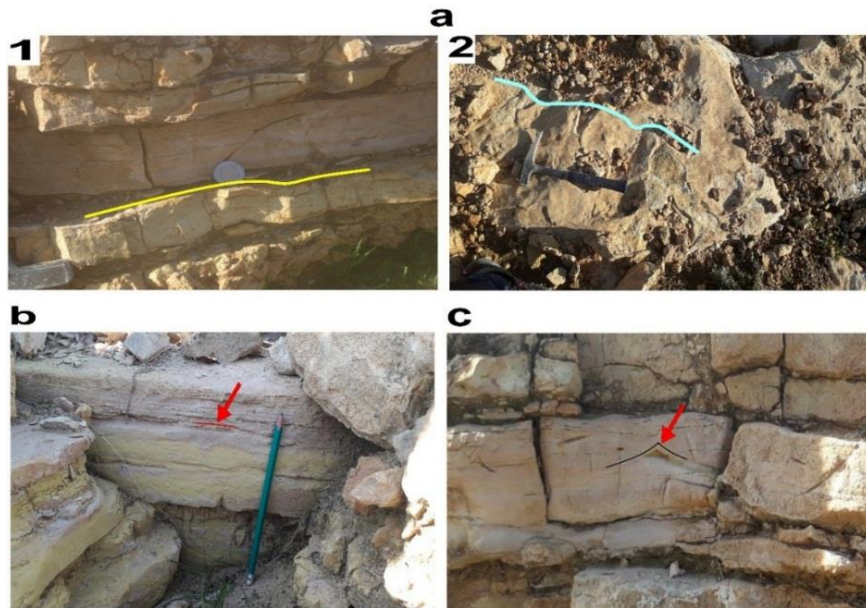


Fig 19– Illustrations photographiques des sous faciès à figures de courant.

(a1, a2) :rides de courant. /(b) :litages horizontaux. /(c) : *HCS (Hummockey CrossStratification)*.

• **Sous faciès calcaire gréseux.**

Correspond à un seul banc de calcaire contenant un pourcentage de grés, brunâtre, d'environ 1m d'épaisseur, localisé dans l'unité D.

2.2.Marnes.

• **Sous faciès marnes brunâtres.**

Correspond à des marnes qui se présentent d'une manière rythmique et continue, selon des épaisseurs variables (de quelques centimètres à des dizaines de metres) entre les bancs calcaires. Ces formations présentent un aspect friable et s'effritent au toucher, de couleur brunâtre. Ce sous faciès est présent dans toute la série et représente le faciès dominant de l'unité D qui atteint environ 40m d'épaisseur (Fig 20).



Fig 20 - Illustration photographique des marnes.

- **Sous faciès marnes verdâtres à moullage de bivalves.**

Correspond à une importante formation marneuse de 5m d'épaisseur, de couleur verdâtre, moyennement dure, présentant une certaine cohésion. Cette formation a révélé la présence de moules de bivalves enfouis dans les marnes. Elle est observée au sommet de l'unité C.

2.3. Faciès dolomitique.

Ce sont de puissantes masses de dolomies, à aspect, généralement, bréchique mal stratifiées, de couleur brunâtre, montrant une teneur notable en calcite blanche. Notons que ces masses correspondent à des unités allochtones déposées au sommet de la série de Seba El Hadid (Fig 21).



Fig21-Illustration photographique de la série sommitale des dolomies localisées dans l'unité E.

3. Coupe synthétique de la région de Seba El Hadid.

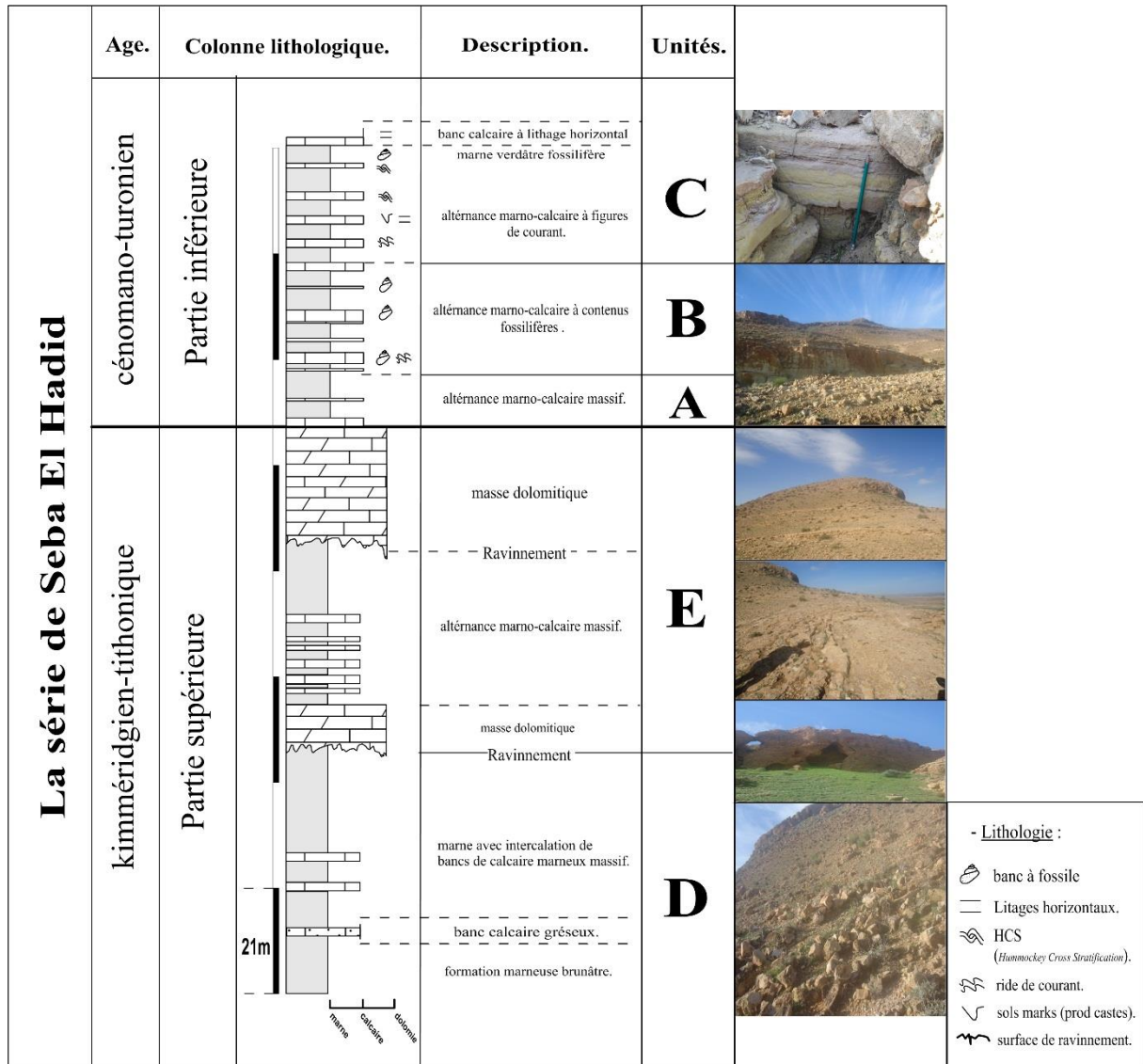


Fig 22 -Coupe synthétique englobant les différents faciès de Seba El Hadid.

4. Conclusion.

L'étude sédimentologique menée sur la série de Seba El Hadid, basée sur la description et l'identification des faciès ainsi que l'analyse de la succession verticale des différentes unités lithologiques a permis de réaliser une reconstitution organisationnelle objective de ces différentes unités lithologiques constituant cette série. En conséquence, la coupe géologique de Seba El Hadid a révélé la présence de deux parties distinctes ; une partie inférieure représentée par l'unité **A**, **B** et **C** constituée, principalement, de dépôts marno-calcaires qui s'alternent sur toute la partie inférieure. Les calcaires sont subdivisés à leur tour en plusieurs sous faciès; la partie supérieure, correspondant à l'unité sommitale allochtone composée de deux termes à savoir, un terme inférieur marneux correspondant à l'unité **D** et un autre supérieur, dolomitique, se rapportant à l'unité **E** marquée par une importante alternance marno-calcaire intercalée dans la masse dolomitique. Deux contacts anormaux de type ravinement séparent ces deux lambeaux dolomitiques des dépôts carbonatés sous-jacents.

Chapitre 3.

Milieu de dépôt&analyse séquentielle.

Introduction.

Ce chapitre est consacré à l'analyse des résultats de l'interprétation des faciès précédemment étudiés. A ce titre, il est considéré comme une étape déterminante de cette étude en ce sens qu'il nous permet de mettre en évidence le milieu et les conditions de dépôt ayant présidé à la formation de la couverture sédimentaire dans cette région. Ce qui constitue l'objectif principal de cette présente étude. Pour cela, nous avons utilisé des méthodes d'étude et d'analyse complémentaires à savoir, l'association des faciès, l'analyse séquentielle et celle des variations d'énergie de courants marins (hydrodynamisme).

A noter, cependant, qu'en l'absence de moyens d'étude approfondie principalement, les lames minces ainsi que le temps nécessaire à leur préparation, il n'a pas été possible de définir avec précision la zonation qui est un élément constitutif important de la caractérisation d'un milieu de dépôt. Néanmoins, nous avons pu, en nous appuyant sur l'ensemble des résultats d'interprétations, confortés par toutes les observations recueillies sur le terrain avec, aussi, l'apport des travaux antérieurs, émettre une thèse quant à la zonation plausible et réaliste caractérisant l'environnement de dépôt du Mont de Seba El Hadid et de la région.

Partie I.

Milieu de dépôt.

1. Interprétation des différents faciès du secteur d'étude.

1.1. Les sous faciès calcaires d'origines biogéniques.

1.1.1. Calcaires à gastéropodes et à bivalves.

Représentent des formations calcaires formées, essentiellement, d'accumulations de coquilles de gastéropodes et de bivalves et de la dissolution de la calcite qui forme les coquilles d'organismes; cette dissolution de la calcite, seule ou mélangée avec d'autres sédiments, va créer une boue calcaire qui enveloppe les squelettes des coquilles créant des formations carbonatées fossilifères. Cela indique, généralement, un milieu de dépôt peu profond.

- **Les gastéropodes.**

Correspondent à un groupe zoologique dont la majorité des organismes sont marins, surtout littoraux (peu profonds), mais parfois profonds. Certains s'adaptent bien à des milieux saumâtres ou en eau douce ; sur terre, vivent les pulmonés et quelques prosobranches (Groupes des gastéropodes).

- **Les bivalves.**

Les bivalves sont généralement marins, très rarement adaptés à la vie dans les eaux saumâtres ou douces. Ils peuvent être libres ou fixés. Dans ce dernier cas, les coquilles sont souvent très épaisses et déformées (Rudistes). Les Bivalves sont abondants dans les sédiments des mers peu profondes.

1.2. Les sous faciès à structures liées aux courants multidirectionnels.

1.2.1. Sous faciès de calcaires à litages obliques en mamelon (HCS).

Les HCS (*Hummockey Cross Stratification*) sont considérées comme figures les plus caractéristiques des dépôts de tempêtes (Harms, 1975). L'origine des HCS est très confuse. Plusieurs auteurs pensent qu'elles ont été engendrées par un écoulement oscillatoire ou combiné. Ces structures résultent ou sont liées aux dépôts de haute énergie. Elles sont dues à un courant multidirectionnel qui est déterminé par des événements exceptionnels (dépôts de tempêtes ou tempêtites) (Chamley, 2000) (Fig 23).

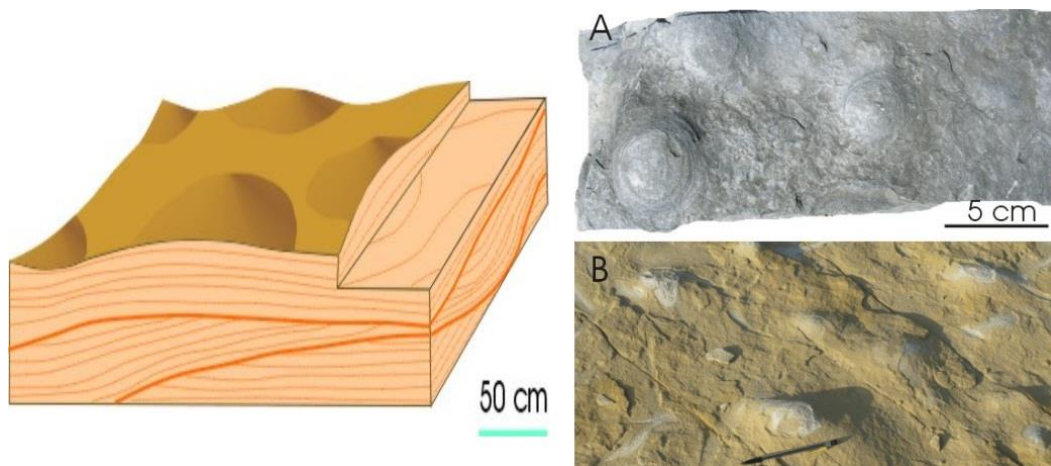


Fig 23 - Litages obliques en mamelons HCS (*Hummockey Cross Stratification*)(Boulvain, 2019).

1.3. Les sous-faciès à structures liées aux courants unidirectionnels.

1.3.1. Litages horizontaux.

Les litages horizontaux résultent d'un courant unidirectionnel du fond ayant exercé une action de traction et de classement des grains. Le flot est provoqué par un régime d'écoulement inférieur ou supérieur. Il est lié à un changement dans le mécanisme du transport. (Chamley, 2000).

1.3.2. Rides de courant.

Les rides de courant sont générées par l'action de courants unidirectionnels. L'asymétrie qui les caractérise permet donc de déduire le sens du courant : pente forte en aval, pente faible en amont. (Boulvain, 2019) (Fig24).

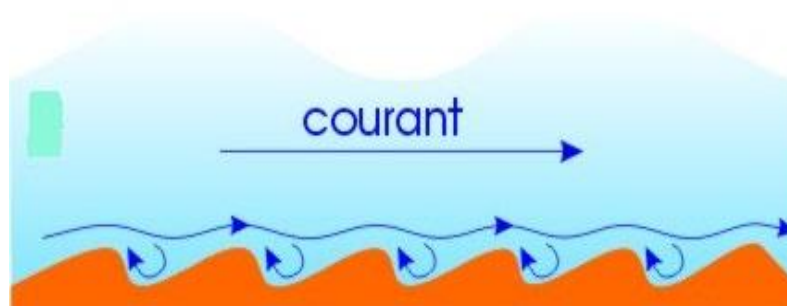


Fig24 -Formations des rides de courant (Boulvain, 2019).

1.4. Le sous-faciès calcaires à figures de courant.

1.4.1. Les figures d'érosion (*Prodsmarks*).

Sont des figures syn-sédimentaires, groupe des « *Scours marks* » qui résultent de l'affouillement des faces supérieures des bancs ou à l'intérieur de ceux-ci. Ils sont allongés et suivent la direction du courant (Boulvain, 2019) (Fig25).

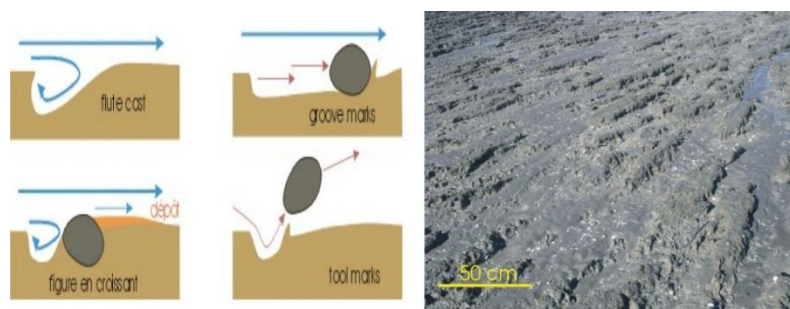


Fig 25 -Différents types de figures d'érosion à la base des bancs (Boulvain, 2019).

1.5. Calcaire massif.

Correspond à un sédiment d'aspect relativement homogène qui reflète une sédimentation rapide (Simpson et Erikson, 1990), pendant laquelle les structures primaires ont été détruites. L'indication de cet aspect est l'action de tempêtes dans un milieu de plate-forme (*Shoreface inférieur / Offshoresupérieur*) (Kumar et Sandres, 1976; Simpson et Erikson, 1990).

1.6. Faciès marneux.

Le faciès des marnes caractérise des dépôts dans un milieu calme dont le principal processus sédimentaire à l'origine de la mise en place de ce faciès est celui du dépôt par décantation qui s'effectue lorsque les actions hydrodynamiques interviennent peu et autorisent la chute lente des particules élémentaires vers le fond, sans transport horizontal ou oblique brutal.

1.7. Faciès dolomitique.

Les dolomies, en général, caractérisent un milieu, confiné, anaérobie, chaud et peu profond, qui se forment dans les endroits à forte salinité et sont soumises à des évaporations intenses, comme les Sebka et les petits lagons côtiers (J.McKenzie & C.Vasconcelos, 1987).

2. Association de faciès.

L'association des faciès est une étape importante pour mieux reconnaître et classer les différentes lithologies rencontrées sur les différents niveaux de la série étudiée ainsi que leur enchaînement vertical. En effet, cet enchaînement de faciès permet de déterminer d'une façon générale, le milieu de dépôt et les principaux facteurs géologiques qui ont conduit à leur sédimentation, en regroupant les faciès qui représentent les différents dépôts formés dans les mêmes conditions de sédimentation (notion de substitution latérale de faciès).

2.1. Quelques généralités.

2.1.1. Le milieu de dépôt.

Le milieu de dépôt est le résultat de l'accumulation de milliers de sédiments qui diffèrent physiquement, chimiquement et biologiquement des zones adjacentes, et qui sont contrôlés par un ensemble de facteurs climatiques, physiques, chimiques et topographiques. Il existe, également, d'autres phénomènes qui influent sur leur sédimentation telle que la subsidence, l'arrêt de sédimentation et l'eustatisme. Il existe dans la nature trois grands milieux de dépôts, le milieu continental, mixte et marin.

Notre région d'étude, est concernée par le milieu marin plus précisément, au niveau de la plate-forme carbonatée. Pour cela, certains auteurs ont proposé différents modèles de subdivisions du domaine marin parmi lesquels on peut citer :

- **Modèle de Wilson 1975.**

Le modèle de Wilson, 1975 (Fig26) est le modèle le plus utilisé pour l'interprétation des paléoenvironnements et la description sédimentologique des différentes zonations du milieu marin. Ce modèle englobe toutes les zones dans deux types de plate-forme marines, modèle de rampe carbonatée (Fig26a) et modèle d'une plate-forme carbonatée avec récif (Fig26b), commençant du rivage jusqu'aux grands fonds marins. Il est basé sur 24 standards microfaciés 'SMF' intégrés dans un système de 9 ceintures de faciès 'SFB', correspondant à des grands environnements de dépôt (Boulvain, 2019).

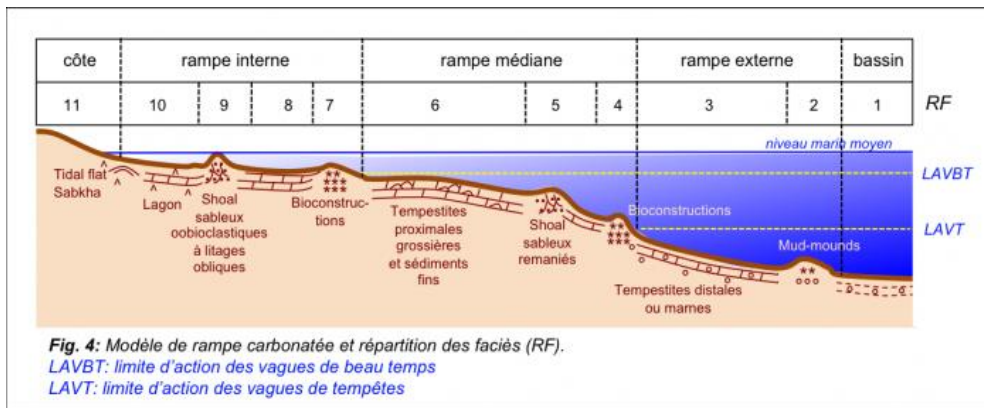


Fig (26a) - Modèle de rampe carbonatée.

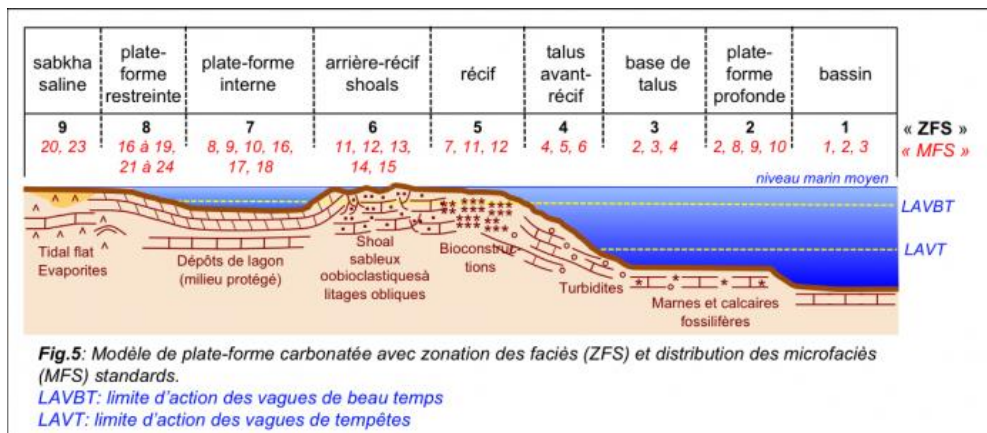


Fig 26- Les différents types de milieux marins selon le modèle de Wilson(1975).

Fig 26b - Modèle d'une plate-forme carbonatée avec barrière.

2.2. Application.

Les différents faciès et sous-faciès précédemment décrits et présentés dans le tableau ci-dessous (Tab 01), nous ont permis de constituer trois (03) associations.

Tab 01 -Tableau représentatif des différents faciès et sous-faciès de Seba El Hadid.

Code	Faciès	Code	Sous-faciès
A	Calcaire	1	calcaire marneux.
		2	calcaire massifs.
		3	calcaire à empreintes de bivalve.
		4	calcaire à gastéropodes et bivalves.
		5	calcaire à litages horizontaux.
		6	calcaire à <i>sols marks</i> .
		7	calcaire à rides de courant (<i>rippels marks</i>).
		8	calcaire à HCS (<i>Hummockey Cross Stratification</i>).
		9	calcaire gréseux.
B	Marne	1	marne brunâtres.
		2	marne verdâtre fossilifère.
C	Dolomie		

- **Association I.**

Représente les faciès de l'unité D d'âge Kimméridgien-Tithonique et regroupe :

- Lessous faciès **(B1)** « marnes brunâtres », **(A1)** « calcaires marneux », **(A9)** « calcaires gréseux », et **(A2)** « calcaires massifs ».

La sédimentation est caractérisée par de puissantes formations marneuses qui peuvent atteindre quelques dizaines de mètres ; cela indique un milieu calme, loin de la zone des balancements des marées, une sédimentation de décantation, sous une tranche d'eau relativement importante, mais, qui reste, néanmoins, dans un milieu peu profond de plate-forme interne (Wilson, 1975).

La sédimentation dans cette unité est caractérisée par l'absence du rythme d'alternance remplacé par des passages de quelques bancs de calcaires massifs reflétant un changement rapide et court de l'hydrodynamisme. La présence d'un seul banc calcaire gréseux reflète un apport détritique faible ou interrompu par des phénomènes extérieurs (biseautage?). Selon le modèle de zonation, ces faciès caractérisent la zone Infratidale.

- **Association II.**

Cette association regroupe les faciès de l'unité E, représentant un autre dépôt d'âge Kimméridgien-Tithonique selon Caratini (1970) et, elle est caractérisée par :

- le faciès **(C)** « dolomies » et les sous faciès **(B1)** « marnes brunâtres », **(A2)** « calcaires massifs » et **(A1)** « calcaires marneux ».

Les dolomies représentent le faciès principal de cette unité qui caractérise le sommet du secteur d'étude, avec des épaisseurs importantes. En effet, ces dolomies sont légèrement calcaires par endroits ; celles-ci sont indicatrices d'un milieu confiné, peu profond (quelques mètres), chaud et d'une zone d'évaporation intense reflétant, sans doute, une plate-forme peu profonde et restreinte (Supratidale) ; tandis que l'alternance marno-calcaire caractérise une plate-forme, peu profonde (zone Intertidale).

- **Association III.**

Cette association regroupe l'unité A, B et C d'âge Cénomano-Turonien se représentant comme suit :

l'unité A :

- Les sous faciès **(A2)** « calcaires massifs », **(A1)** « calcaires marneux », **(B1)** « inter-bancs marneux brunâtres ».

Cette unité caractérisée par l'alternance marno-calcaires à aspect massif, indique que : L'énergie du courant d'eau est moyennement forte, sous une tranche d'eau peu profonde et une rythmicité des faciès indiquant un milieu ouvert. Selon le modèle standard de plate-forme carbonatée de Wilson (1975), ces faciès se sont déposés dans la zone Intertidale.

Unité B :

- Les sous faciès **(A3)** « calcaires à empreintes de bivalves », **(A7)** « calcaires à rides de courant », **(A1)** « calcaires marneux », **(A4)** « calcaires à gastéropodes et à bivalves », et **(B1)** « inter-bancs marneux brunâtres ».

Les sous faciès dans cette unité s'organisent en alternance rythmique et régulière de bancs et d'inter-bancs à des épaisseurs moyennes. Ce groupement de faciès est caractérisé par une richesse en fossiles (gastéropodes et bivalves) qui sont des organismes marins, généralement, benthiques caractérisant les sédiments marins peu profonds. Les figures sédimentaires sont presque introuvables sauf quelques rides de courant associées avec le faciès calcaire à bivalves à la base de l'unité B. Cela indique, selon le modèle de Wilson (1975), que ce milieu est caractérisé par un régime, généralement, faible à moyen et fort dans certains endroits, sous une tranche d'eau peu profonde et un milieu ouvert marqué par l'alternance de faciès marno-calcaires propres à un milieu de plate-forme carbonatée interne. Et selon la zonation de la plate-forme, cette association caractérise le milieu Intertidal.

Unité C :

- Les sous faciès **(A5)** « calcaires à litages horizontaux », **(A1)** « calcaires marneux », **(A6)** « calcaires à *sols marks* », **(A7)** « calcaires à rides de courant », **(A8)** « calcaires à HCS », **(B2)** « marnes verdâtres fossilifères », et **(B1)** « marnes brunâtres ».

Selon Wilson (1975), les caractéristiques principales de cette unité correspondent à un milieu de plate-forme à forte énergie, les faciès sont soumis beaucoup plus aux balancements des marées (rides de courant), leur organisation est soulignée par des alternances rythmiques et

régulières de bancs calcaires et d'inter-bancs marneux à des épaisseurs moyennes à faibles, caractérisant un milieu ouvert et peu profond correspondant à la zone Intertidale.

3. Milieu de dépôt.(Fig 27)

- Le kimméridgien inférieur et le Jurassique terminal.

«La mer reste en phase de régression permettant le dépôt des faciès caractéristiques du milieu de plate-forme comme les calcaires oolithiques, graveleux alternant avec des marnes. Notant que ces derniers ont été transformés en dolomies métasomatiques, observés à l'Ouest, beaucoup plus dans le Nador-Chellala suite au phénomène de dolomitisation »(Caratini, 1970).

L'enchaînement des faciès «marnes / dolomies / alternance marno-calcaires/ dolomies » ainsi que le phénomène de dolomitisation, indiquent sans doute un balancement instable et irrégulier du niveau de la mer reflétant une tendance vers le continent, plus précisément, d'une plate-forme profonde (infratidal) en déposant l'association (I) à une plate-forme restreinte et confinée (supratidal) déposant l'association (II).

Notons que les dolomies de Nador-Chellala, y compris celles de Seba El Hadid, sont à la base des calcaires primaires, transformés partiellement au cours du temps en dolomies (phénomène de dolomitisation) par des processus physico-chimiques et environnementaux complexes.

- Le crétacé supérieur.

«Un changement radical caractérise cette période, après les assises continentales déposées au Crétacé inférieur, une transgression générale s'installe dans la région de Chellala nommée, transgression Cénomaniennne »(Caratini, 1970).

A partir de l'ensemble des lithologies relevées dans la partie inférieure de Seba El Hadid et selon le regroupement des différents faciès et d'après les études de Caratini, 1970, la partie inférieure est caractérisée par un début de l'envahissement de la mer, après avoir été un milieu de dépôts continentaux. L'ensemble des faciès relevés dans la partie inférieure reflètent un milieu peu profond et ouvert, l'abondance fossilifères et les figures d'hydrodynamisme dans les dépôts carbonatés ne peuvent indiquer qu'un milieu marin dynamique et agité caractérisant la zone intertidale de la plate-forme interne.

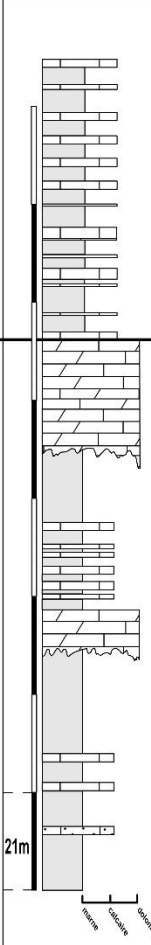
La série de Seba El Hadid	Age.	Colonne lithologique.	Unités.	Associations.	Milieu de dépôt.						
	cénomano-turonien				Partie inférieure	Plate-forme interne	caractéristiques générales.		Hydrodynamisme.		Zonc.
							Fossile	F. de courant	Faible	Moyen	
kimméridgien-tithonique	Partie supérieure		C	III	Plate-forme interne	moules de bivalves dans les marnes verdâtres.	Riche en figures de boules et d'agitations.	↑	Intertidal		
						Riche en fossiles benthiques Gasteropodes & Bivalves.	Quelques rides de courants à la base de l'unité B.				
						Alternance marno-calcaire					
			E		II	Dolomies calcaifères	↑	Supratidal			
						Alternance marno-calcaire		Intertidal			
D	I	Dolomies calcaifères	↑	Supratidal							
		Puissantes formations marneuses		Infratidal							

Fig 27 - Colonne synthétique des différents milieux de dépôt de Seba El Hadid.

Partie II.

Analyse Séquentielle.

1. Introduction.

C'est la partie finale de l'étude sédimentologique. Elle est consacrée à l'analyse de l'enchaînement des différentes lithologies reconnues dans le secteur d'étude afin d'essayer, à travers les milieux de dépôt préalablement définis, de déterminer des séquences selon les changements de lithologies qui se présentent soit, par un décalage stratigraphique des strates (discontinuité ou discordance) soit, par un changement direct de lithologie ou de faciès. Cette analyse permet de reconnaître le type de la séquence et de reconstituer les importants événements naturels, tectonique et sédimentation, qui ont affecté le milieu de dépôt durant sa formation.

2. Généralités.

2.1.La Séquence.

Une séquence de dépôt est composée d'un enchaînement plus ou moins concordant de strates génétiquement liées, limitées à la base et au sommet par des surfaces de discordance ou leur équivalent concordant latéral (MITCHUM et al.1977, in C. Colombié, 2013).

2.2.La discordance.

Une surface de discordance est une surface d'érosion ou de non-dépôt qui sépare des strates plus jeunes de roches plus vieilles et qui représente un hiatus important (MITCHUM et al.1977,in C. Colombié, 2013).

2.3.La discontinuité.

Les surfaces de discontinuité résultent d'un changement rapide de lithologie et/ou de faciès, de la diagenèse et/ou de l'apport d'argiles (CLARI et al.1995; HILLGÄRTNER, 1998; STRASSER et al.1999). Leur signification traduit une interruption dans l'enregistrement sédimentaire (HEIM, 1924; HILLGÄRTNER, 1998) et en terme de changements environnementaux (C. Colombié, 2013).

2.4. L'eustatisme.

Correspond aux variations du niveau marin et des océans, liées à divers phénomènes naturels, et on cite :

- Eustatisme de long terme (tectono-eustatisme, 1er et 2ème ordre) qui dépendent en grande partie de la vitesse d'expansion des fonds océaniques et, en moindre proportion, sont la

collision des continents, la subduction des plaques océaniques, le magmatisme sous-marin et le remplissage sédimentaire.

- Les variations du niveau marin eustatique de court terme (glacio-eustatisme, du 3ème au 6ème ordre), sont liées aux variations des paramètres orbitaux de la Terre. Les variations de la précession, de l'obliquité et de l'excentricité entraînent des changements climatiques (VAIL et al.1991 in C. Colombié, 2013).

3. Application.

3.1. Coupe Synthétique. (Fig28).

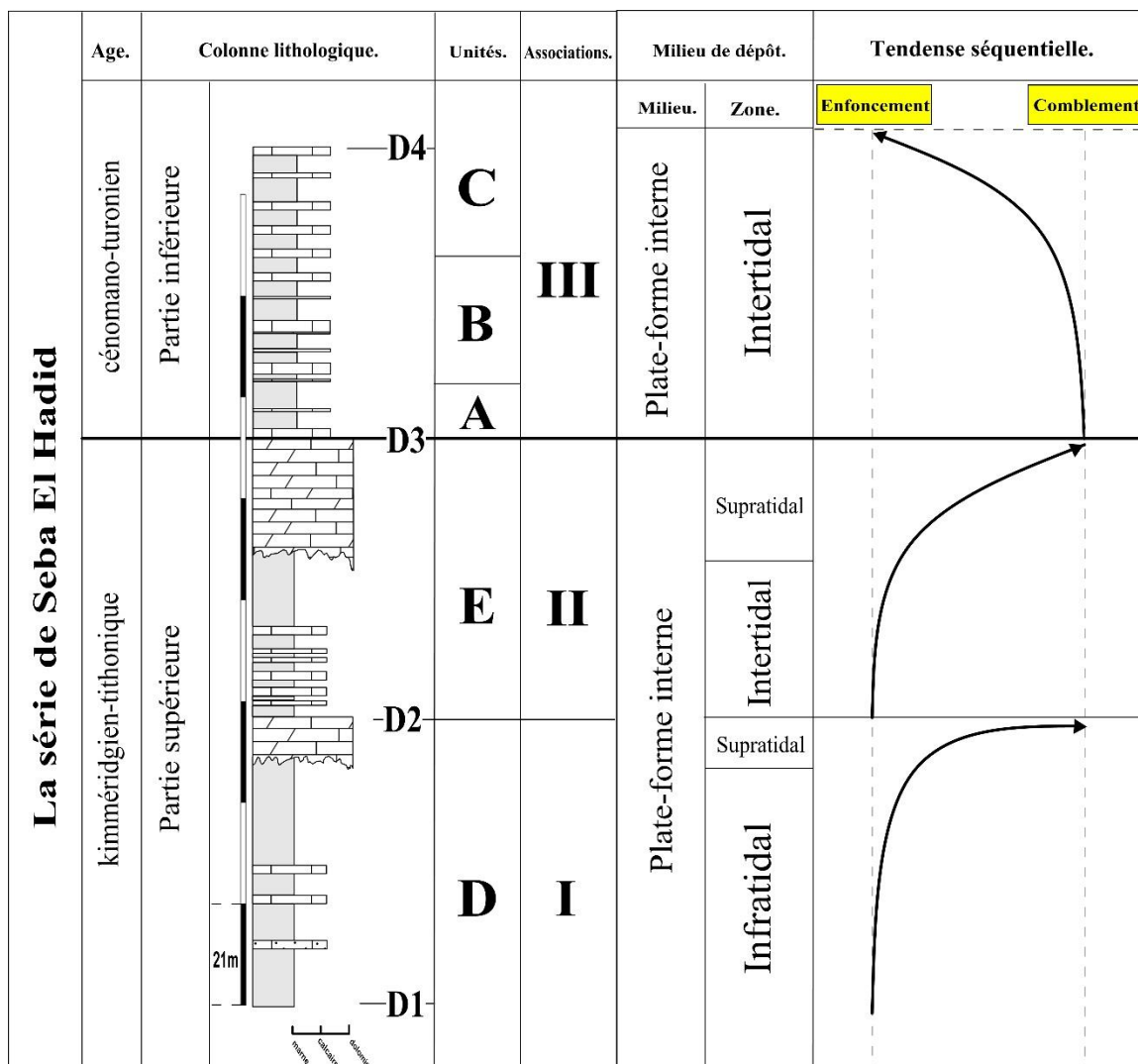


Fig 28 - Coupe de Djebel Seba El Hadid.

3.2. Les discontinuités.

Les discontinuités dans le secteur d'étude sont matérialisées par un changement lithologique d'une part, et par des surfaces d'érosion ou de ravinement, d'autre part. Il s'agit respectivement du passage franc entre les faciès définis précédemment à savoir, les calcaires / marnes de la partie inférieure datée du Cénomano-Turonien aux dolomies / marnes de la partie supérieure datée du Kimméridgien-Tithonique.

- **D1:** elle marque la base de la série d'étude. Il s'agit du début du Kimméridgien-Tithonique comportant une puissante série marneuse dans la série de Seba El Hadid.
- **D2:** elle coïncide avec la première surface d'érosion ou de ravinement marquée par l'installation du premier paquet dolomitique allochtone sur les marnes inférieures.
- **D3:** il s'agit de la limite entre le Kimméridgien-Tithonique marqué par l'installation du deuxième paquet dolomitique et le Cénomano-turonien représenté par des assises marno-calcaires.
- **D4:** coïncide avec la fin de la partie Cénomano-Turonienne correspondant à des assises marno-calcaires.

3.3. Les séquences.

La série de Djebel Seba El Hadid peut-être subdivisée en trois séquences, les deux premières séquences sont constituées par une succession de deux termes principaux, un terme inférieur à dominance marneuse et un terme supérieur carbonaté représenté par des dolomies pour les deux séquences (SEH1) et (SEH2). Cependant, concernant la troisième séquence (SEH3), elle est formée principalement de dépôts marno-calcaires.

Ce sont, généralement, des séquences d'ordre 3 au sens de (Delfaud, 1974) et de (Kazi-Tani, 1986). Il s'agit d'une sédimentation silico-alumineuse de transition, interrompue par l'installation d'épisodes carbonatés représentés par des calcaires et des dolomies.

a. Séquences (SEH1) et (SEH2).

Elles correspondent à la partie sommitale ou supérieure de notre série d'étude, marquée par un terme inférieur marneux déposé par décantation dans un milieu calme et profond et un terme supérieur marqué par le déplacement et l'installation d'une puissante série carbonatée représentée par des calcaires et des lambeaux dolomitiques résistants justifiant l'individualisation de ce paquet.

b. Séquences (SEH3).

Cette séquence correspond à la première partie de la série étudiée, marquée par des dépôts calcaires, généralement, marneux qui s'inscrivent dans une phase d'enfoncement déposés par précipitation chimique dans un milieu énergétique et peu profond indiquant une légère augmentation du niveau marin et expliqué par la présence de quelques faunes notamment, des bivalves et des gastéropodes. Les *HCS (Hummockey Cross Stratification)* ainsi que des litages horizontaux et des rides de courant qui témoignent de l'importance de l'hydrodynamisme.

4. Conclusion.

Les séquences de troisième ordre définies dans le secteur d'étude reflètent deux régimes, le premier regroupe les deux séquences du Kimméridgien-Tithonique traduisant un comblement général et la troisième séquence du Cénomano-Turonien traduit un régime d'enfoncement.

Pour la série supérieure du Kimméridgien-Tithonique,celles-ci sont significatives d'un mécanisme physique reflétant une diminution de l'énergie dans un milieu marin peu profond (plate-forme interne), tandis que, la partie inférieure de la série montre une dynamique et une agitation relative à un milieu de plateforme peu profond.

L'épaisseur métrique de ces séquences traduit l'importance des corps déplacés et de la tectonique qui a affecté cette région pendant cette période dans les Monts de Chellala au moins dans le secteur de Seba El Hadid.

Chapitre 4.

Origine de la klippe. Apport de la Télédétection.

1. Introduction.

La carte géologique est un instrument de reconnaissance géologique important. Elle est basée sur l'identification et la reconnaissance lithologique des formations affleurant à la surface, qu'elles soient sédimentaires, magmatiques ou métamorphiques ainsi que les éléments tectoniques tels que les failles et les linéaments.

Cependant, son établissement constitue une mission souvent très difficile, eu égard à la complexité et l'étendue des reliefs de la région à étudier dont les Monts de **Seba El Hadid** et de **Ben Hemad**.

A cet effet, la télédétection permet de surmonter cette contrainte liée à la difficulté d'accessibilité des terrains et rend possible leur description en tant que méthode moderne basée, essentiellement, sur l'étude à distance des objets ou des phénomènes, en utilisant les propriétés spectrométriques des différents éléments constitutifs des terrains à étudier.

Pour ce faire, Nous avons adopté les méthodes d'analyses des données satellitaires pour la caractérisation des formations de Seba El Hadid et d'en préciser l'affinité géologique.

2. Objectifs.

Pour réaliser ce travail et compléter l'étude géologique de notre région, des objectifs bien précis ont été tracés dans le but d'améliorer et de renforcer les résultats obtenus dans les études précédentes, et sont formulés comme suit :

- Reconnaissance et caractérisation spectrale des terrains correspondant à notre secteur d'étude par imagerie satellitaire.
- Comparer et corréler les résultats obtenus sur terrain par l'échantillonnage avec ceux obtenus par la télédétection.
- Associer les données géologiques obtenues par l'étude précise et détaillée de la lithologie de notre terrain aux résultats obtenus, pour prouver l'origine de la klippe de Seba El Hadid.

3. Matériels et méthodes.

3.1. Matériel et données utilisés.

- **Données satellitaires.**

L'étude s'appuie principalement sur l'image satellitaire p196, r036 de LandSAT 8 OLI couvrant la région de Chellala et acquise le 26/06/2018 (Fig29).

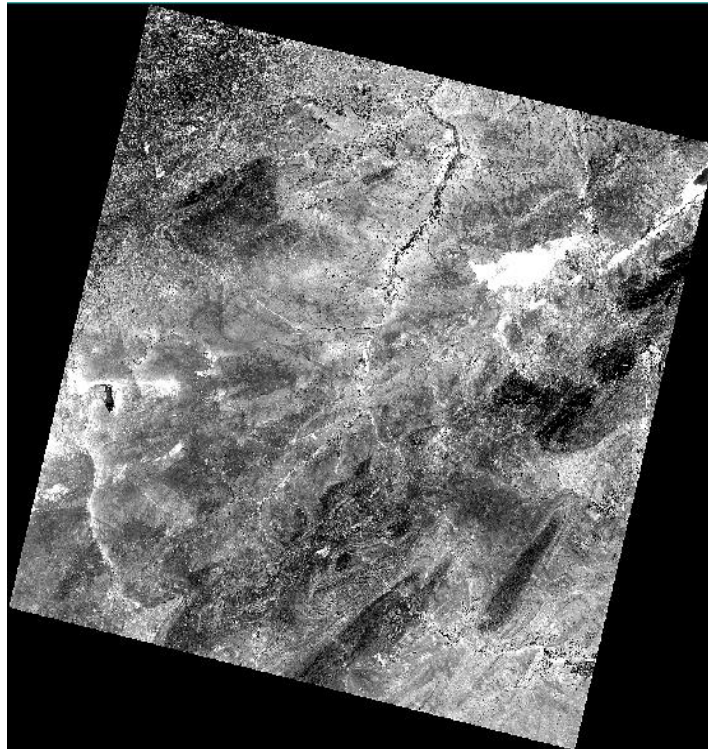


Fig 29 - Scène (p196, r036) de LandSAT 8 OLI acquise le. 26/06/2018.

- **Données géologiques.**

Elles sont représentées sous forme de cartes lithostratigraphiques et structurales à l'échelle 1/50 000ème, effectuée de 1963 à 1966, accompagnées d'une coupe lithostratigraphique, par Caratini (1970).

Ces données nous permettent d'élargir notre perspective sur la région, en suivant l'enchaînement des différentes lithologies au cours de l'histoire géologique de notre région et serviront aussi de vérité terrain lors de l'échantillonnage par analogie avec l'image réelle.

- **Le logiciel.**

L'ENVI (The Environment for Visualizing Image) élaboré par la société (ITTVIS) est un logiciel utilisé par les chercheurs et les scientifiques spécialistes de l'analyse d'images pour traiter et analyser les images géospaciales. Le logiciel ENVI 5.2 présente une simplicité de

manipulation à l'utilisateur et intègre les dernières technologies de traitement et d'analyse d'images qui permet d'extraire rapidement et facilement les informations pertinentes à partir des images.

3.2.Méthodologie.

Avant d'entamer l'étude cartographique résumée dans l'organigramme ci-dessous (Fig30), des traitements préliminaires sont effectués sur l'image brute, à savoir :

- Intégrer les images satellitaires brutes dans le logiciel qui se présentent sous forme de bandes spectrales.
- Faire un **Layerstacking** qui permet de regrouper toutes les bandes multispectrales dans un seul fichier et de les réordonner.
- Faire un **Resize**, c'est-à-dire, recouper la scène juste sur le terrain qui porte l'objet d'étude en l'occurrence, Mont de Seba El Hadid (Fig 31).

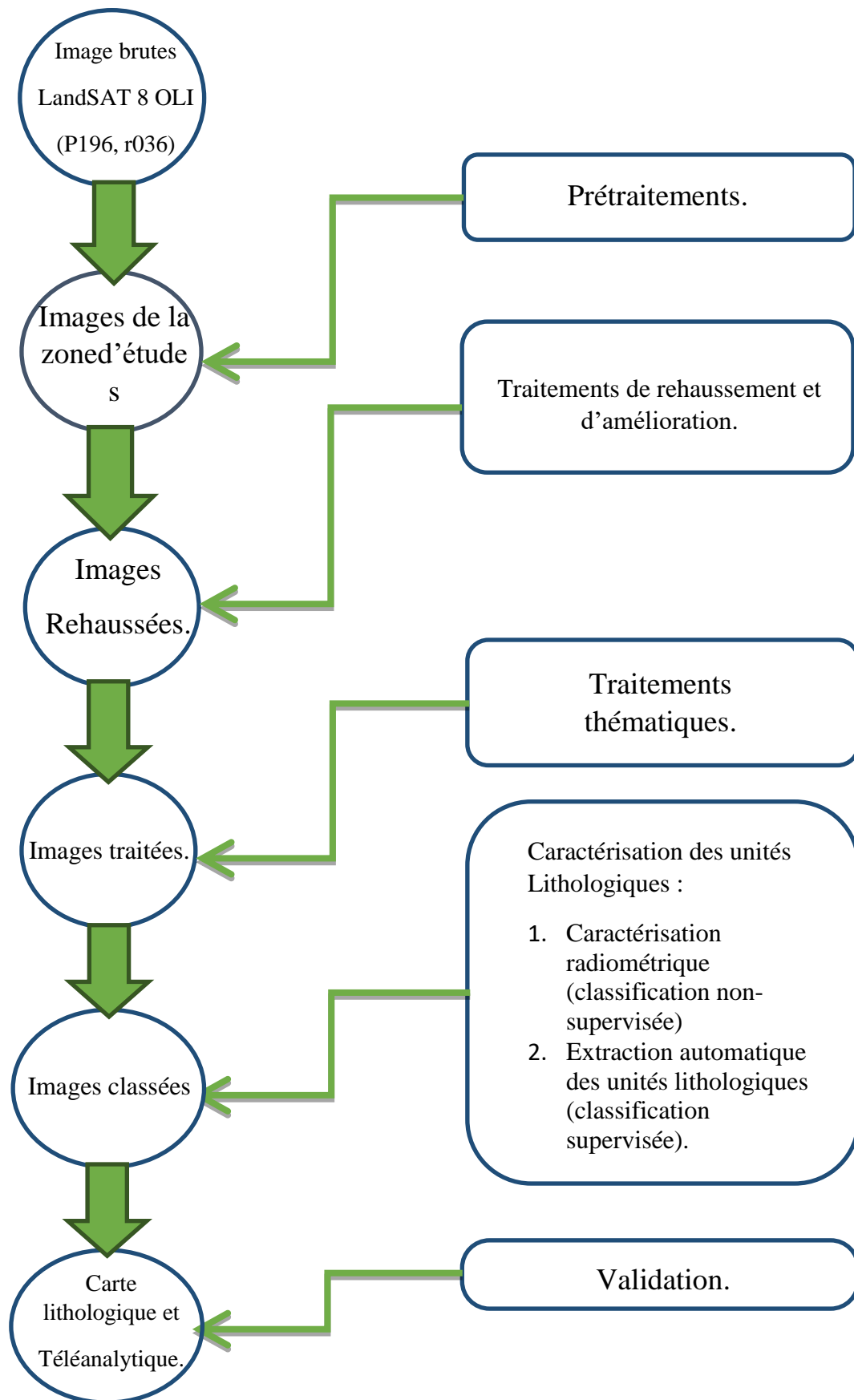


Fig 30 – Présentation de la méthodologie du travail.

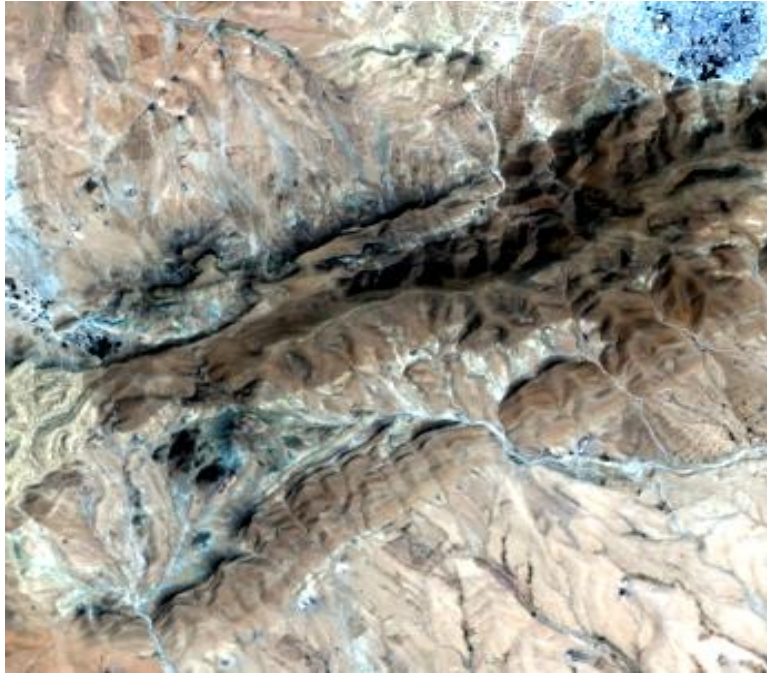


Fig 31 - Image brute obtenue du satellite landSAT8 OLI (p196, r036).

Partie I.

Traitement d'image.

1. Traitement d'amélioration ou de rehaussement.

C'est un renforcement du contraste et d'amélioration de la visualisation de l'image qui s'applique à une seule bande de données. Plusieurs effets sont proposés par ENVI pour bien représenter l'image à savoir, l'étalement linéaire, linéaire 0-255, linéaire 2%, par Equipopulation, Gaussien et racine carré (Hammad, 2016).

Pour notre présente étude, nous avons appliqué plusieurs étalements dans le but de distinguer les différentes structures et formations de notre terrain (Fig32).

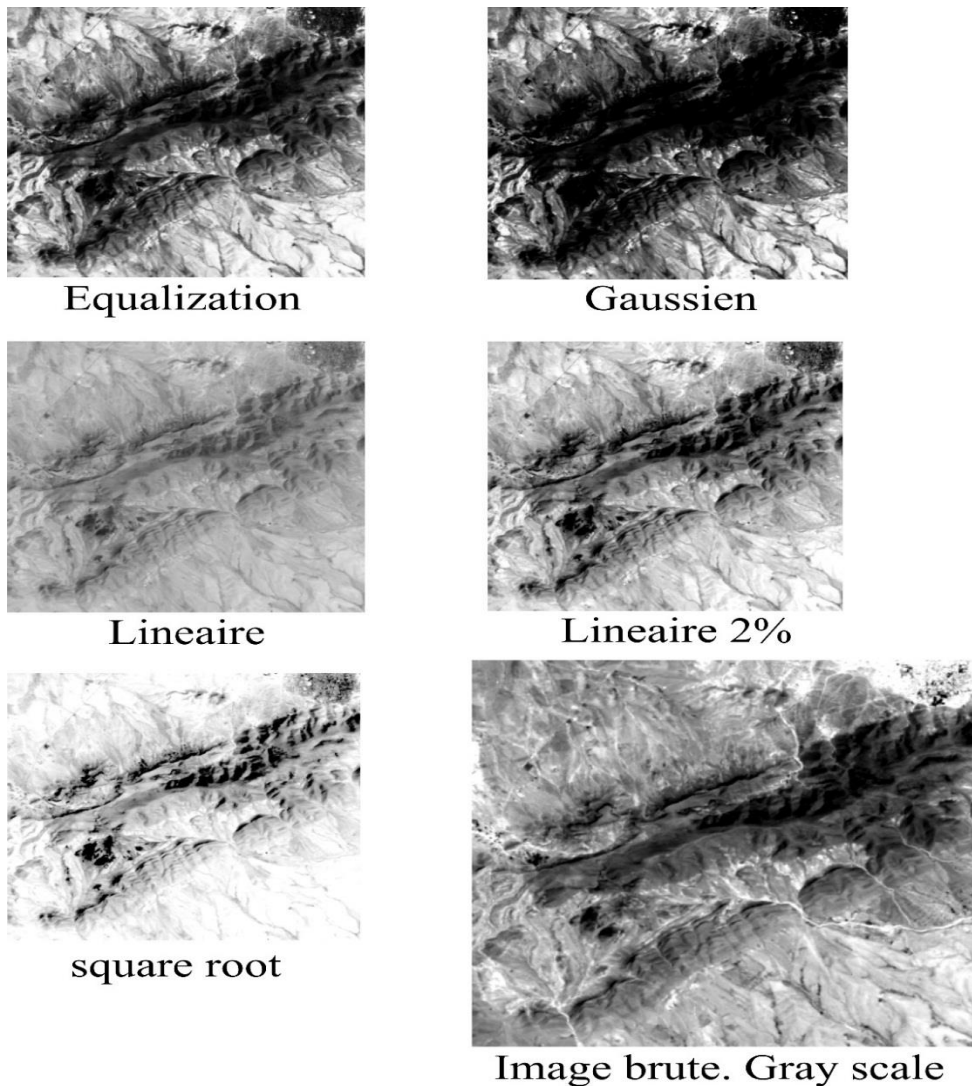


Fig 32 - Traitement de rehaussement d'image.

2. Traitements thématiques.

Ces traitements reposent sur un ensemble de techniques de transformation d'image ayant pour but la création de nouvelles bandes spectrales (néocanaux) où l'information spectrale des bandes brutes est modifiée. Citons entre autres, l'ACP (Analyse en Composantes Principales), transformation HSV (Hue Saturation value), les filtres texturaux et spatiaux etc... (Hammad, 2016). La transformation d'image génère une nouvelle image en combinant les différentes bandes de manière à optimiser certaines caractéristiques ou propriétés des acquisitions sur les bandes originales brutes dont les images moins évidentes.

2.1. Compositions colorées.

La variété des canaux Landsat OLI 8, nous offre une multitude de choix pour réaliser les combinaisons tertiaires RVB. Cependant, il arrive que ces combinaisons soient très corrélables, c'est-à-dire que l'information portée se répète dans plusieurs bandes. Pour échapper à cette répétitivité et choisir les compositions RVB les plus importantes, une étude statistique pour les six bandes de même résolution spatiale (OLI 2, 3, 4, 5, 6 et 7) est effectuée. Ainsi, le coefficient de corrélation ou la matrice de corrélation des six bandes et leurs déviations standards est calculé (Hammad, 2016).

Les meilleures compositions colorées obtenues correspondent aux combinaisons de trois bandes les moins corrélées entre elles (Tab2).

Elle consiste à bien visualiser et discriminer les différentes structures et lithologies de l'image spectrale en changeant, au fur et à mesure, la composition colorée **RGB color** (R : red, G : green, B : bleu). Il va en résulter, à chaque fois, des images à différentes couleurs ; chaque couleur représente une lithologie dans la réalité qui est distincte du reste des couleurs (lithologies) constituant l'image.

Dans notre cas, les images obtenues des compositions colorées (RGB) étaient bonnes et la discrimination entre les différentes lithologies étaient délicates en raison de la ressemblance des lithologies constituant le terrain étudié, composé, essentiellement, de dépôts carbonatés tels que **les dolomies, calcaires, marnes, argiles et grès**, résultant de la fusion de quelques lithologies (faciès) dans d'autres.

Tab 2 - Tableau descriptif des corrélations des bandes.

	Bande 1	Bande 2	Bande 3	Bande 4	Bande 5	Bande 6	Bande 7	Bande 8
Bande 1	aérosol (non-utile).							
Bande 2		1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98
Bande 3		0,99	1	0,99	0,98	0,98	0,99	0,97
Bande 4		0,99	0,99	1	0,99	0,98	0,99	0,98
Bande 5		0,98	0,98	0,99	1	0,99	0,98	0,97
Bande 6		0,97	0,98	0,98	0,99	1	0,97	0,96
Bande 7		0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	1	0,97
Bande 8		0,98	0,97	0,98	0,97	0,96	0,97	1

Combinaisons entre les bandes				
	Normale	Moyennes	Bonnes	Très bonnes.

- **Interprétation.**

Image (RGB 678) (Fig33).

Nous avons choisi la meilleure composition qui nous a fourni le maximum de détails sur la lithologie du terrain ; cette image est obtenue en attribuant la bande OLI6 dans le rouge, bande OLI7 dans le vert et la bande OLI8 dans le bleu, et on distingue :

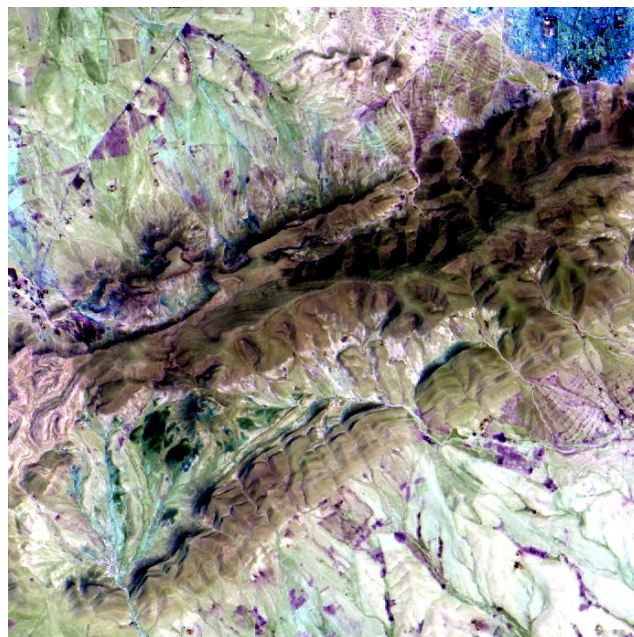


Fig 33 - Image (RGB 678) résolution 15m.

- les faciès qui sont en vert olive, recouvrent la majorité du Djebel Ben Hemad et représentent les dépôts d'âge Tithonique comprenant une lithologie carbonatée composée de dolomie épigénétique et calcaire.
- les dépôts qui sont en marron, localisés dans le même secteur représentent les dépôts carbonatés et détritiques (calcaires marneux, argiles et grés verts) d'âge Oxfordien.



Fig (33a) – Grossissement de l'image (RGB 678) résolution 15m.

- Les dépôts du Kimméridgien inférieur ne peuvent pas apparaître dans toutes les compositions colorées appliquées sur ce terrain car elle sont formées, essentiellement, de dépôts carbonatés et détritiques composés de calcaires, marnes, grés et dolomies, et elles sont fusionnées avec les dépôts Tithoniques et Oxfordiennes.

Image (RGB 457) (Fig34).

Cette image est obtenue d'une composition colorée (red : bande OLI4, green : bande OLI5, bleu : bande OLI7), elle nous a permis de distinguer :

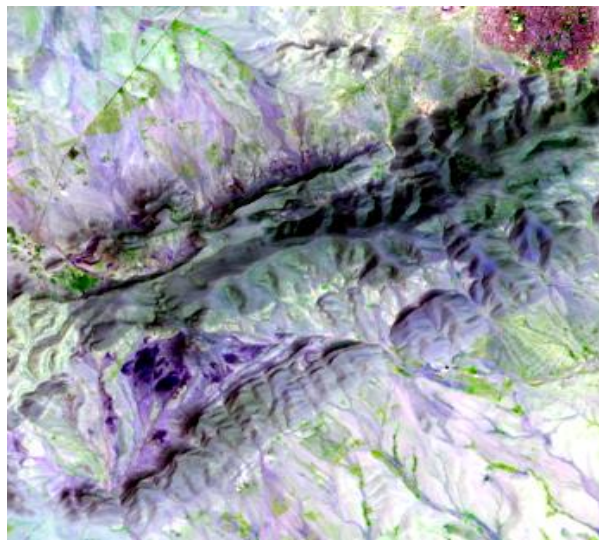


Fig 34 - Image (RGB 457) résolution 15m.

- Les formations en blanc et en violet clair représentent des formations modernes composées essentiellement d'alluvions et d'accumulations continentaux d'âge Post-miocène.
- La couleur verte représente les zones de cultivation, les oueds et les cours d'eaux vifs.
- La couleur en rose représente la ville de Ksar Chellala, zone d'agglomération.

2.2.Modèle numérique 3D.

Ce traitement consiste à transformer l'image à deux dimensions (2D) en une image à trois dimensions (3D) en l'intégrant dans la bande MNT, qui présente l'image 3D brute de la région d'étude. Ce traitement permet de donner une visualisation spectaculaire des terrains et des reliefs qui portent l'objet d'étude avec leurs dimensions réelles (Fig35).

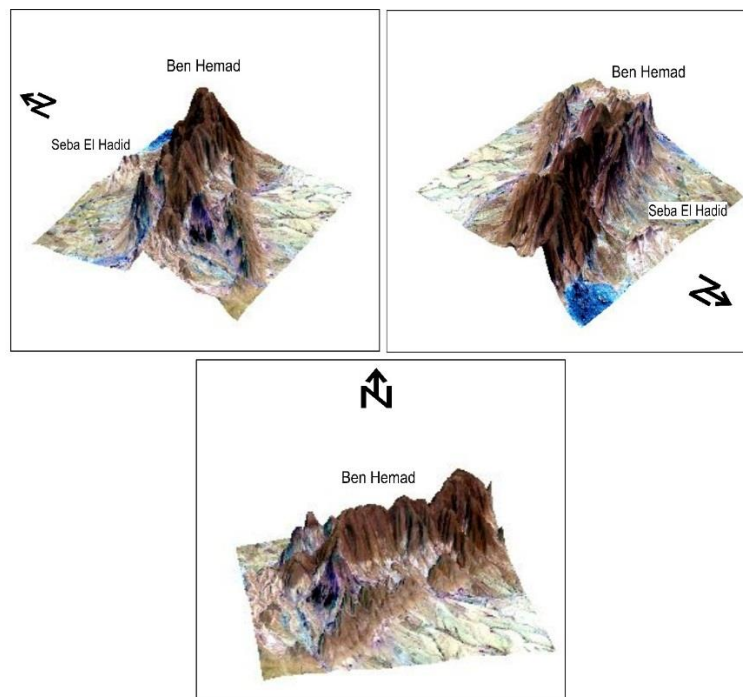


Fig 35 – Visualisation 3D du terrain d'étude en utilisant le modèle numérique 3D.

2.3. La transformation HSV.

Cette méthode nous a permis d'augmenter la résolution spatiale des bandes en étalant une composition colorée à une résolution de 30m à la résolution de 15m qui est celle de la bande 8 OLI (panchromatique). Ce traitement va générer une image en composition colorée à haute résolution spatiale (15m), et donc une meilleure visualisation des éléments de l'image qui sont moins évidents dans les images brutes. L'image générée est très utile pour les traitements d'images ultérieures (Fig36).

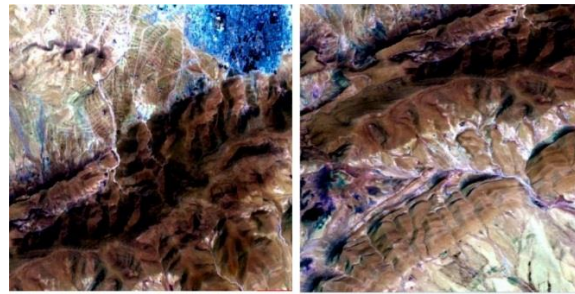


image à une résolution de 15m (HSV).

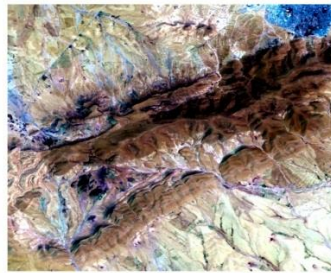


image brute 30m.

Fig 36 - Traitement de l'image par l'HSV.

2.4.L'analyse en Composantes principales (ACP).

L'ACP est l'une des techniques de transformation d'image ; c'est un outil important permettant de compresser et de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, lorsqu'on est en présence d'une somme importante de données à traiter et à interpréter. Cette technique permet de rendre l'image plus apparente et de faire ressortir les limites des structures et des formations (faciès) de l'image, permettant une excellente visualisation de l'image pour les interprétations géologiques (Fig37).

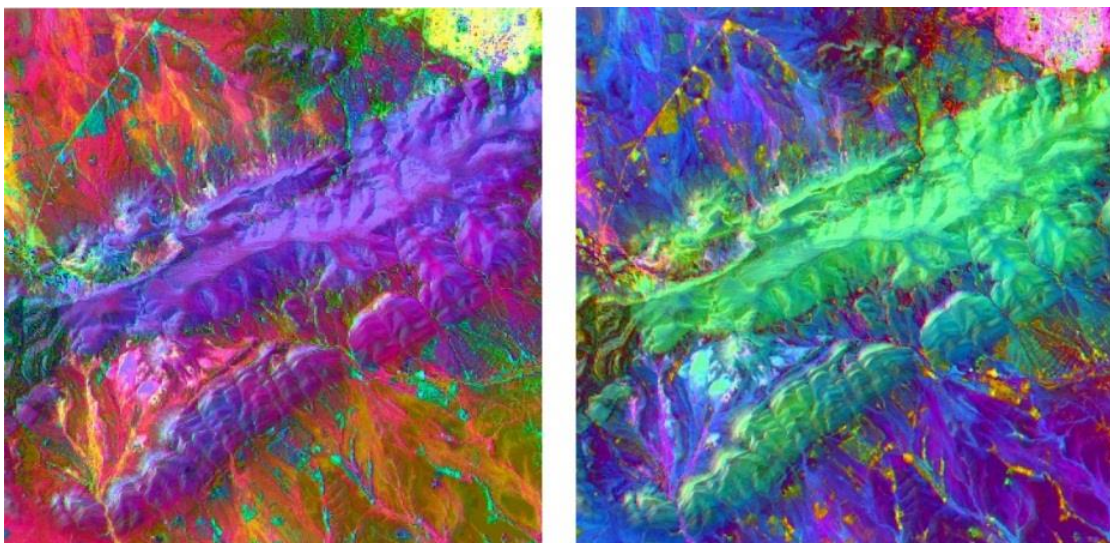


Fig 37 - Traitement avec ACP sur une résolution de 15m.

- **Interprétation.**

Le traitement en ACP a été très utile pour notre étude car il a permis de différencier entre les différentes lithologies existantes, notamment les contours des reliefs qui les séparent des dépôts récents alluvionnaires. Le plus important est que nous ayons pu détecter les zones d'ombres, car il est nécessaire de les éviter lors du traitement d'échantillonnage afin d'obtenir un bon résultat de classification.

2.5. Les ratios.

Les ratios ou les rapports spectraux sont une transformation d'image très commune. Ils permettent de renforcer et de rehausser les variations subtiles dans les réponses spectrales de différentes bandes. Le simple fait de calculer des rapports plutôt que des valeurs absolues d'intensité, produit une réduction des effets topographiques donc ils sont très appréciés pour l'atténuation des effets de reliefs, notamment les ombres (Fig38).

Pour notre application, seule l'atténuation des effets d'ombrage liés au relief a été réalisée. Cependant, en littérature, les rapports de bandes, décrits à cet effet, sont réalisés sur les longueurs d'ondes des bandes LANDSAT 7 ETM+ dont : ETM+2/ETM+4, ETM+3/ETM+5, ETM+1/ETM+3 et ETM+1/ETM+2. Or, nous travaillons sur une scène de LANDSAT 8 OLI dont les bandes sont différentes du précédent tant en nomenclature qu'en largeur de bande (voir tableau de comparaison LANDSAT 7 et LANDSAT 8 OLI (Tableau 3). Les ratios retenus par analogie des longueurs d'ondes pour notre étude sont OLI4 / OLI5 / OLI6. (HAMMAD, 2016).

Tab 3 - Tableau comparatif entre les bandes ETM+ et bandes OLI.

Bandes ETM+	Longueur d'onde	Bandes OLI	Longueur d'onde	Résolution spatiale	Spécificité et objectif.
Bande 3	0,63-0,69 um	Bande 4	0,64-0,67 um	30m	Analyse structurale.
Bande 4	0,75-0,9 um	Bande 5	0,85-0,88 um	30m	Stress de la végétation induit par des phénomènes géologiques, détection des oxydes de fer.
Bande 5	1,5-1,7 um	Bande 6	1,57-1,65 um	30m	Indication de teneur en eau des sols, cartographie des argiles, indicateur secondaire des alterations hydrothermales.

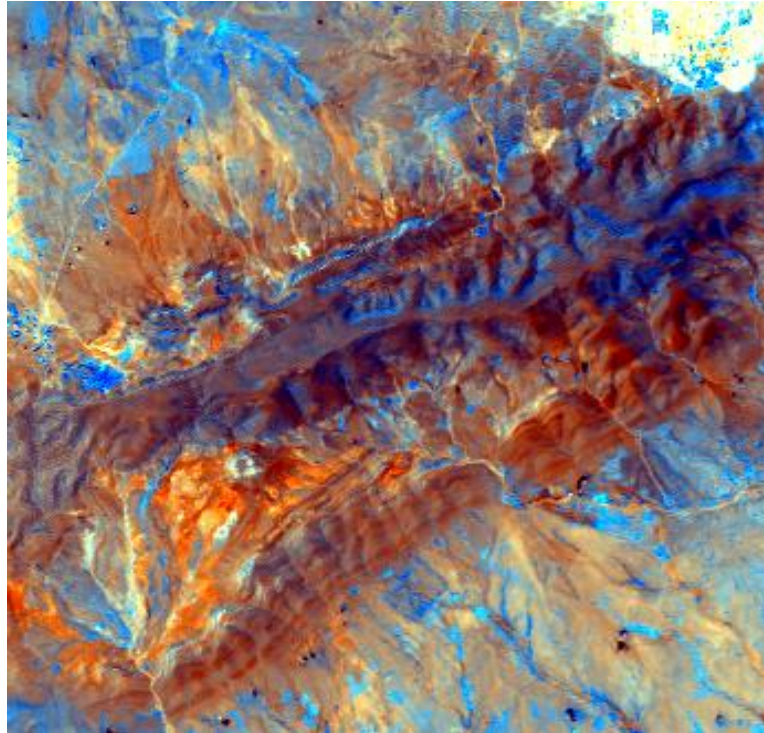


Fig 38 – Traitement d’image par ratio. OLI4/OLI5 et OLI5/OLI6 et OLI4/OLI6.

- **Interprétation.**

En utilisant les paires : bandes (OLI4 / OLI5), bandes (OLI 4 / OLI6), bandes (OLI5 / OLI6), des améliorations sont bien claires sur l’image. Cette combinaison nous a permis de bien visualiser les ombres et les cheminements des oueds, nous permettant ainsi de discriminer les contours du massif de Ben Hemad.

2.6. Les filtres directionnels.

C’est un traitement de transformation basé sur l’amélioration des contours et des contacts avec les structures. Ce traitement est très utile pour détecter, accentuer et rehausser les linéaments et les contacts tectoniques en changeant à chaque fois la direction de l’ombre. Ex : avec un pat de 45°, il nous permet de détecter les linéaments dans toutes les directions possibles : EW, NS, NE-SO and NO-SE (Hammad, 2016) (Fig39).

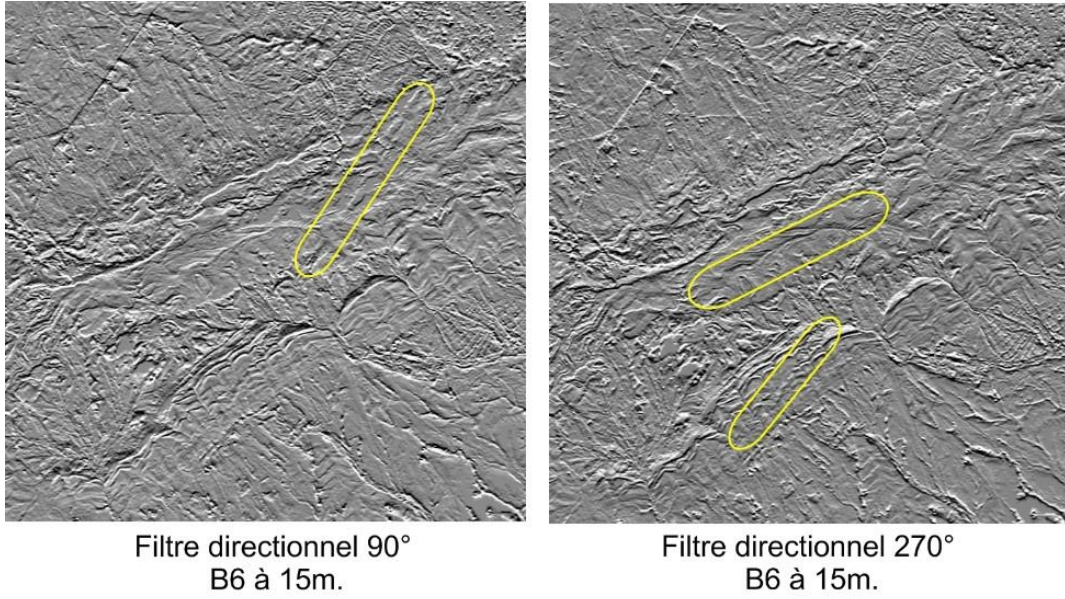


Fig 39 - Traitement d'image par filtres directionnels 90° et 270° sur la bande 6 à 15m.

- **Interprétation.**

Les filtres directionnels nous ont permis d'extraire plusieurs linéaments, vu que notre terrain est fortement affecté par la tectonique.

Partie II.

La cartographie lithologique.

(Caractérisation des unités lithologiques).

La caractérisation des unités lithologiques passe par deux étapes essentielles : la caractérisation visuelle et l'extraction automatique des unités lithologiques.

- La première consiste à repérer et identifier visuellement les différentes unités lithologiques sur les différentes images obtenues des traitements précédents. Cette étape s'effectue en analysant les couleurs, les textures et les structures, les formes et les limites des reliefs ainsi que la caractérisation radiométrique (classification non-supervisée).
- La deuxième étape consiste à délimiter et extraire les différentes lithologies par classification supervisée (Hammad, 2016).

1. Caractérisation visuelle

Les formations qui sont retenues pour l'échantillonnage se présentent comme suit :

- Les dépôts carbonatés présentent des alternances marno-calcaires, des grés et des dolomies d'âge Oxfordien – Tithonique. Elles sont localisées dans tous les Monts de Ben Hemad et de Seba El Hadid.
- Les dépôts alluvionnaires correspondent aux accumulations des Oueds et les dépôts récents sont présents dans tous les terrains de la région.
- Les chemins des oueds et les ruissellements.
- Les zones d'agglomérations.

2. Caractérisation radiométrique (classification non-supervisée).

L'approche non-supervisée ou *clustering* (en anglais), dépend des méthodes statistiques basées sur l'information numérique des données visant à regrouper les individus dans des classes, chacune la plus homogène possible et les plus distinctes possibles entre elles. Plusieurs méthodes de classifications sont proposées et on cite : K-means et IsoData.

Pour notre étude, nous avons adopté la méthode K-means, vu le bon rendement qu'elle a donné dans la région d'étude (Fig40).

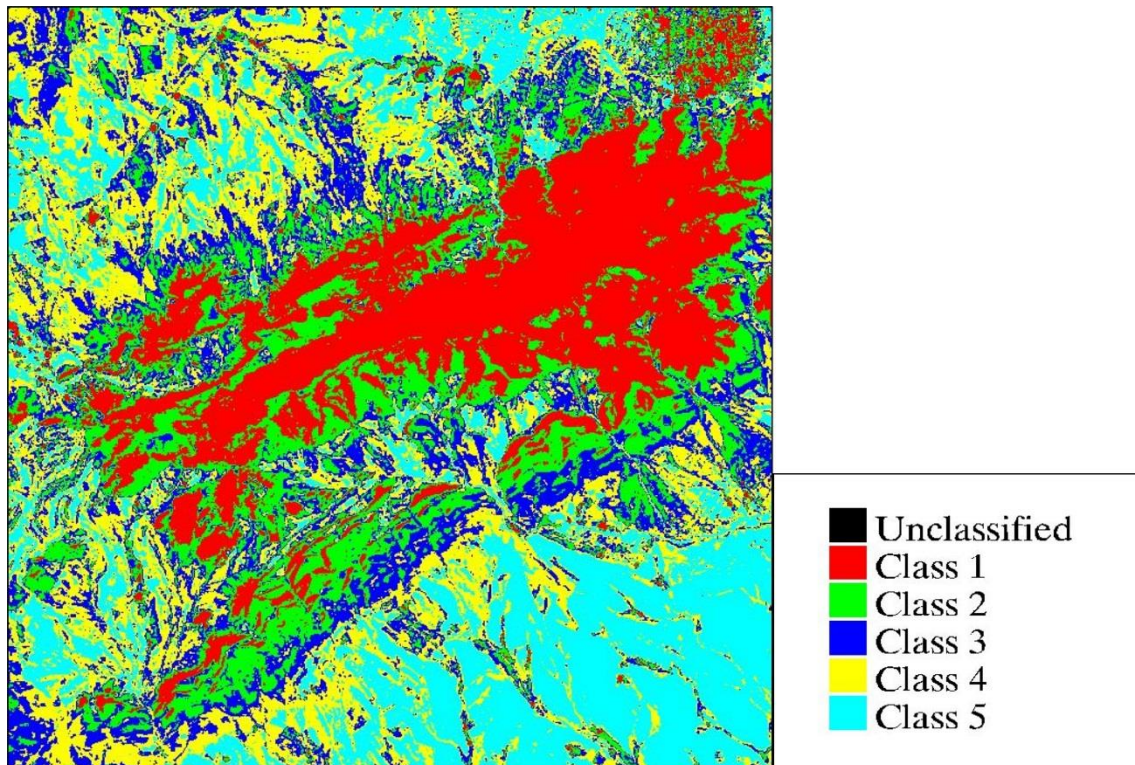


Fig 40 - Extraction radiométrique des différents éléments géologiques du secteur d'étude.

3. Extraction automatique des unités lithologiques (classification supervisée).

La classification supervisée ou l'approche dirigée consiste à utiliser les connaissances (carte géologique et terrain) pour la création des classes sur l'image (pixels) ainsi que la saisie des échantillons (signature du pixel classé). Chaque classe réalisée sur l'image représente une lithologie relevée sur terrain. Cette approche présente des contraintes de manipulation particulièrement, les confusions des classes qui augmentent entre la résolution des capteurs et l'hétérogénéité spatiale des milieux. Plusieurs méthodes sont proposées par l'ENVI parmi lesquelles nous pouvons citer : parallépipède, minimum distance, mahalanobis, neural net et maximum de vrai semblance.

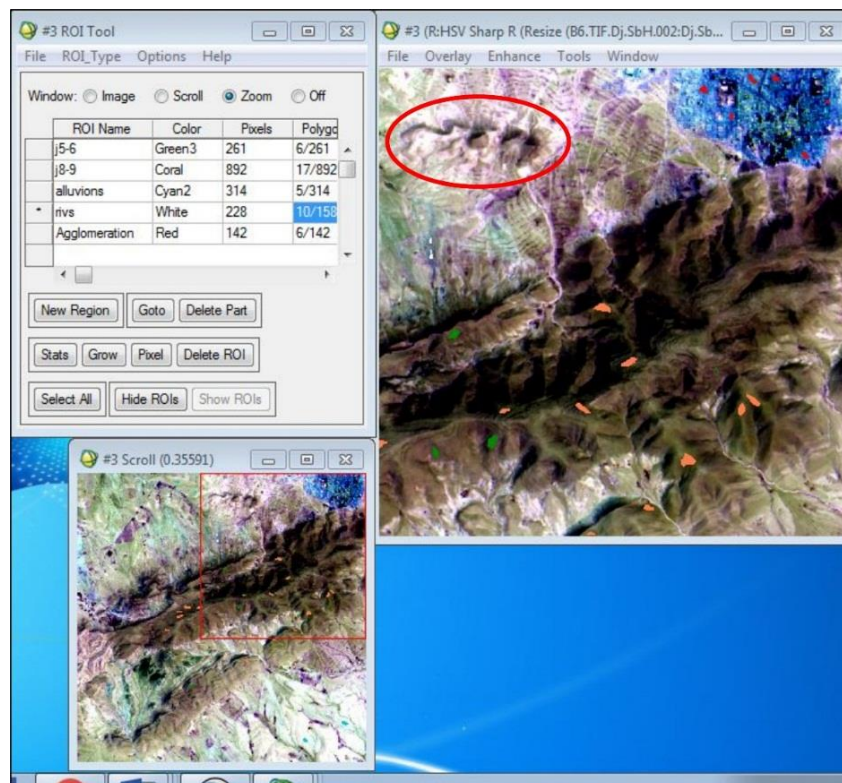
3.1. Procédure de la classification supervisée.

- **Echantillonnage(sélection des ROI).**

Le ROI (region of interest) présente la signature spectrale du pixel sélectionné créant ainsi des classes de pixels. Chaque classe représente une lithologie analysée et identifiée à partir de l'étude des échantillons. Cette tâche est très délicate à mener car il en résulte une certaine confusion entre les classes, eu égard à la complexité que présente notre terrain notamment, la disposition verticale des couches sous forme de couverture, ce qui les rend difficile à

discriminer ; ainsi la ressemblance entre les couleurs, va influencer sur le résultat de l'analyse des échantillons (Statistique des échantillons et calcul de séparabilité ROI).

Il est important de signaler que nous n'avons pas pris d'échantillons au niveau du Mont de Seba El Hadid pour ne pas influencer sa discrimination spectrale et avoir des résultats impartiaux et crédibles. Ce qui constitue l'objectif principal de notre étude (Fig41).



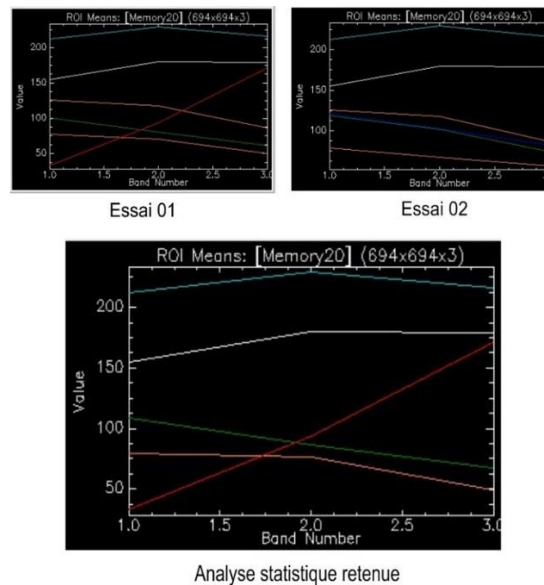
 Zone non-échantillonnée.

Fig 41 - Procédure d'échantillonnage.

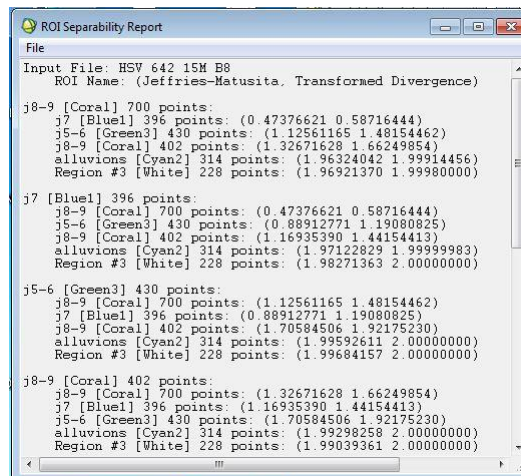
- **Statistiques et calcul de séparabilité des échantillons.**

Vu l'homogénéité et la ressemblance des faciès constituant le terrain d'étude en particulier, les niveaux Tithoniques (j8-9) et les faciès Oxfordiens (j5-6), l'échantillonnage s'est avéré très difficile à réaliser car, à chaque fois, il a été indispensable de répéter le processus d'échantillonnage jusqu'à ce que les deux classes se séparent (tab4). Ainsi que pour le calcul de séparabilité, nous avons répété le processus jusqu'à ce qu'il soit près de 1,99 à 2. (Tab5).

Tab 4 - Analyse statistique des échantillons.



Tab5 - Calcul de séparabilité retenue.



3.2. La classification.

Une fois que l'étape ROI est terminée, nous avons entamé la classification supervisée qui constitue une des priorités de cette étude.

Pour ce faire, et après avoir essayé plusieurs méthodes et consulté, en parallèle, les approches utilisées dans les travaux d'étude antérieures, notamment celle de (Hammad, 2016), nous avons adopté la méthode qui convient le mieux aux particularités géomorphologiques de notre terrain. Elle est, également, fiable et permet d'avoir les meilleurs résultats possibles. Il s'agit de la technique SVM (Machine à Vecteur de Support). Son principe est la séparation des classes à

partir d'un classificateur nommé hyperplan, lequel va passer au milieu des points des deux classes et maximise la distance entre eux (Fig42a).

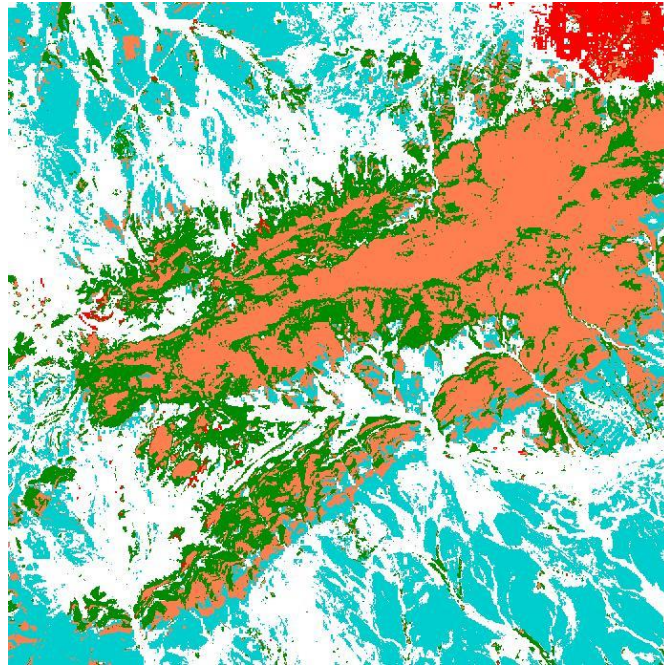


Fig (42a) - Résultat de la classification par SVM.

Nous avons changé les couleurs des différentes formations afin de rendre la carte similaire à la carte géologique de la région (Fig42b)

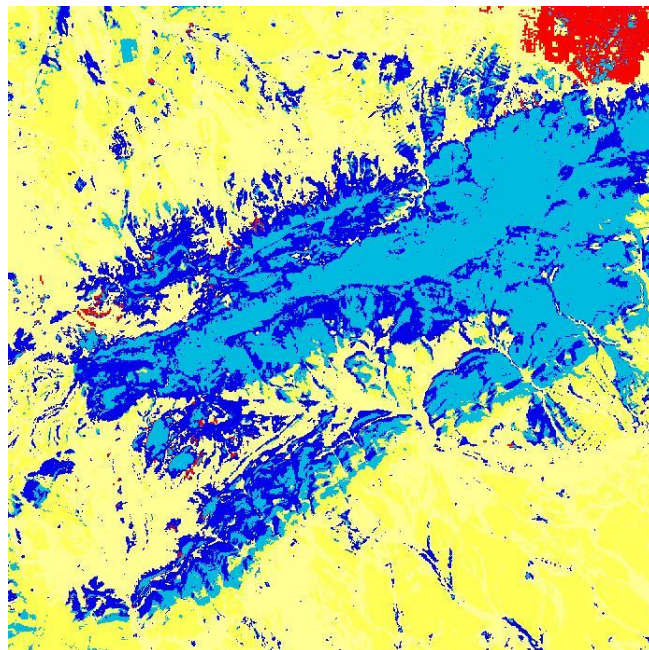


Fig (42b) - Résultat de la classification par SVM similaires aux couleurs de la carte géologique.

3.3. Validation de la méthode.

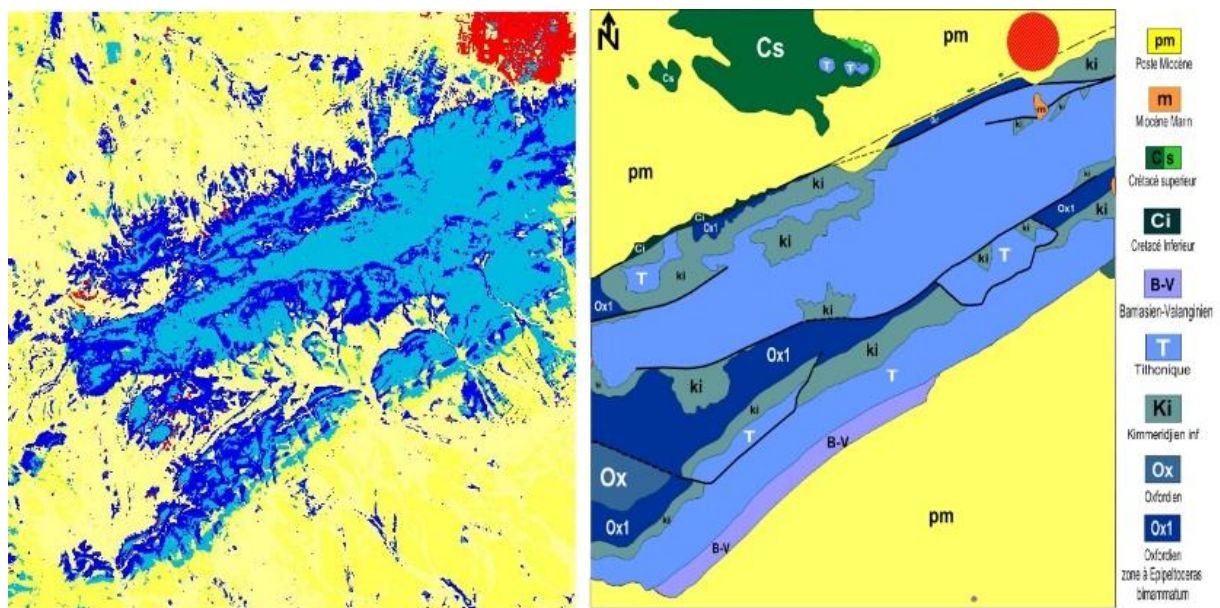
Pour être sûr que notre classification est correcte et que le résultat est satisfaisant, une validation est appliquée par deux méthodes essentielles :

3.3.1. La vérité terrain.

Représente l'étape de vérification de la classification supervisée à partir de la carte géologique 1/50000^e de la région de Chellala (Caratini, 1970) avec les résultats de l'étude géologique (stage terrain et échantillonnage « Fig44 »).

En faisant la comparaison entre la carte géologique et les résultats de terrain, nous avons pu faire ressortir le maximum de lithologies, comme celles du Tithonique, les alluvions ainsi que les zones de cultivations, d'agglomérations et les oueds. Le point noir dans cette classification, sont les assises du Kimméridgien inférieur et Oxfordiennes, lesquelles sont très similaires. Mais cela n'a pas influé sur l'aspect général de la classification qui a été satisfaisante en la comparant à la carte géologique. Cette correspondance nous sera utile aussi lors de l'établissement de la légende de la carte lithologique téléanalytique.

(Fig43).



Classification SVM

Carte géologique de Chellala

Fig 43 - Validation par la carte géologique de Caratini(1970).

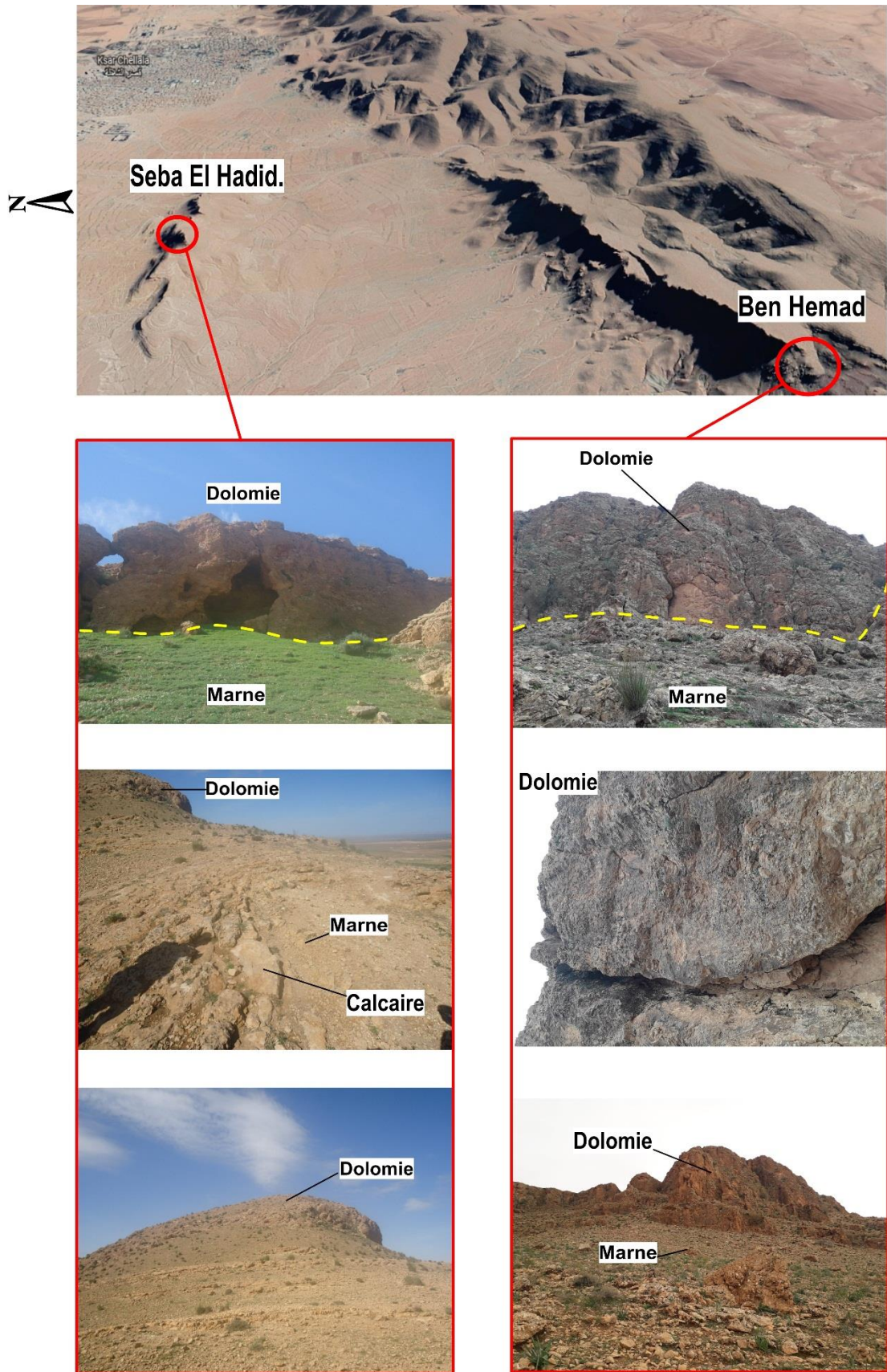


Fig 44-Validation terrain par l'échantillonnage dans le stage terrain.

3.3.2. Matrice de confusion.

La matrice de confusion est un outil indispensable pour évaluer la qualité de la classification supervisée et s'assurer si le système a correctement classé les différentes classes d'échantillons. Cette méthode de validation se construit en calculant plusieurs opérations dont on peut citer le coefficient Kappa, commission, omission etc...

Le processus a révélé une précision globale de 91,6409 %, qui est considéré comme un bon résultat pour cette classification, ainsi que pour le coefficient Kappa, qui est à 0,8850 qui représente une autre mesure de précision (Tab6).

Tab 6 - Matrice de confusion pour la classification finale du secteur d'étude.

Confusion Matrix: C:\Users\RISSALLAH\Desktop\classif et ROI\classif finale					
Overall Accuracy = (888/969) 91.6409%					
Kappa Coefficient = 0.8850					
	Ground Truth (Pixels)				
Class	j5-6	j8-9	alluvions	Agglomeration	rivs
Unclassified	0	0	0	0	0
j5-6	45	12	0	0	1
j8-9	28	385	0	0	0
alluvions	0	2	125	0	1
agglomération	0	0	0	126	0
oueds	0	0	1	36	207
Total	73	399	126	162	209
	Ground Truth (Pixels)				
Class	Total				
Unclassified	0				
j5-6	58				
j8-9	413				
alluvions	128				
agglomération	126				
oueds	244				
Total	969				
	Ground Truth (Percent)				
Class	j5-6	j8-9	alluvions	Agglomeration	rivs
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j5-6	61.64	3.01	0.00	0.00	0.48
j8-9	38.36	96.49	0.00	0.00	0.00
alluvions	0.00	0.50	99.21	0.00	0.48
agglomération	0.00	0.00	0.00	77.78	0.00
oueds	0.00	0.00	0.79	22.22	99.04
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Ground Truth (Percent)				
Class	Total				
Unclassified	0.00				
j5-6	5.99				
j8-9	42.62				
alluvions	13.21				
agglomération	13.00				
oueds	25.18				
Total	100.00				
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)	
j5-6	22.41	38.36	13/58	28/73	
j8-9	6.78	3.51	28/413	14/399	
alluvions	2.34	0.79	3/128	1/126	
agglomération	0.00	22.22	0/126	36/162	
oueds	15.16	0.96	37/244	2/209	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)	
j5-6	61.64	77.59	45/73	45/58	
j8-9	96.49	93.22	385/399	385/413	
alluvions	99.21	97.66	125/126	125/128	
agglomération	77.78	100.00	126/162	126/126	
oueds	99.04	84.84	207/209	207/244	

3.4. Traitement post-classification.

Représente les derniers traitements de la classification supervisée ; ils consistent à améliorer la qualité visuelle de la classification obtenue à partir de l'élimination des pixels isolés et dispersés et réaliser une carte homogène et proche de la carte réelle de la région.

3.5. Carte lithologique et télanalytique finale de la région d'étude.

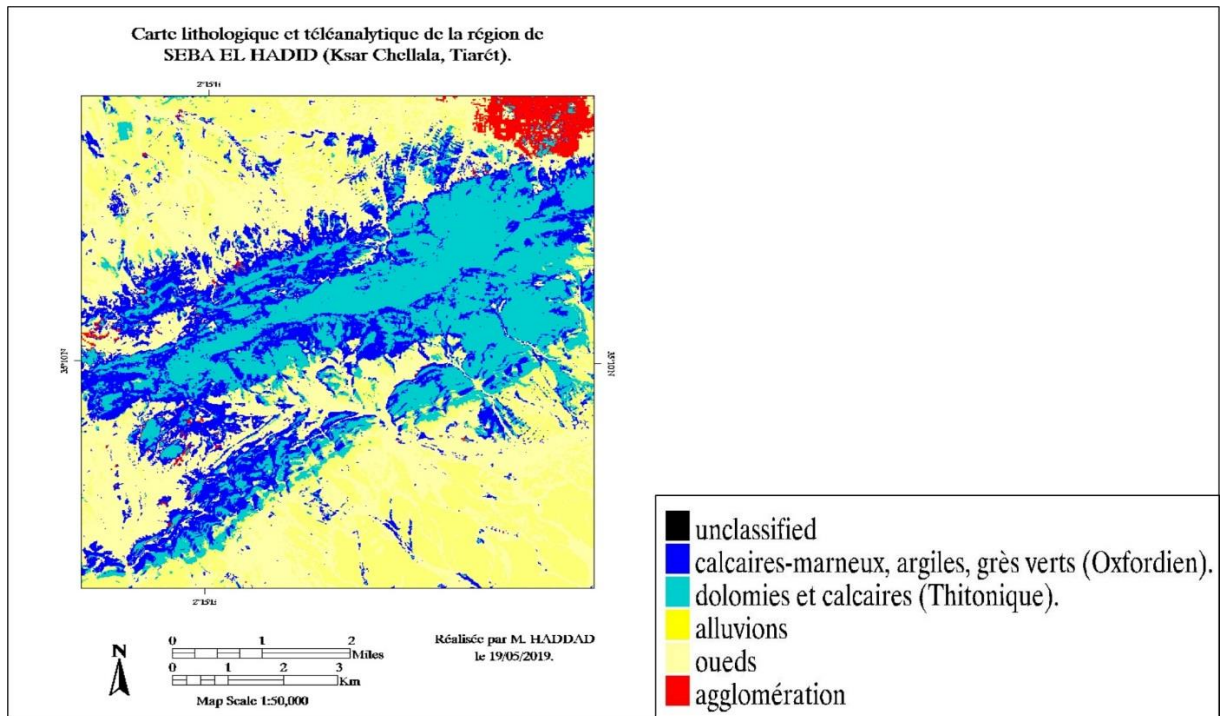
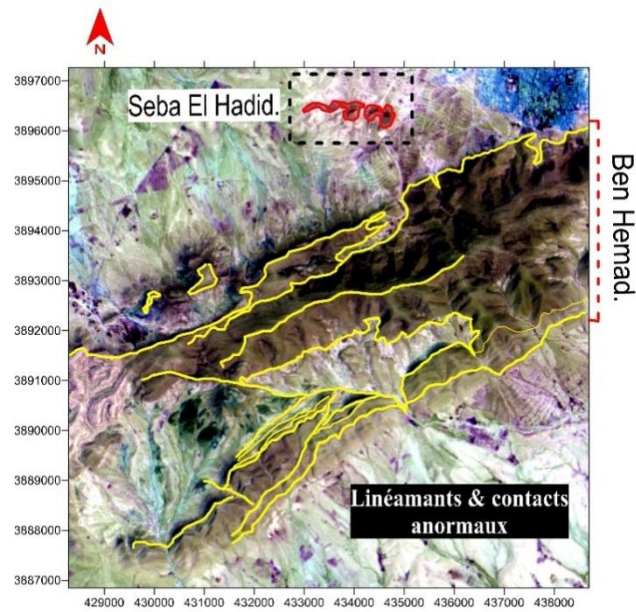


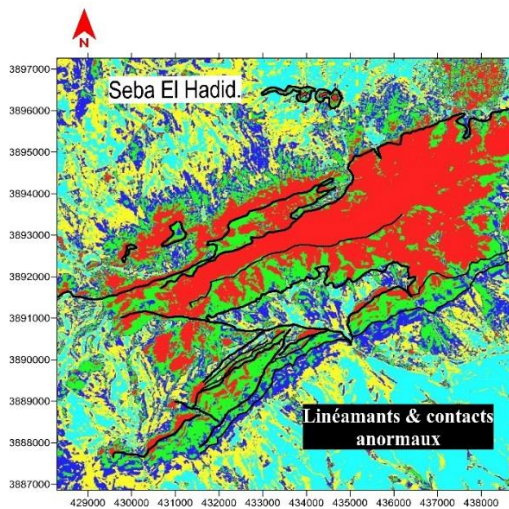
Fig 45 - Carte finale de la région de Seba EL Hadid.

4. Origine de la Klippe.

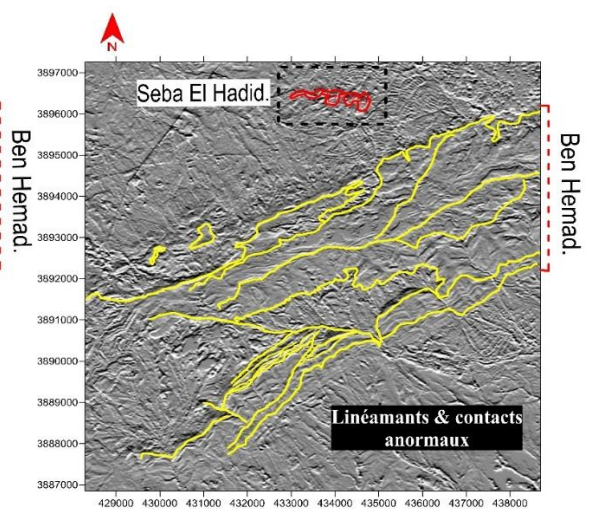
La combinaison des différents résultats de la télédétection en l'occurrence, les cartes de traitements d'images et les cartes de caractérisation des unités lithologiques, nous a permis d'établir une carte représentative des différents contacts anormaux et linéaments de la région d'étude, nécessaire pour comprendre et expliquer l'origine probable de la klippe du Mont de Seba El Hadid (Fig46).



- c -



- a -



- b -

Fig 46 – Extraction des différents linéaments de la région de Chellala.

(a) :carte obtenue par classification radiométrique (non-supervisée). / (b) : carte des filtres directionnels 90°. / (c) : cartes obtenue de la composition colorée RGB789.

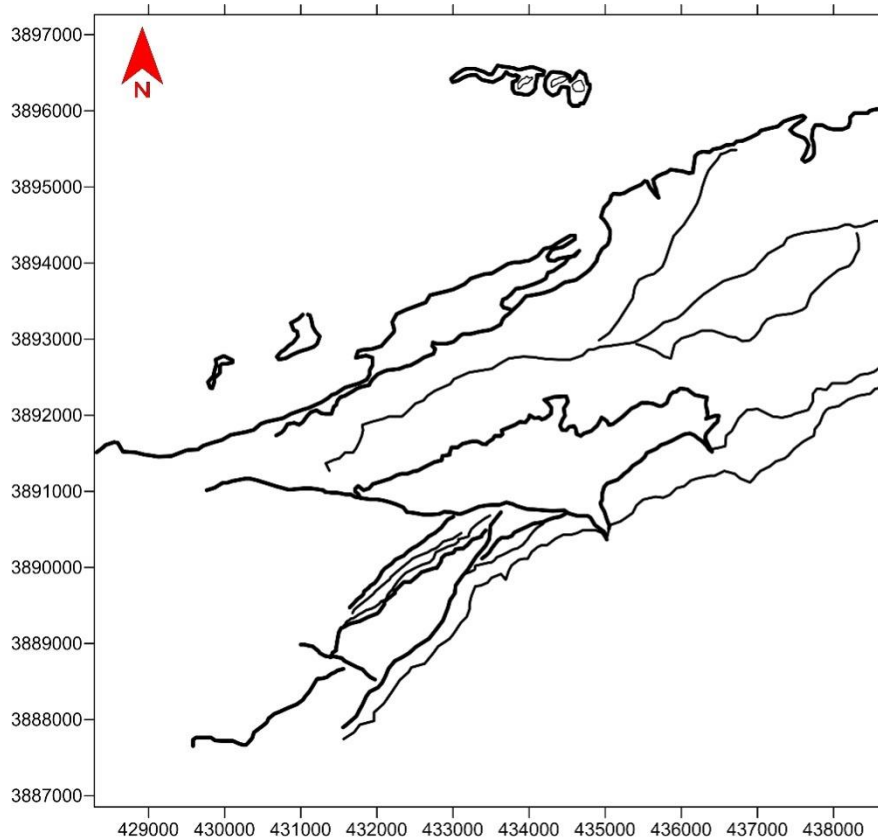


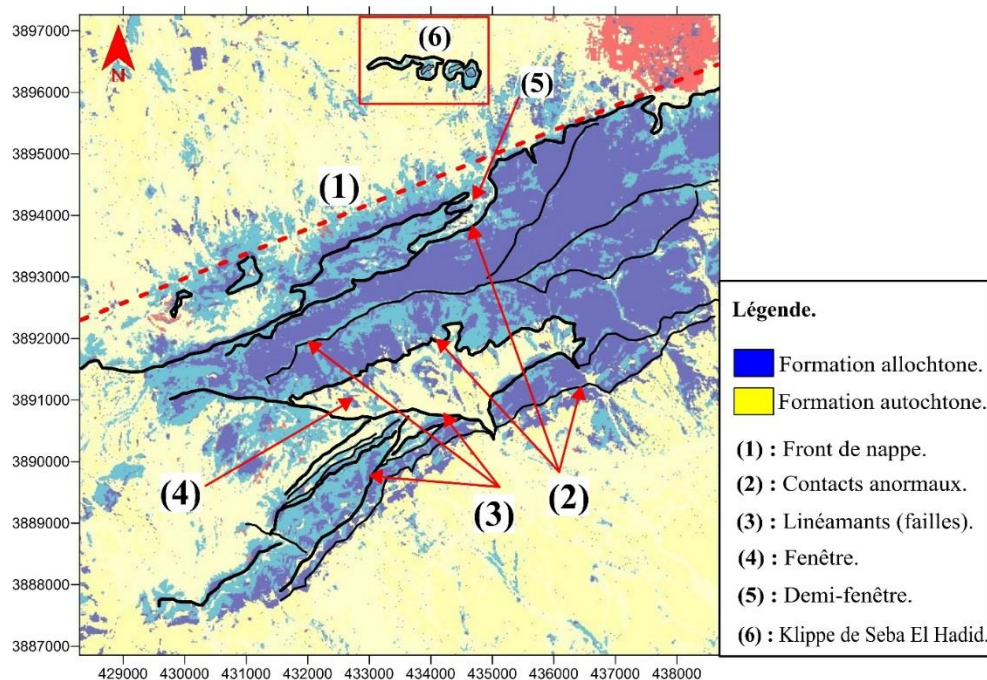
Fig 47 – Linéaments obtenus à partir des combinaisons des différentes cartes.

Par définition, une klippe est une masse rocheuse détachée et déplacée d'un massif ou d'un relief qui est généralement allochtone; la première conséquence de ce détachement est la création d'un vide au sein de ce relief, nommé «fenêtre» qui représente l'un des éléments de caractérisation de ce type cas, permettant l'apparition des formations situées en-dessous de ce relief allochtone qui constitue, en général, la source de la klippe.

En superposant les linéaments précédemment obtenus (Fig47) avec la carte télanalytique finale du terrain (Fig45), nous constatons que Djebel Ben Hemad est constitué par des formations carbonatées du Jurassique supérieur, (Kimméridgien inférieur et Tithonique) décrites précédemment en détails, qui sont fortement affectées par la tectonique.

Ces formations sont porteuses d'éléments ou indices caractéristiques indiquant que cette zone est très tectonisée. Ces éléments sont :

- Des contacts anormaux séparant les formations allochtones (en bleu) des formations autochtones (en jaune).
- Une multitude de linéaments sur toute l'étendue de Ben Hemad.
- Une ouverture, localisée au centre du relief de Ben Hemad, comblée par des dépôts alluvionnaires récents, ainsi qu'une demi-fenêtre située au sommet du Mont de Ben Hemad (Fig48).



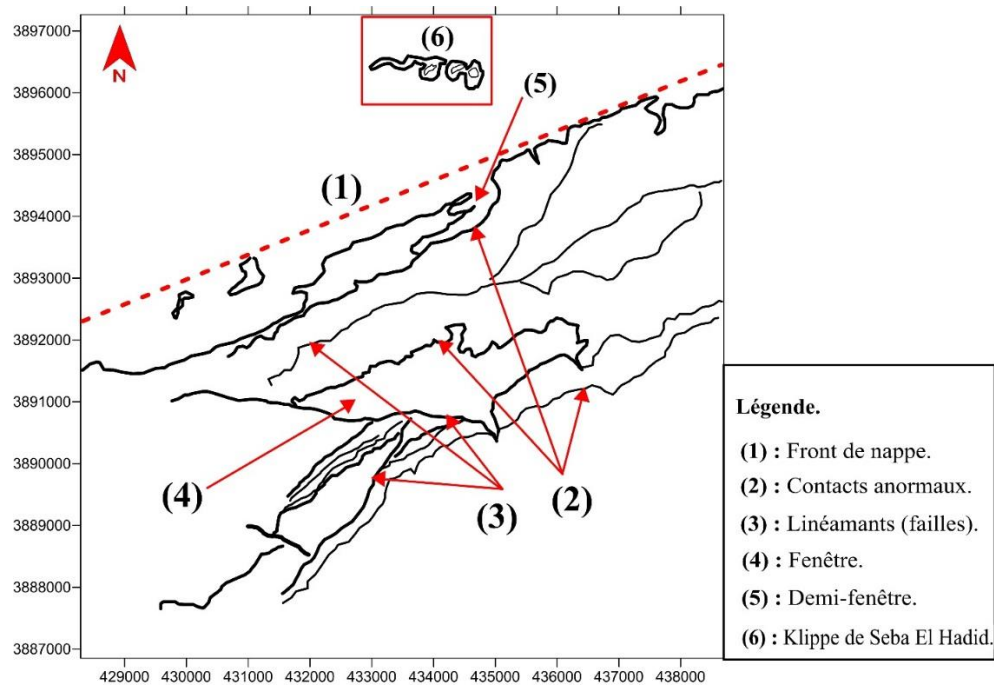


Fig 48– Représentation des principaux éléments tectoniques de la région de Chellala.

5. Conclusion.

L'analyse des résultats de la télédétection obtenus grâce à ses techniques de traitements d'images, en association avec les constats de l'étude sédimentologique, il est permis d'avancer que Djebel de Ben Hemad serait la seule origine probable de la klippe de Seba El Hadid.

A cet effet, nous pouvons énumérer les arguments suivants :

- a. Djebel de Ben Hemad est le seul et le plus proche relief situé en face de Seba El Hadid présentant une lithologie presque identique à celle de la klippe avec une similitude spectrale frappante. Le Sommet de Seba El Hadid montre des dépôts carbonatés allochtones à savoir, les dépôts Tithoniques, Kimméridgiens et peut-être l'Oxfordiens ?
- b. Mise en évidence par la télédétection d'ouvertures au sein du Mont de Ben Hemad, pouvant correspondre à des fenêtres et, donc, à l'origine probable de la klippe.
- c. Des contacts anormaux ainsi qu'une multitude de linéaments ont été observés au Mont de Ben Hemad, preuve que ce Mont a été le siège d'une activité tectonique intense pouvant justifier un probable glissement des roches sur le Mont de Seba El Hadid (Fig 49).

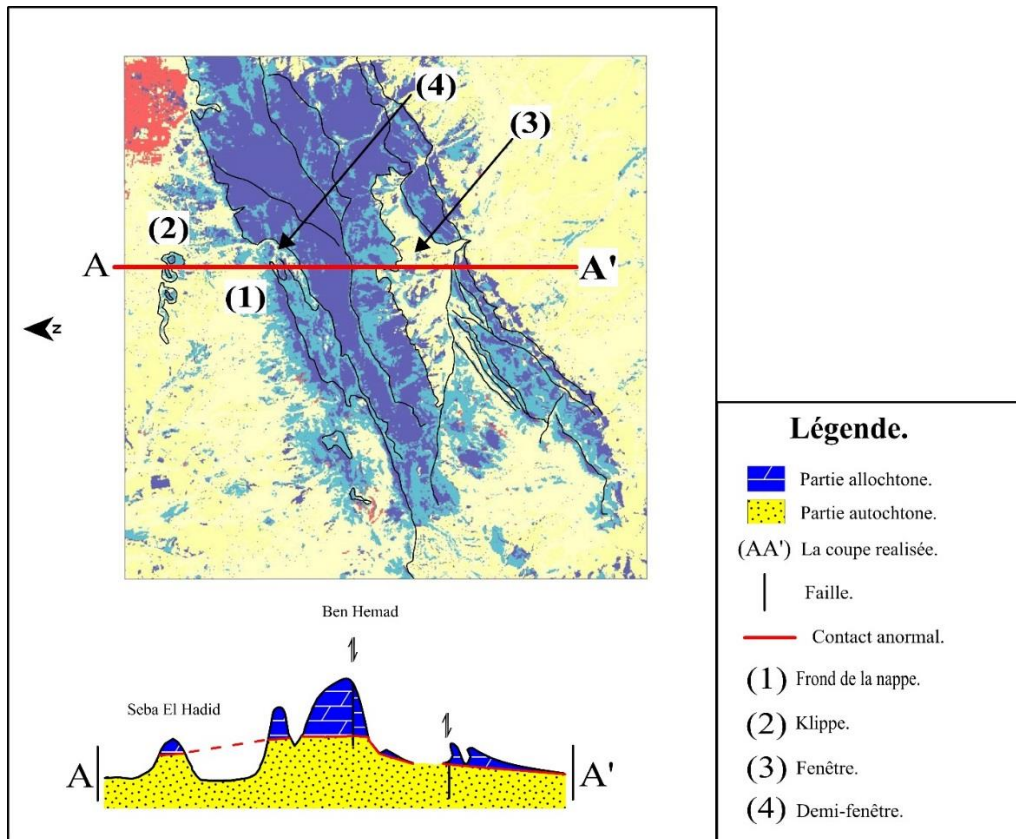


Fig 49– Modèle final proposé quant à l'origine de la klippe de Seba El Hadid dans la région de Chellala.

**Synthèse & conclusion
Générale.**

I. Caractères lithostratigraphique et épaisseur de "La série de Djebel Seba El Hadid".

La série de Djebel Seba El Hadid est l'une des séries géologiques des Monts de Chellala. Elle a été définie dans la région de Chellala et décrite pour la première fois par Caratini en 1970. Cependant, elle est limitée à son sommet, généralement, par des puissantes formations supérieures marneuses et dolomitiques installées après un déplacement de type "Klippe" d'âge Jurassique, et commençant par une série inférieure marno-calcaire Cénomano-Turonienne, le seul critère qui peut la différencier des autres formations dans les Monts de Chellala. Cette série enregistre une sédimentation généralement fine succédant à une sédimentation carbonatée. Elle montre un enregistrement complet et marque une nette influence des conditions hydrodynamiques notamment les tempêtes. L'alternance des niveaux influencés par les tempêtes, les marnes ainsi que la différenciation des niveaux calcaires, enregistrent la variabilité des conditions de la sédimentation.

II. Environnements de dépôts.

- Le Kimméridgien-Tithonique.

L'enchaînement des faciès « marne / dolomie et alternance marno-calcaire / dolomie » ainsi que le phénomène de dolomitisation, indiquent sans doute un balancement instable et irrégulier de la mer, qui reflète une tendance vers le continent, qui débute par une zone qui est recouverte d'une importante tranche d'eau, mais qui reste toujours peu profonde, déposant l'association (I) caractérisant le milieu Infratidalet se termine dans une plate-forme restreinte qui favorise, en grande partie, le dépôt des grandes masses dolomitiques présentées dans l'association (II) qui se développent généralement dans la zone Supratidale (lagunes et sebkha côtières) et les alternances marno-calcaires caractérisent la zone Intertidale.

- Le Cénomano-Turonien.

La description des faciès rencontrés dans cette partie présentés par l'association (III) de la série de Seba El Hadid, nous a permis de proposer un environnement de dépôt représenté par une plate-forme carbonatée peu profonde, il s'agit de la zone de balancement des marées (Intertidal).

III. Evolution eustatique.

L'évolution observée au cours des dépôts caractérisant surtout les dépôts du Cénomano-Turonien ainsi que la diversité faunistique (bivalves, gastéropodes, etc.) reflète un régime à caractère marin. La période du Cénomano-Turonien est marquée par l'installation des dépôts

marno-calcaires qui indiquent les dépôts d'un régime transgressif. Ces dernières sont plus développées pratiquement dans toute la série et dans les différents secteurs avoisinant, notamment le secteur de Draa El Leben.

Cette phase transgressive est suivie par l'installation d'un matériel carbonaté qui se développe dans des milieux à très faible profondeurs. Ces dépôts reflètent un régime régressif à tendance progradante, attestant la diminution du niveau relatif de la mer.

IV. Particularités de "la série de Seba El Hadid dans les Monts de Chellala.

"La série de Seba El Hadid " représente l'installation de dépôts du Jurassique supérieur sur des assises sous-jacentes du Crétacé supérieur et porte différents caractères lithologiques au mois dans cette partie des Monts de Chellala.

Elle est généralement matérialisée par la succession de deux parties, inférieure Cénomano-turonienne marno-calcaires et supérieure Kimméridgienne-Tithonique marnes et dolomies.

V. Reconstitution paléogéographique.

La série étudiée montre une évolution cyclique (régressive / transgressive) dont les principaux événements sont, relativement, situés dans le temps. Elle est représentée par des séquences de troisième ordre regroupées traduisant des phases progradantes (régression du Jurassique) et d'autres rétrogradantes (transgression Cénomaniennne). Ces dernières se traduisent par une sédimentation fine à moyenne, des alternances de calcaires / marnes et de dolomies / marnes, la présence de faunes typiquement marines (bivalves, gastéropodes) soumises à l'action des marées à savoir, les figures d'hydrodynamismes formées par les courants agités et dynamiques. Cette période peut indiquer un milieu peu profond et un fort taux de sédimentation. Les nombreuses alternances affectées par la persistance du régime marin indiquent une phase à dominante marine.

VI. La klippe de Seba El Hadid.

« Il apparaît donc bien établi que l'on se trouve en présence d'une klippe Kimméridgienne-Tithonique, reposant sur des terrains Cénomano-Turonien peu déformés. Ces éléments allochtones ne peuvent provenir que du massif de Ben Hemad... » (Caratini, 1970).

L'interprétation des résultats issus de la télédétection à travers les différentes et délicates étapes de traitement d'images utilisées ainsi que la caractérisation lithologique des terrains de notre région d'étude, a été d'un grand apport à la compréhension de l'origine de la klippe du

Mont de Seba El Hadid. Cependant, la tâche n'a pas été facile du fait de la difficulté d'extraction et d'interprétation des différents éléments de caractérisation tectonique et lithologique liée, en grande partie, à la similitude spectrale des terrains du Mont de Seba El Hadid, majoritairement, carbonatés, d'âge Tithonique, Kimméridgien et peut-être Oxfordien, rendant ainsi le travail interprétatif des plus difficiles. Néanmoins, grâce à des méthodes et approches adéquates, il nous a été possible de faire ressortir les éléments structuraux et lithologiques qui nous ont permis d'avancer la thèse probable selon laquelle l'origine de la klippe serait le Mont de Ben Hemad.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES.**

1. **ALNAFT(2017)** - Agence Nationale pour la Valorisation des Ressources en Hydrocarbures. Géologie d'Algérie, Cadre Géologique.
2. **ATROPS F. et BENEST M. (1982).** Découverte de faunes d'ammonites de la zone à Platynota (Kimméridgien inférieur) dans les Monts de Chellala (Avant-pays tellien, Algérie); Conséquences stratigraphiques et paléogéographiques. *Géobios*, 15, (6):951-957.
3. **BIJU-DUVAL B. (1999)**-Géologie sédimentaire, Bassins, Environnement des dépôts et formation du pétrole. Edi. Technip, France.
4. **BOULVAIN F. (2019)** – Une introduction aux processus sédimentaires, *Pétrologie sédimentaire*, Université de Liège, *département géologie*.
5. **CARATINI C. (1970).** Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, N. S. 40, (1) : 238 p.
6. **CHAMLEY H. (2000)** – Base de sédimentologie. *Coll. Géosciences, Dunod (2^{ème} éd.)*, Paris.
7. **COLOMBIE C. (2013)** – Sédimentologie, stratigraphie séquentielle et cyclo-stratigraphie du Kimméridgien du Jura suisse et du Bassin vocontien (France): relations plate-forme – bassin et facteurs déterminants. Multiprint SA, *Fribourg*, 2002. Suisse.
8. **DELFAUD J. (1974)** – Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôt. *Bull. Soc.Géol. France*, (7), XVI, n°6, p. 643-650.
9. **FLAMAND G. B. M. (1911)** N Recherches géologique et géographiques sur le Haut pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et Territoire du Sud). Thèse. Sc. Lyon, Rey (édi), 1001 p.
10. **HAMMAD N. (2016)** – Cartographie géologique et analyse linéamentaire de la région d'El Kseibat (Sahara du sud-ouest) à partir des images spatiales. Incidence sur l'exploitation minière. Thèse de doctorat.
11. **HARMS J.C. (1975)**– Stratification and sequences in prograding shoreline deposit. *In: depositional environments as interpreted from primary sedimentary and structures and stratification sequences*. J.C. Harms., J.B. Southward., D.R. Spearing., R.G. Walker. (Eds.). *Soc. Ecom. Paleontologists, mineralogists, short courses*, 2, p. 81-102.
12. **KAZI-TANI N. (1986)**- N Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intra-plaque nord algérien. Approche méga-séquentielle. Thèse. Doct d'état.
13. **KUMAR N. & SANDERS J.E. (1976)** – Characteristics of *Shoreface* storms deposits modern and ancient examples. *J. Sedim. Petrol.*, v, 46, p. 145-162.

14. **McKENZIE J. & VASCONCELOS C. (1987)** – Recherche géologique sur la formation des dolomies. (*Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro*).
15. **RENOU E. (1948)**. – Description géologique de l'Algérie. Exploration scientifique de l'Algérie. Imprimerie Nationale, Paris.
16. **RIAH N. (2008)** – Géologie des terrains Post-Oxfordiens de la terminaison occidentale de Ben Hammed (*Monts de Chellala, Avant-pays tellien*).
17. **SIMPSON A. M. & ERIKSON K.A. (1990)** – Early Cambrien, progradational and transgressive sedimentation patterns. An example of the early history of passive margin. *Jour. Sedim. Petrol.*, v. 58, p. 580-595.

LISTE DES FIGURES.

Chapitre 1. Pages.

- Figure (01)** - carte géographique de la commune de ksar Chellala.
.3
- Figure (02)** - situation géographique de la région d'étude.
.4
- Figure (03)** - carte géologique de la région de Chellala.
.5
- Figure (04)** - carte structurale générale de la région de Chellala.
.11
- Figure (05)** - présentation des différents éléments d'une nappe de charriage.
.13
- Figure (06)** - schéma descriptif d'une klippe.
.14

Chapitre 2.

- Figure (07)** - schéma représentatif du Mont de Seba El Hadid (Caratini, 1970)..17
- Figure (08)** - différentes lithologies de Seba El Hadid (Caratini, 1970)..18
- Figure(09)** - présentation et situation du Mont de Seba El Hadid..19
- Figure(10)** - subdivisions lithologiques du Mont de Seba El Hadid..20
- Figure (11)** - succession lithologique de l'unité A..21
- Figure (12)** - succession lithologique de l'unité B..22
- Figure(13)** - succession lithologique de l'unité C..23
- Figure (14)** - succession lithologique de l'unité D..24
- Figure(15)** - succession lithologique de l'unité E..26
- Figure (16)** - illustrations photographiques contacts anormaux du secteur étudié. .27
- Figure(17)** - illustrations photographiques des différents types de calcaire massifs. .29
- Figure(18)** - illustrations photographiques des calcaires fossilifères. .30
- Figure (19)** - illustrations photographiques des sous faciès à structures sédimentaires.
.31
- Figure (20)** - illustration photographique des marnes.
.32
- Figure(21)** - illustration photographique des dolomies de l'unité E..32
- Figure (22)** - coupe synthétique englobant les différents faciès de Seba El Hadid..33

Chapitre 3.

- Figure (23)** - litages obliques en mamelons HCS (*Hummockey Cross Stratification*)..37
- Figure (24)** - formation des rides de courant..38

- Figure (25)** - différentes types de figures d'érosion à la base des bancs..38
Figure (26) - les différents types de milieu marin selon le modèle de (Wilson, 1975)..40
Figure (27) - colonne synthétique des différents milieux de dépôt de Seba El Hadid..45
Figure (28) - coupe de Djebel Seba El Hadid..47

Chapitre 4.

- Figure (29)** - image satellitaire brute de la scène (p196p036) prise à partir de l'USGS..52
Figure (30) -présentationde la méthodologie du travail..54
Figure (31) - image brute obtenue du satellite LandSAT 8 OLI (p196, r036)..55
Figure (32) -traitement de rehaussement d'image..56
Figure (33) -image (RGB 678) résolution 15m..58
Figure (33a) -grossissement de l'image (RGB 678) résolution 15m..59
Figure (34) -image (RGB 457) résolution 15m. .59
Figure (35) -visualisation 3D du terrain d'étude en utilisant le modèle numérique 3D.
.60
Figure (36) - traitement de l'image par l'HSV..61
Figure (37) - traitement avec ACP sur une résolution de 15m..61
Figure (38) - traitement d'image par ratio. OLI4/OLI5 et OLI5/OLI6 et OLI4/OLI6..63
Figure (39) - traitement d'image par filtres directionnels 90° et 270°
sur la bande 6 à 15m..64
Figure (40) - extraction radiométriques des différents éléments géologiques du
secteur d'étude..66
Figure (41) - procédure d'échantillonnage..67
Figure (42a) - résultat de la classification par SVM..69
Figure (42b) - résultat de la classification par SVM similaires aux couleurs de la carte
géologique..69
Figure (43) - validation terrain (par la carte géologique de Caratini, 1970)..70
Figure (44) - validation terrain par l'échantillonnage dans le stage terrain..71
Figure (45) - carte télanalytique finale de la région de Seba EL Hadid..73
Figure (46) - extraction des différents linéaments de la région de Chellala..74
Figure (47) - linéaments obtenus à partir des combinaisons des différentes cartes..75
Figure (48) - représentation des principaux éléments tectonique de la région de Chellala..76
Figure (49) - modèle finale proposé quant à l'origine du klippe de Seba El Hadid dans la
région de Chellala..77

LISTE DES TABLEAUX.

Tableau(01) - tableau représentatif des faciès et sous faciès de Seba El Hadid..41

Tableau (02) - tableau descriptifs des corrélations des bandes..58

Tableau (03) - tableau comparatif entre les bandes ETM+ et bandes OLI..62

Tableau (04) - analyse statistique des échantillons.
.68

Tableau(05) - calcul de séparabilité retenue. .68

Tableau (06) - matrice de confusion pour la classification finale du secteur d'étude..72

