

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre & de l'Univers

Département de Sciences de la Terre



Mémoire de Fin d'Etude

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences de la Terre

Option : Géologie des Bassins Sédimentaires

Thème :

**SEDIMENTOGENESE ET PEDOGENESE DES
ACCUMULATIONS DES CALCAIRES CONTINENTAUX (ACC)
DU PLATEAU D'ORAN.**

Présenté par :

TOUMI Belaid

Soutenu le /06/2024, devant la commission d'examinations :

Mr. BOUALEM N.	Maitre de Conférences A	Université d'Oran 2	Président
Mr. BENHAMOU M.	Professeur	Université d'Oran 2	Rapporteur
Mr. BELKHEDIM S.	Maitre de Conférences B	Université d'Oran 2	Examineur

Oran, 2024

DEDICACE

Je remercie le Bon Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné la volonté pour terminer et succéder dans mes études.

Je me dédie ce travail à moi-même, pour avoir été rigoureux et discipliné, pour mon grand amour de la géologie, pour les expériences au cours de mon parcours.

Je suis vraiment fier et content.

Ce modeste travail est aussi dédié à mes parents et ma sœur, je ne peux exprimer mon respect, mon amour éternel et ma reconnaissance pour les sacrifices que vous avez fait pour moi et pour mon bien-être.

À mes chers amis et camarades qui m'ont accompagné durant mon cursus universitaire : **Youcef Z., Djamel B., Abdelhafid T., et Abdelhafid Z.**, Je vous remercie pour les bons moments qu'on a passés ensemble. Je ne vous oublierai jamais.

Je remercie aussi **Oussama H.** qui m'a accompagné pour compléter ma mission de terrain aussi pour les moments agréables qu'on a passé ensemble.

J'exprime mes remerciements aux enseignants de la Faculté des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran 2 pour ma formation, pour me donner de l'expérience et surtout les moments où j'ai vraiment amusé d'apprendre la géologie. Sans oublier l'agent **Omar** pour sa gentillesse.

AVANT-PROPOS

Je tenais en premier lieu à prendre un moment pour exprimer toute ma gratitude et mon amour à mes parents. Leur soutien, leur amour inconditionnel et leurs sacrifices ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. À chaque étape de ma vie, vous avez été mes guides, mes inspirations et mes plus grands champions.

Mes vifs remerciements et grâces à mon cher encadrant, Monsieur le Professeur **Benhamou M.** J'ai eu le privilège d'être encadré et guidé par lui. Tout au long de mon parcours, il m'a constamment soutenu. Ses conseils avisés et sa bienveillance resteront gravés dans ma mémoire. Je suis également reconnaissant pour sa disponibilité, son professionnalisme exemplaire et le temps précieux qu'il m'a accordé, pour compléter ce mémoire.

J'exprime ma profonde et sincère gratitude à Monsieur le Docteur **N. Boualem**, Maître de Conférences (MCA) pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance. J'ai eu la chance d'être son étudiant tout au long de mes études de master. Je le remercie pour ses encouragements constants, ses conseils éclairés et sa disponibilité inégalée envers les étudiants. Que ce travail témoigne de toute mon admiration envers lui. Il demeure un modèle de qualité scientifique exemplaire.

Je suis honoré d'apprécier Monsieur **S. Belkhedim**, Maître-Conférences B (MCB), pour avoir examiné et jugé ce mémoire, pour son temps qu'il me consacre et ses efforts.

Je souhaite dédier ce travail à mes professeurs, qui ont joué un rôle fondamental dans mon parcours académique. À Monsieur le Professeur **Bendella M.**, dont j'ai eu le privilège d'être l'étudiant durant les années passées, je suis reconnaissant pour ses enseignements enrichissants. **Mr Sadji R.**, mérite toute ma gratitude pour ses compétences pédagogiques remarquables, son partage de connaissances sur le métamorphisme et sa disponibilité envers les étudiants. Je remercie également **MM. Mansour B., Ouali-Mehadji M., Belkhedim S. et Bouterfa B.**, et je leur suis profondément reconnaissant pour leurs engagements et leur dévouement.

Enfin, j'exprime mes sincères remerciements au personnel du laboratoire, **Mr Bouza H.** et **Mr Rachid**, pour la confection des lames minces et aussi **Mme Saliha** pour son aimable accueil et son assistance.

Résumé

Les Accumulations Carbonatées Continentales (ACC) de type "calcrète" du plateau d'Oran (Algérie Nord-Occidentale) sont un type de carbonate qui sont liés à l'émersion du plateau d'Oran pendant le Quaternaire. Ils illustrent la transformation des boues de carbonates grâce à un contraste climatique entre l'humidité et la sécheresse, ainsi qu'à une exposition à l'air libre plus longue, ainsi qu'à la pédogénèse liée aux phases humides. Dans cette étude, les caractéristiques des calcrètes sont utilisées afin de comprendre les principaux éléments environnementaux qui influencent leur formation, son développement et sa distribution dans la région d'Oran, l'une des régions méditerranéennes à climat semi-aride où les horizons ACC sont omniprésents et se manifestent sous diverses formes. Plusieurs échantillons ont été examinés et décrits par des observations sur le terrain. Les données macro- et micromorphologiques du faciès calcrète a suggéré un modèle sédimentaire. Ce modèle a retracé la succession des événements aboutissant à la formation du profil calcaire, à interpréter leur origine et leur répartition par rapport aux conditions paléoclimatiques et à identifier les principaux facteurs qui contrôlent leur formation.

Mots-clés : ACC, Faciès, Dynamique, Modèle, Plateau d'Oran, Paléoclimat, Quaternaire.

ABSTRACT

The "calcrete" type Continental Carbonate Accumulations (CCA) of the Oran Plateau (North-Western Algeria) are a type of carbonate that are linked to the emersion of the Oran Plateau during the Quaternary. They illustrate the transformation of carbonate muds due to a contrast between humidity and drought, as well as longer exposure to the open air, and the pedogenesis associated with wet phases. In this study, the characteristics of calcretes are used to understand the main environmental elements influencing their formation, development and distribution in the Oran region (Boulevard Millénium, in the green space opposite the el Houda Mosque and the Canastel forest), one of the Mediterranean regions with a semi-arid climate where ACC horizons are ubiquitous and manifest in various forms. Several samples were examined and described by field observations. The plausible model is a sedimentary model. The macro- and micromorphological data from the calcrete facies suggested a sedimentary model. This model has traced the succession of events leading to the formation of the limestone profile, interpreted their origin and distribution in relation to palaeoclimatic conditions and identified the main factors controlling their formation.

Keywords: CCA, Facies, Dynamics, Model, Oran Plateau, Palaeoclimate, Quaternary.

Sommaire

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

I- CADRE GEOGRAPHIQUE REGIONAL	5
II- CADRE GEOLOGIQUE	6
III. CADRE STRUCTURAL	11
IV. HISTORIQUE DES ETUDES	12
V. METHODOLOGIE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	13

DEUXIEME CHAPITRE : APERÇU SUR LES ENCROUTEMENTS CALCAIRES

I- INTRODUCTION	15
II- GÉNÉRALITÉS SUR LES ACCUMULATIONS DES CALCAIRES CONTINENTAUX (ACC) ou HORIZONS D'ACCUMULATIONS CARBONATEES (HAC).....	15
III- MODELES DE SEDIMENTATION ET ORIGINES DU DEPOT	17
IV- CLASSIFICATION	19
V- CONCLUSIONS.....	21

TROISIEME CHAPITRE : ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES ACC

I. LITHOSTRATIGRAPHIE.....	23
3. CONCLUSIONS.....	40

QUATRIEME CHAPITRE ESQUISSE PALEOGEOGRAPHIQUE

I. GEOMORPHOLOGIE : Géologie et Morphologie actuelle	41
II. SEDIMENTOGENESE.....	41
CONCLUSION GENERALE	45
Références bibliographiques.....	5

PREMIER CHAPITRE
GENERALITES

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

I- CADRE GEOGRAPHIQUE REGIONAL (Fig.1)

Le littoral oranais est constitué par de petits massifs schisteux secondaires, disposés en "chapelet". Ces massifs sont séparés par des affleurements sédimentaires néogènes et quaternaires. Ce littoral désigne une unité structurale encadré par la Méditerranée au Nord, le marais d'El-Macta à l'Est, les dépressions de la Grande Sebka d'Oran au Sud, les salines d'Arzew à l'Est. On rencontre du Nord-Est au Sud-Ouest les structures suivantes (Gourinard, 1952) :

- le massif d'Arzew qui comprend les Djebels Bourousse et Ourousse et son satellite, le Djebel Khar ou "Montagne des Lions" ;
- le massif d'Oran séparé par le Djebel Khar et le plateau d'Oran ;
- la dépression d'Oued Hammadi ;
- le massif des Andalouses prolongé par l'ensemble volcanique de Djebel Tifaraouine.

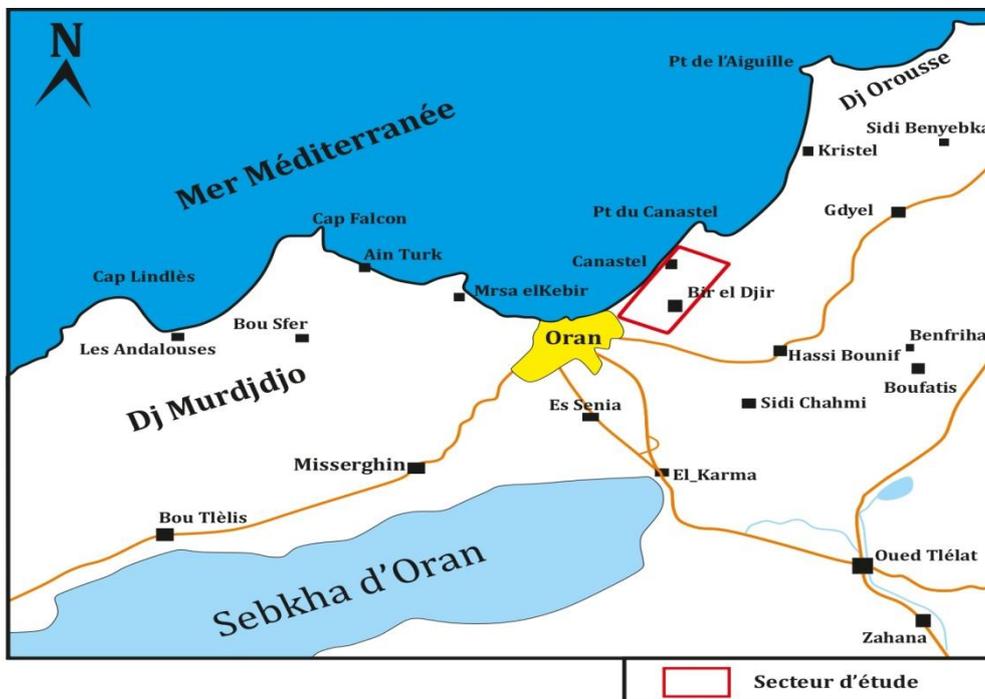


Fig. 1- Localisation géographique de la zone d'étude (Gourinard, 1952)

(Modifié).

II- CADRE GEOLOGIQUE

A. Cadre géologique régional (Fig. 2)

Le littoral Oranais est considéré comme une entité géologique qui se différencie par des particularités géologiques structurales très marquées où on trouve des régions montagneuses subsidentes (Gourinard, 1952 ; Perrodon, 1957). La répartition de rares sédiments pliocènes du littoral oranais montre que ces horsts ont subi un rejeu à la limite Miocène et Pliocène. Ce rejeu est probablement moins important que celui du Quaternaire (Gourinard, 1958).

La région étudiée appartient au Tell septentrionale. Des petits bassins d'âge Miocène à Plio-Quaternaire viennent interrompre la continuité des massifs littoraux où affleurent le Paléozoïque et le Mésozoïque. Ces bassins constituent la plaine de la Mtéla, située dans l'axe de la dépression de Chélif. Elle est occupée en son centre par la Grande Sebkhah d'Oran (Moussa, 2007).

Le bassin du Chélif est un bassin intra-montagneux tardi-orogénique, développé postérieurement à la phase tectonique majeure du domaine tellien (Perrodon, 1957). Il s'enfonce et occupe une grande partie du sillon médian (Neurdin, 1992).

La sédimentation du bassin est contrôlée par des phénomènes tectoniques synsédimentaires qui a pris naissance depuis le Miocène inférieur jusqu'au Quaternaire (Thomas, 1985). Ce bassin appartient à un ensemble d'aires sédimentaires diachrones plus ou moins indépendantes qui se sont surimposées à l'orogénèse tello-rifaine après la mise en place des terrains allochtones.

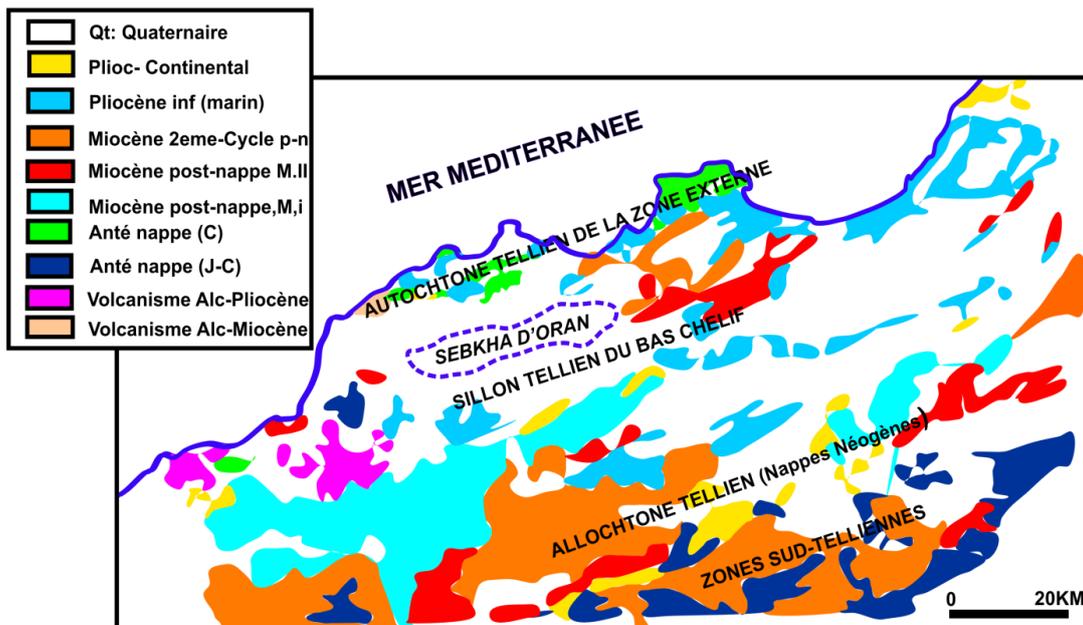


Fig. 2- Carte géologique synthétique du littoral Oranais (Thomas, 1985).

B. Cadre géologique local (Fig. 3)

La région étudiée est constituée par deux grands ensembles :

- (1) un substratum constituant le Djebel Khar et le Murdjadjo ;
- (2) une couverture post-nappe (Néogène) du Mio-Plio-Quaternaire localisée vers les parties basses sur le Plateau d'Oran.

Le substratum anté-Néogène est tectonisé et très érodé, affleurant au niveau de Murdjadjo et de Djebel Khar. Il est représenté par une série stratigraphique allant de Permo-Carbonifère au Crétacé (Ciszak, 1993). Cette série est composée par des schistes, des quartzites, des calcaires et des dolomies.

La série sédimentaire transgressive est constituée principalement par le Miocène représenté par deux cycles marins bien datés :

(i) un substratum schisteux, les marnes, les grès rouges, les argiles, et (ii) les conglomérats du Miocène. Cette lithologie est masquée par des dépôts quaternaires (Calabrien-Thyrénien-Holocène) (Thomas, 1985).

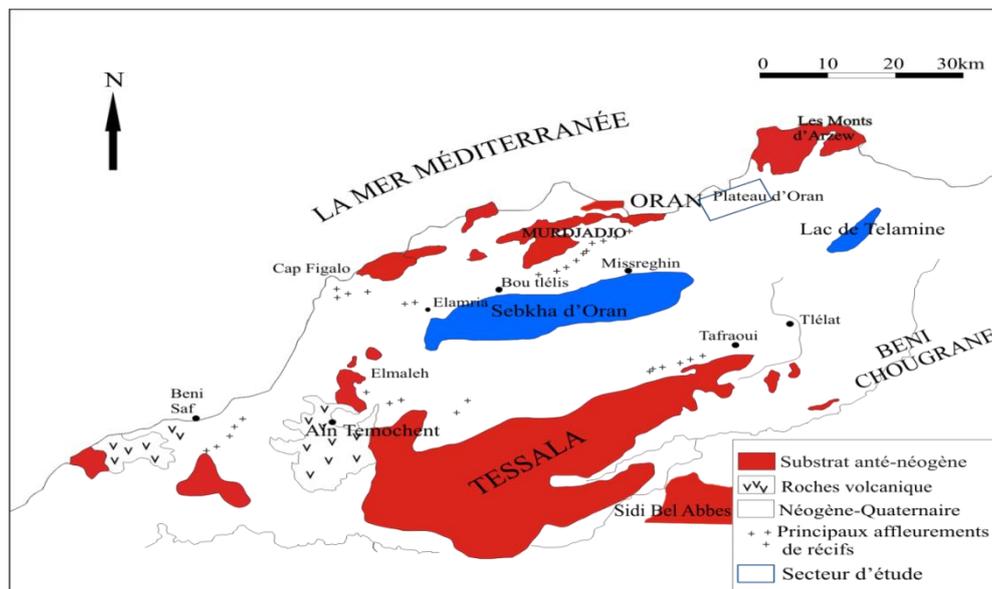


Fig. 3- Carte géologique de la zone d'étude (Gourinard, 1958, modifiée).

C. Contexte stratigraphique :

La description des terrains est basée sur des observations de surface (affleurements) localisées essentiellement dans les massifs littoraux.

Dans les massifs littoraux du Murdjadjo, le substratum est constitué par les affleurements du Primaire. Le Secondaire forme l'autochtone anté-nappe (Thomas, 1985).

1. Le Primaire :

On le trouve au niveau de Cap-Falcon sous forme de schistes admettant des bancs de grès quartzitiques et des lentilles de conglomérats. Il affleure également dans les massifs des Andalouses et de Madakh sous forme de schistes et conglomérats carbonifères et permocarbonifères (Cizak, 1993).

2. Le Permo-Trias :

Il est représenté au niveau du Djebel Khar par des grès à dragées, des schistes violacés et des quartzites, appelé communément le faciès "verrucano" (Ciszak 1993). Son équivalent se trouve au Djebel Doui surplombant la ville de l'Aïn Defla (Kirèche, 1977,1992 ; Nefraoui, 2010).

3. Le Jurassique :

Il constitue la majeure partie du Murdjadjo (500m). Il est représenté par un faciès schisto-gréseux verdâtre très plissé. Parfois, ce faciès passe à des calcaires schisteux à lentilles de calcaires riches en ammonites pyriteuses datés du Barrémien (Zaoui, 2006).

On trouve aussi des calcaires dolomitiques du Lias qui constituent des affleurements peu importants au Nord-Ouest de Gdyl et par des schistes ardoisés devenant brun rouge en surface et qui apparaissent en lambeau sur le flanc Sud du Djebel Khar.

4. Le Crétacé :

Il est représenté par des schistes argileux bruns violets au Nord-Est du Djebel Khar, les schistes calcaires ou s'intercalent des lentilles de calcaire marneux jaunâtres. Au Nord ils reposent sur le Permo-Trias.

5. Le Miocène post-nappe :

Le Miocène est formé en grande partie par des marnes bleues (Guardia, 1975), il est représenté par deux cycles marins bien datés :

- le premier cycle (Langhien-Serravalien) : Ce cycle débute par des conglomérats et des grès épais qui passent à des marnes bleues à patine jaune. Il affleure sur le versant Nord du Murdjadjo et dans les bassins de Mers-El Kébir.

- le deuxième cycle (Torthonien-Messinien) : Ce cycle débute par le volcanisme de Tafraoui et des îles Abibas, et il est signalé par un dépôt de cinérites. Les formations constituant ce cycle sont :

- la série de base (série détritique).
- les marnes bleues (formation marine).

- les formations évaporitiques (formation terminale).
- les calcaires marneux et récifaux (formation de calcaires sommitaux).

6- Le Pliocène inférieur et moyen marin :

Le Pliocène est transgressif et il correspond au 3^{ème} cycle post-nappe (Fenet, 1975). Dans le bassin de Chéelif, le Pliocène est représenté par la succession classique des marnes bleues (Plaisansien) et grés marins (Astien) (Perrodon, 1957). Le Pliocène marin n'affleure pas sur le versant Sud du Murdjadjo, il s'amincit au Nord. Il affleure au Sud du Djebel Khar à Aïn El Bachir et à l'Est d'El Kerma.

A l'Astien, les dépôts évoluent vers un faciès plus continental. Il correspond à des grés calcaires jaunes très fossilifères. Vers le sommet, il y a un passage à des formations laguno-lacustres.

7. Le Plio-Pléistocène :

Dans le massif littoral d'Oran, au niveau de la forêt de M'Sila, affleure une formation qui débute par des grés coquillés pouvant passer à des calcaires lumachelliques reposant sur des schistes crétacés. Cette formation est surmontée par des grés dunaires.

Les grés calcaires du plateau d'Oran s'étendent le long des falaises à l'Est d'Oran avec une altitude moyenne de 80m. Elle remonte en altitude jusqu'à plus de 200m couvrant en écharpe la Montagne des Lions. Elle se prolonge également jusqu'à Gdyel à l'Est et au Sud-Est. Cette formation est attribuée au Quaternaire (Calabrien) (Gourinard, 1958).

Le Calabrien constitue une partie du massif Cap-Falcon, les hauteurs d'Ouled El-Bachir, sur le Murdjadjo apparaît en saillie (en corniche), perché sur le versant Nord du Djebel Khar.

Plus à l'Est, le Plateau d'Oran fait suite au Villafranchien sur la bordure méridionale du Djebel Murdjadjo. Le Calabrien apparaît en affleurement au voisinage de la côte et se développe très largement vers la Pointe de Canastel et le Plateau de Gdyel (ex. Saint Cloud).

8. Le Pléistocène Moyen :

Il correspond aux alluvions anciennes (Doumergue, 1922) et au Quaternaire intermédiaire (Gourinard, 1958). Cet étage se présente généralement par des lambeaux de grès de plage conglomératique à faune banale (Thomas, 1985) localisé essentiellement à l'Ouest d'Oran entre Bouiseville et Monté-Cristo.

9. Le Pléistocène supérieur :

Le Pléistocène supérieur est représenté par des niveaux lumachelliques (couches à Strombes). Ils sont constitués essentiellement de bivalves formant des bancs horizontaux surmontés par des Grès de plage.

10. L'Holocène :

Le relief façonné par les dernières épirogéniques du Pléistocène, il n'est que légèrement modifié par les apports continentaux. Les formations continentales sont formées par des brèches de pente et épandages de cailloutis que l'on trouve aux pieds des massifs littoraux.

Les alluvions récentes (limons grises, argiles-sableux, gypses) forment le fond des Daiïas et les anciens lits de la Grande Sebkha d'Oran.

Les dépôts éoliens, très riches en paillettes de gypse sont en relation avec les Daiïas (Moussa, 2009). Par contre, les croûtes continentales, appelées aussi "*Kerroucha*" ou bien "*caliche*" et/ou "*calcrète*" recouvrent tous les reliefs du Plateau d'Oran. Cette dernière fait l'objet de notre thématique.

III. CADRE STRUCTURALE

A. Cadre structural régional (Fig. 4)

Le bassin Néogène de Chéelif est formé par un ensemble de sous-bassins alignés parallèlement à la côte actuelle (Neurdin, 1992). Il est subdivisé en trois sillons principaux :

- le sillon Nord, correspond aux plaines sublittorales, ex : Plaine de Bousfer, plateau de Hachacha ;
- le sillon médian, comprend la plaine de Mléta avec la Sebkha d'Oran, la plaine de l'Habra et de Chéelif, le Plateau d'Oran, St Louis et Mostaganem ;

- le sillon Sud est occupé par les grandes plaines de Sidi Bel-Abbes et de Mascara ;

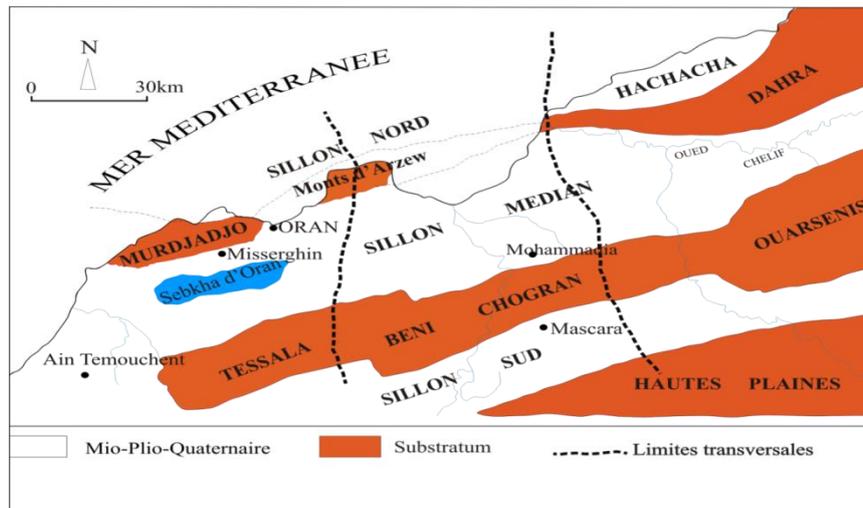


Fig. 4- Cadre structural général du bassin de Chélif (Neurdin, 1992).

B. Cadre structural local (Fig. 5)

Notre secteur d'étude se situe dans le sillon médian plus précisément dans le Plateau d'Oran. Le littoral Oranais est caractérisé par une tectonique synsédimentaire (Thomas, 1985). Celle-ci a provoqué un découpage en horsts et en grabens (Gourinard, 1958). Trois familles d'accidents Sub-verticaux ont été distinguées (Fenet, 1975) :

- une première famille d'accidents de direction $N60^\circ$, encadrant le bassin Néogène de Chélif (Thomas, 1985) ;
- une deuxième direction régionale $N20^\circ$, déterminant les structures souples à grand rayon de courbure (Glaugeaud, 1951), ex : l'accident de Bousfer qui sépare le Murdjadjo de Santa Cruz ;
- une troisième famille d'accidents orientés $N80^\circ$ est à l'origine du fossé de Mers-El-Kébir.

L'accident du Djebel Khar met en contact les séries Jurassique-crétacées avec les dépôts Miocènes (Thomas, 1985).

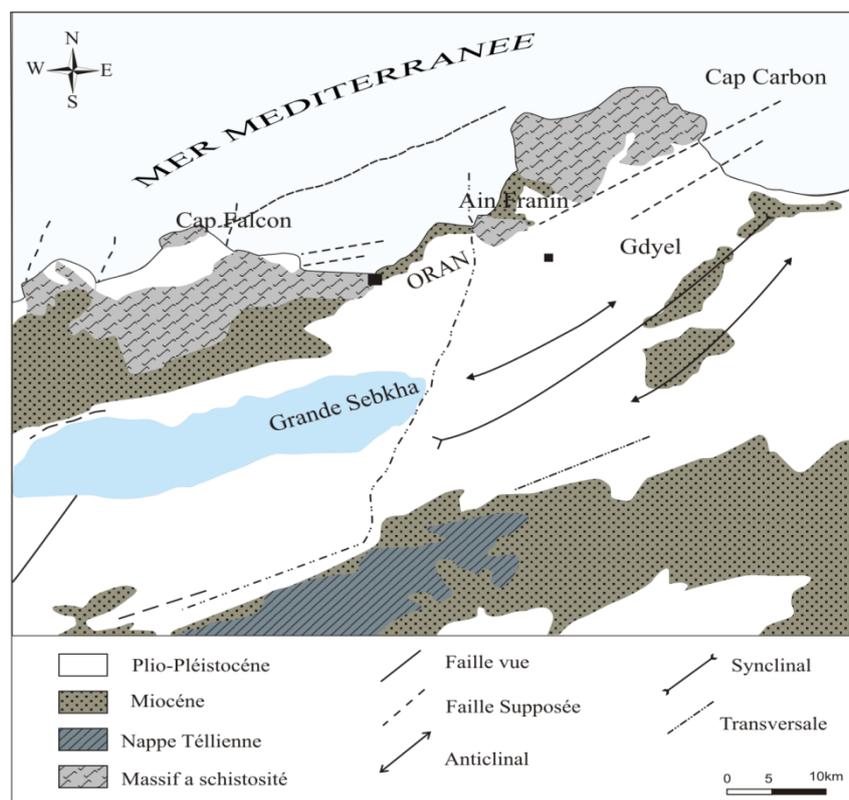


Fig. 5- Schéma structural de l'Oranie (Fenet, 1975).

IV. HISTORIQUE DES ETUDES :

A. Les premières recherches : Elles sont consacrées à la géologie oranaise ont été effectuées dès l'occupation de l'autorité française dans la région. Une première notice géologique sur les environs d'Oran fût publiée par Pomel (1870) suivie par celle de Bleicher (1874) qui peuvent être considérée comme une première recherche, où elles ont été clôturées par la thèse de L.Gentil (1903-1917).

B. La deuxième période (1903-1917) : Elle se caractérise par la réalisation des grands travaux cartographiques grâce à la prospection pétrolière. On cite les travaux de Doumergue (1942) ; Doumergue (1922) ; Dalloni (1915, 1952, 1955).

C. La troisième période (1944-1964) : Elle constitue un essor considérable sur la géologie oranaise. Les travaux reprennent mais avec de nouvelles dimensions. Parmi ces travaux, on peut citer à titre exemple, ceux de Gourinard (1952), Caire (1957), Sadran (1952).

D. La quatrième période de 1964 à nos jours : C'est la période où la micropaléontologie occupe un rôle primordial ainsi que l'application des méthodes modernes de stratigraphie et de

la Géophysique. La recherche micropaléontologique s'illustre par les travaux de (Blow, 1969 ; Blow & Cita, 1969 ; Fenet, 1975 ; Guardia, 1975, 1972 ; Delfaud *et al.* 1972 ; Thomas, 1985 ; Belkebir & Bessedik, 1989 ; Ciszak (1993), Moussa (2007), Nadji (2009).

V. METHODOLOGIE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

A. Documents consultés :

Dans notre travail, les références que nous avons particulièrement consultées sont des documents sur des études qui ont été faites en Amérique et en Australie où les calcrètes sont très étudiés (Goudie *et al.* 1983).

B. Méthodologie :

Deux étapes principales ont été entreprises : (i) d'abord, un travail sur le terrain pour lever des coupes lithostratigraphiques et prélèvement des échantillons ; (ii) ensuite, étude au laboratoire, des sections polies de roches récoltées, pour décrire l'aspect macroscopique. Cette description a été complétée par des lames minces pour l'aspect microscopique. Un lavage dans les dépôts friables a été également réalisé pour pouvoir compléter l'étude de terrain pour le contenu paléobotanique.

C. Objectif de l'étude :

L'absence d'une étude sédimentologique et pédogénétiques sur l'"Horizon d'Accumulations Calcaires "(HAC) ou Calcrètes en Algérie a permis d'entreprendre une étude descriptive sur l'ultime phase des calcrètes du plateau d'Oran afin d'enrichir nos connaissances sur ce faciès qui est mal connu en Sciences de la Terre d'Oran. Cette analyse fait appel à une approche sédimentologique, pédogénique, climatique et dynamique.

DEUXIEME CHAPITRE
APERÇU SUR LES ENCROUTEMENTS CALCAIRES

DEUXIEME CHAPITRE : APERÇU SUR LES ENCROUTEMENTS CALCAIRES

I- INTRODUCTION

Les dépôts calcaires d'encroûtements sont répandus dans les zones subhumides et semi-arides de l'Algérie méditerranéenne et du Sahara. Ils présentent une diversité (i) d'âges ; (ii) de degrés de développement et (iii) d'altération. Leur histoire complexe est le résultat de deux processus contradictoires : (1) une approche diagénétique et (2) une approche climatique provoquant la dissolution de la calcite. Il en résulte des précipitations dans la granulométrie poussiéreuse et la dissolution partielle du profil du sol.

Les dépôts carbonatés quaternaires tardifs au Nord de l'Algérie, montrent une abondance de calcrètes (Menzoul, 2011). Citons :

- (1) *les calcrètes d'eau souterraine* proviennent d'eaux saturées de carbonates qui se déplacent de manière préférentielle selon les plans de stratification.
- (2) *les calcrètes pédogénétiques* se forment par des processus de formation de sols généralement dans des zones extra-canalises.
- (3) *les conglomérats calcaires* se produisent sous forme de rubans, de feuilles et de lentilles en raison du recyclage des calcrètes tant pédogénétiques que souterraines.

II- GÉNÉRALITÉS SUR LES HORIZONS D'ACCUMULATIONS CARBONATEES (HAC)

A. Dénominations

Les Accumulations des Calcaires Continentales (ACC), appelées jadis "Horizons d'Accumulations Carbonatées" (HAC), et/ou « calcrètes », « caliches » ou « croûtes calcaires » sont des formations assez couramment observées au sein des profils pédologiques formés sur des substrats calcaires. Ces différentes dénominations ont été employées au fil du temps pour décrire une grande diversité de faciès carbonatés. Ils sous-entendent généralement une induration plus ou moins superficielle qui peut trouver son origine dans une accumulation carbonatée dans les profils pédologiques (Gile *et al*, 1965), ou des cimentations issues de phénomènes diagénétique, cryogéniques, phréatiques, vadoses, des rhizocrètes (Purvis et Wright, 1991), des brèches tectoniques (Rigby, 1953), des brèches de versant (Breton et al, 1989) ou des spéléothèmes (Chafetz et Butler, 1980), etc... Wright et Tucker (1991) proposent

une définition de ces structures en s'appuyant sur celles de Goudie (1973) et de Watts (1980) : «*Les calcrêtes sont des horizons d'accumulation localisés proches de la surface du sol qui sont principalement mais non exclusivement composés de carbonate de calcium qui peut se présenter sous différentes formes allant d'un état nodulaire à un état poudreux en passant par un état fortement induré. Ils sont issus de cimentation et d'introduction de carbonate de calcium au sein du profil pédologique, de la roche mère et des sédiments dans des zones où les eaux vadoses et les eaux souterraines phréatiques peu profondes sont saturées en carbonate de calcium* ».

B. Répartition mondiale

A l'heure actuelle, les profils pédologiques au sein desquels des quantités importantes de carbonates de calcium s'accumulent sont assez répandus (Alonzo-Zarza et Wright, 2010). D.H. Yaalon (1988) estime que ces profils pédologiques représentent 10 % des terres émergées à la surface de la Terre.

C- Environnement paléoécologique

Ces ACC (Accumulations Carbonatées Continentales) sont généralement localisés dans des régions ayant une température moyenne annuelle comprise entre 16 et 20 °C et des précipitations moyennes correspondant à un climat semi-aride qui sont comprises entre 100 et 500 mm d'eau par an (Goudie, 1983). A titre d'exemple, les HAC occupent 21 % de la surface de l'Australie (Chen *et al.*, 2002). Ces structures sont assez courantes sous climat méditerranéen lorsque les précipitations annuelles sont inférieures à 600 mm et que la température annuelle moyenne est d'environ 18 °C (Alonso-Zarza, 1999 ; Alonso-Zarza et Wright, 2010 ; Hamidi *et al.*, 2001 ; Vogt, 1984). La présence d'ACC est cependant relevée dans des régions du globe au contexte climatique varié plus ou moins singulier. Ces structures peuvent, en effet se former sous des climats qui induisent des précipitations plus importantes supérieures à 1000 mm (Mack et James, 1994). Goudie (1973) décrit ce type d'horizon sous climat tropical mais ils peuvent également être localisés sous climat sub-désertique (Schlesinger, 1985) ou sous climat semi-continentale (Loisy, 1997). Les ACC peuvent aussi se former sous climats nettement plus froids comme dans l'Arctique (Lauriol et Clarke, 1999) ou l'Antarctique (Foley et al, 2006 ; Vogt et Corte, 1996). Même si les HAC semblent associés préférentiellement aux climats semi-arides, il apparaît clairement que ces structures semblent assez ubiquistes et pas uniquement en lien avec les conditions climatiques.

D- Répartition stratigraphique

Si tous les autres facteurs pédogénique (formation de sols restent constants), l'effet du temps est d'augmenter le stade de développement du calcrète. Ainsi, les calcrètes les plus anciens ont tendance à être les plus forts. Le plus fort possède le meilleur classement. Les terrasses en rivière ou en pan sont les plus anciennes et les calcrètes sur les terrasses les plus élevées sont généralement les plus développés et les plus épais.

Si l'un des autres facteurs pédogénique (en particulier le climat et le drainage) change avec le temps, le calcrète fossile peut en résulter et, en effet, beaucoup de calcrète en Afrique sont en fait fossiles.

L'âge des calcrètes en Afrique a été regroupé en cinq catégories (Netterberg, 1969) : Pré-Pliocène, Pliocène supérieur (probablement 2 à 5 millions d'années), Pléistocène moyen (environ 100 000 ans), Pléistocène supérieur (probablement 10 000 à 20 000 ans), Récents (moins d'environ 1000 ans).

Comme ils ne se forment pas à l'heure actuelle, les calcrètes fossiles ne doivent pas se produire sous les conditions actuelles favorables à la formation de calcaires, et lorsqu'elles font des affleurements peuvent être extrêmement difficiles à localiser. Empiriquement, il est cependant constaté que même les calcrètes fossiles obéir aux corrélations climatiques mentionnées précédemment et ne pas se produire sur des calcaires et non calcaires des roches comme le granite.

III- MODELES DE SEDIMENTATION ET ORIGINES DU DEPOT

La littérature scientifique a présenté au cours du temps de nombreuses hypothèses quant à la formation des Horizons d'Accumulations Carbonatés (ACC). Freytet et Verrecchia (1989) réalisent une revue commentée des différents modèles existants qui sont hétérogènes et non comparables entre eux. Certains font appel à plusieurs approches (i) milieux de dépôt, (ii) mécanismes de précipitation (iii) origine du carbonate (Verrecchia, 1984). Plusieurs modèles ont été évoqués :

A. Le modèle lacustre

Le modèle lacustre présente des faciès laminés, fréquents sur le pourtour du paléolac (Ramadane et Sadj, 2017) permettant de déduire que certains HAC pourraient être d'origine sédimentaire (biologique et lacustre). Les calcaires palustres appartiennent à ce modèle, ce sont des sols hypercalcimorphes (Freytet, 1971 ; Freytet et Plaziat, 1982). Ils sont noduleux, à traces de racines élargies (pseudomicrokarst) et à séquences lacustres/palustres/stromatholitiques (Freytet et Verrecchia, 1989 ; Sadj, 2014 ; Ramdane, 2012).

B. Le modèle *in situ*.

Dans ce modèle, le carbonate provient directement de l'altération d'une roche-mère carbonatée. Il s'agit des ACC que l'on peut par exemple trouver dans les rendzines actuelles sur colluvions.

C. Le modèle *per ascensum*.

Il s'agit du modèle le plus anciennement imaginé et purement théorique (Pomel, 1872). Il met en œuvre une remontée capillaire associée à l'évaporation des eaux enrichies en carbonates dissous (Moseley, 1965). Selon Freytet et Verrecchia (1989), ce mécanisme « repose sur une méconnaissance totale de la circulation de l'eau dans les sols d'une part et sur l'hypothèse erronée selon laquelle une croûte est un profil unique, simple et actuel d'autre part.

D. Le modèle *per descensum*.

Il s'agit d'une accumulation progressive des carbonates provenant du lessivage des horizons pédologiques sus-jacents (Hawker, 1927 ; Price, 1933 ; Gile *et al*, 1966). Ce modèle semble être le mode de formation classique des horizons pédologiques de toutes natures et réunit la grande majorité des auteurs. La concentration de matière se fait par un enrichissement en argiles et par le comblement de la porosité par les précipitations dans la zone d'enracinement maximal.

E. Le modèle sédimentaire

Dans ce modèle, les carbonates sont transportés par l'eau puis précipités lors de leur évaporation (Branner, 1911 ; Jaranoff, 1937 ; Lattman, 1973). Une influence d'organismes peut être responsable des précipitations pour aboutir aux tufs, oncolithes... (Vaudour, 1981).

F. Le modèle géochimique

Dans ce cas, la croûte calcaire se développe sur des roches non carbonatées : schistes (Freytet, 1971), gneiss (Schmitt et Simon Coincon, 1985) à partir d'apports éoliens principalement, ainsi sur les argiles versicolores à dolérites (Ramadane, 2017). Les carbonates corrodent et remplacent leur substrat par épigénie calcaire (Millot *et al*, 1977 ; Nahon et Ruellan, 1975).

IV- Classification

La classification des ACC est assez complexe du fait de l'utilisation de différents paramètres pour les décrire. En fait, cette classification se fait :

A. En fonction de l'environnement diagénétique.

Dans la zone vadose ("*pedogenic calcrete*"). Les ACC se forment au sein (i) des profils de sol exhumé ; (ii) dans la zone phréatique ; (iii) au niveau de la frange capillaire issue des nappes ou plus en profondeur à cause des déplacements latéraux de l'eau ("*groundwater carbonates*") (Alonzo-Zarza et Wright, 2010) ; (iv) dans la zone continental-vadose calcrete. Ce quatrième type d'HAC plus rare qui se forme au sein de profils de sol inhumé, lorsque des eaux de ruissellement enrichies en carbonates s'infiltrent au sein de sédiments de chenaux conduisant au colmatage de la couche sédimentaire par le ciment calcaire. A cet effet, la production de carbonates présentant une "structure laminée" (Mack *et al*, 2000).

B. En fonction de leur maturité.

Les HAC se classent en trois stades en fonction de leur maturité (Price, 1933) : (i) "*young caliche*", (ii) "*mature caliche*" et (iii) "*old caliche*". Cette classification est suivie par les études d'autres auteurs qui définissent la classification des HAC d'origine pédologique en 9 catégories en fonction de leur morphologie (Netterberg, 1967, 1980 ; Goudie, 1983). Cette classification est reprise par Wright et Tucker (1991) (Fig. 6).

Catégorie	Description
<i>calcareous soil</i>	Sols très faiblement ou non cimentés présentant des petites accumulations de carbonates telles que des revêtements de grains, des occurrences plus ou moins étendues de carbonates pulvérulents (les auteurs incluent la calcite en aiguilles), des fractures ayant subi des réprécipitations de carbonates et des petits nodules
<i>calcified soil</i>	Sols bien cimentés, potentiellement friables avec un certain nombre de nodules carbonatés et contenant des taux de carbonates allant de 10 à 50 %
<i>powder calcrete</i>	Niveau continu de fine poudre de carbonates qui ne présente généralement pas d'organisation particulière et sans occurrences de nodules carbonatés
<i>pedotubule calcrete</i>	Ensemble des carbonates secondaires formant des encroûtements autour des racines et en remplissages de fantômes racinaires ou de formes tubulaires diverses
<i>nodular calcrete (= glaebular calcrete)</i>	Concrétions de carbonates plus ou moins cimentées qui peuvent former des pisolithes par dépôt en couches successives
<i>honeycomb calcrete</i>	Assemblage de nodules partiellement fusionnés dont les espaces interstitiels contiennent des éléments plus ou moins indurés
<i>hardpan calcrete (= petrocalcic horizon)</i>	Horizon induré à structure laminée présentant une micromorphologie complexe dont la surface supérieure est très nette contrairement à sa surface inférieure plus progressive
<i>laminar calcrete</i>	Feuillets de carbonates indurés généralement établis sur des cuirasses ou des substrat géologiques déjà indurés
<i>boulder/cobble calcrete</i>	Cuirasses altérées par de la fracturation, de la dissolution et de la fracturation d'origine racinaire

Tableau 1- Tableau montrant la classification morphologique des calcrêtes (Wright et Tucker, 1991 ; Netterberg, 1967, 1980 ; Goudie, 1983).

C. En fonction de la microstructure.

La classification des calcrêtes peut aussi être basée sur les microstructures qu'ils présentent. Deux grands types de microstructures ont été établis (Wright, 1990 et 2007) (Fig.6) :

- le premier est nommé « alpha » et se présente sous la forme d'un fond matriciel micritique à microsparitique qui contient différents types de structures d'origine abiotique.
- le second, nommé « bêta », présente des microstructures dont les origines sont à mettre en lien avec processus d'origine biologique.

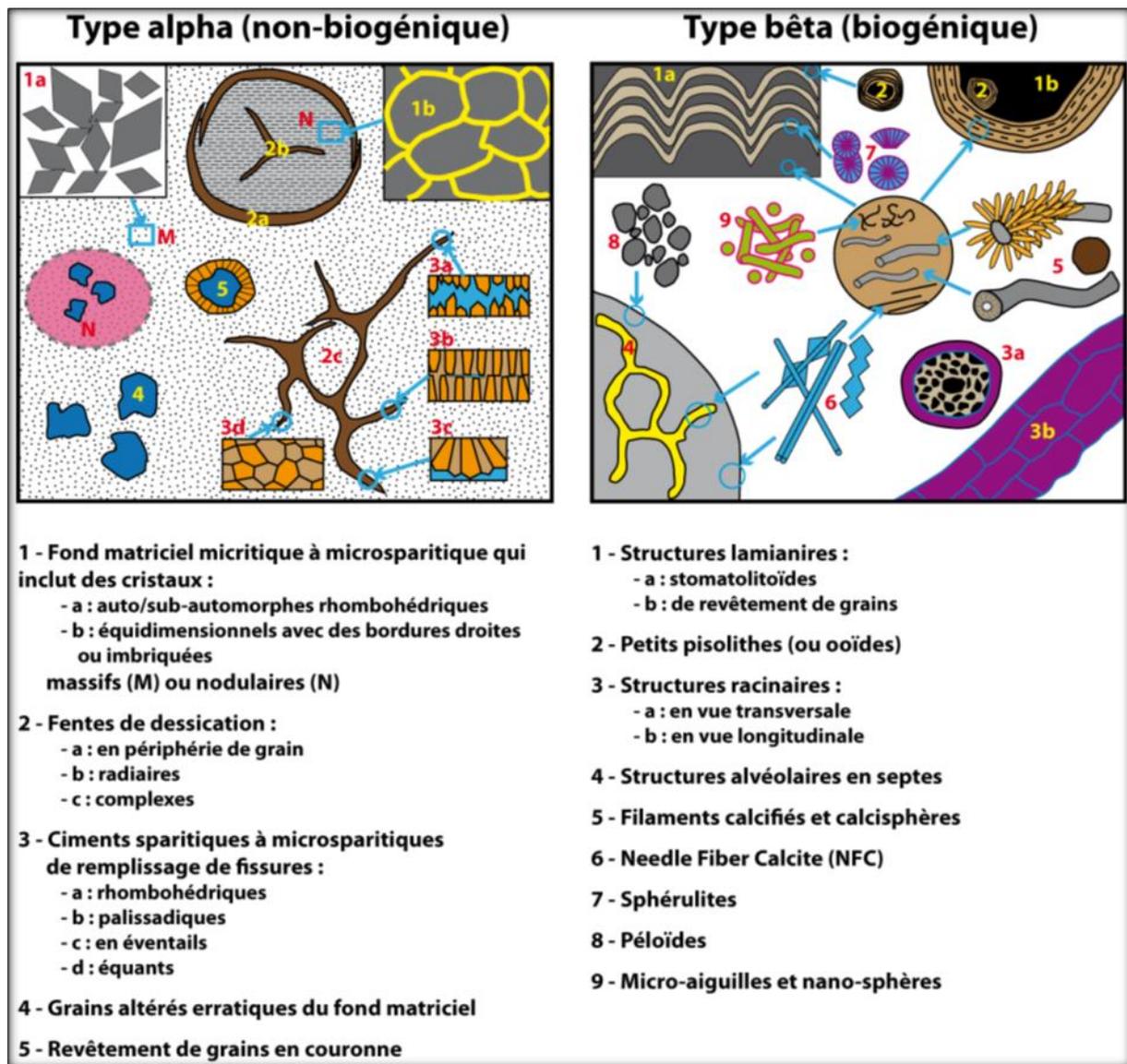


Fig. 6- illustration montrant la représentation schématique des deux types de microstructures (alpha et bêta) dans les calcrêtes (Wright, 1990, 2007 ; Zhou et Chafetz, 2009, modifiée).

V- CONCLUSIONS

Les Accumulations Carbonatées Continentale (ACC) sont une très grande famille de carbonates continentaux qui possèdent un grand nombre d'appellations différentes en fonction de leur nature ou simplement issues de la terminologie historique (encroûtements, croûtes calcaires, calcrêtes, caliches...). La grandeur de cette famille et le grand nombre de structures parfois très différentes qu'elle regroupe semble donc assez souvent induire une difficulté à en présenter des caractéristiques générales, que ce soit sur leur origine, leur morphologie et micromorphologie.

TROISIEME CHAPITRE
ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES ACC

TROISIEME CHAPITRE : ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES HAC

I. LITHOSTRATIGRAPHIE.

Nous limiterons notre secteur d'étude (coupes) dans la partie Nord-Est du plateau d'Oran qui se situe au Sud entre les massifs littoraux de Murdjadjo et le Djebel Khar. Les profils choisis se localisent plus exactement au "Boulevard Millénium" et dans la "Forêt de Canastel".

A. La séquence-type des calcrêtes

La séquence-type (Fig. 8) d'âge holocène s'intercale entre deux entités lithologiques : les calcarénites inférieures ou "éolianite côtière" (Plio-Pleistocène) et les arénites supérieures ou "éolianite subaérienne" (Quaternaire tardif ou Holocène terminal). Cette succession s'achève par des formations pédologiques récentes d'âge anthropocène.

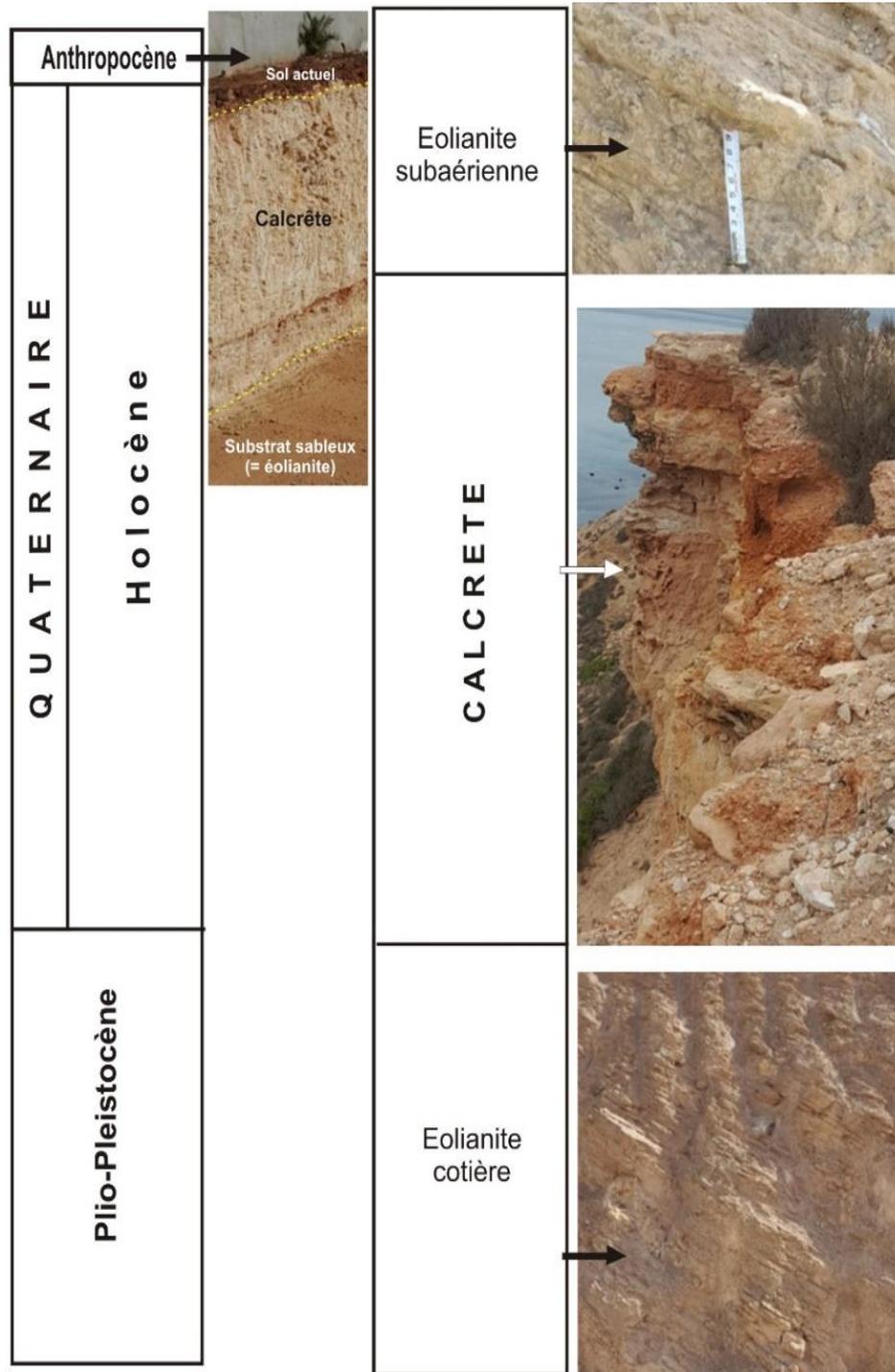


Fig. 7- Séquence-type des calcrètes.

B. Localisation de la coupe

Deux coupes ont été levées dans deux endroits différents. La première, c'est celle du "Boulevard Millenium" dans l'espace vert en face de la Mosquée *el Houda* (Fig. 9a).

La deuxième est levée dans la "Forêt de Canastel" qui se situe à 3 km à l'extrémité Est de la précédente (Fig. 9b).

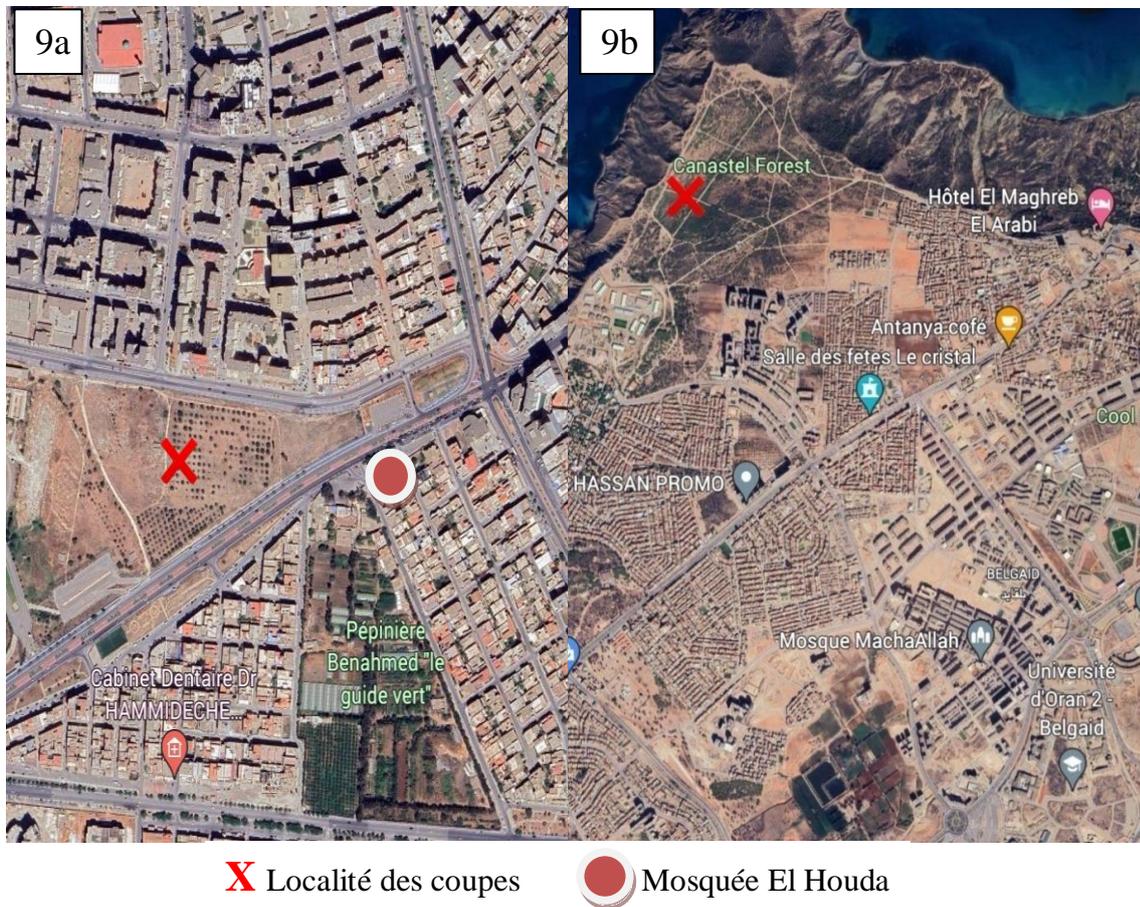


Fig. 8- Carte géographique locale du secteur d'étude (Google Earth, 2024).

II. DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE.

La formation des ACC se fait en deux processus : la sédimentogénèse et la pédogénèse. Pour ce faire, leur analyse se procède en deux étapes : la description macroscopique et microscopique.

A. La phase de sédimentogénèse

1. Description macroscopique. Sur un substratum sableux (Fig. 10) de couleur jaune-brun à stratifications obliques, parfois des stratifications parallèles se superposent les faciès de calcrêtes suivants :

1.1. Faciès massif: cet horizon est représenté par un banc massif de calcaires gréseux jaunâtre à la patine et rosâtre à la cassure, contenant des concrétions carbonatées parfois siliceuses de forme irrégulière, allongés et ou concentriques, de taille maximale de 10cm. Ce calcaire massif est parcouru parfois par des rhyzolithes.

1.2. Faciès concrétionné: il est représenté par un horizon calcaire à aspect conglomératique massif (0,5m), à éléments anguleux à subarrondis et hétérométrique dont la taille oscille entre le millimètre et le décimètre. Il est polygénique constitués par des éléments blancs et d'autres noirs qui sont plus abondants et ils sont enveloppés par un liseré noir ; il s'agit probablement de la matière manganifère. Ces éléments sont pris dans un ciment carbonaté rouge à ocre. Ce dernier est localement altéré et laisse place aux paléosols rouge qui constitue le sol fersiallitique de type méditerranéen ou " *Terra rossa* ".

1.3. Croûte zonaire: la croûte zonaire repose sur le faciès précédent. Les lamines qui la composent ont des formes plus ou moins contournées représentées par des laminations d'origine algaire ou microbienne et leur épaisseur est variable de quelque centimètre à millimétrique, leur forme est irrégulière et discontinu. Elle est de couleur blanche à rouge.

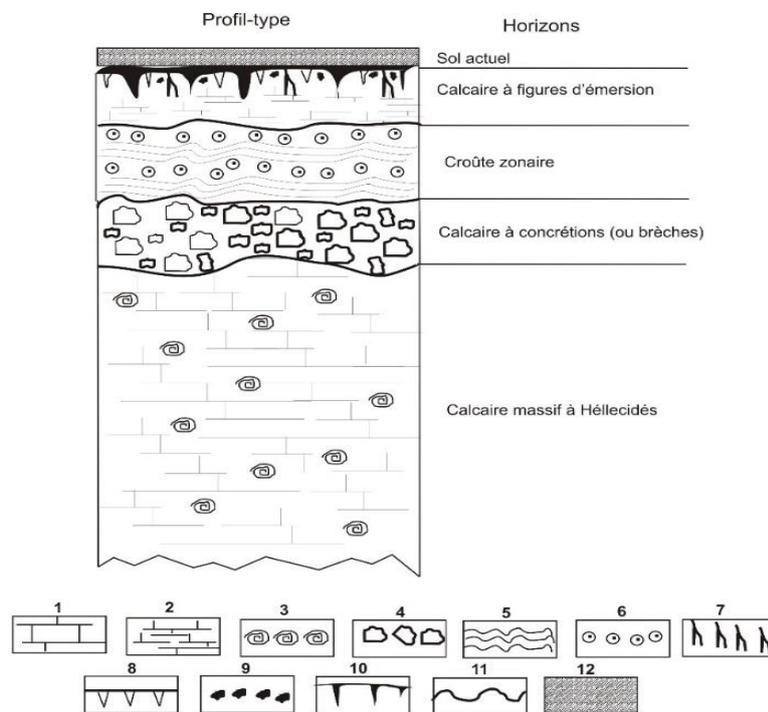


Fig. 9- Le profil-type des calcrêtes (sans échelle).

1: Calcaire massif beige saumon; 2: Croute calcaire gris et beige; 3: Hélicidés (*Helix*); 4: Brèches; 5: Lamination; 6: Pisolithes; 7: Rhyzolithes ; 8: Sheet cracks ; 9: Cailloux noirs ; 10: Figures Karstiques ; 11: Microravinement ; 12: Sol actuel

B. La phase de pédogénèse.

1. Horizon à rhyzolithes (LM-9a) :

2. Horizon à activité microbienne :

3. Horizon à figures d'émersion. Il est caractérisé par des calcaires de couleur rouge à rosâtre, riche en figures de dessiccation (mud cracks, fente et brèche de dessiccation), des figures karstiques, et des galets noirs qui indique l'émersion.

Cette coupe est achevée par un autre ensemble sableux dunaire rubéfié de couleur jaunâtre à stratifications obliques traversé verticalement par des structures rhyzolithique.

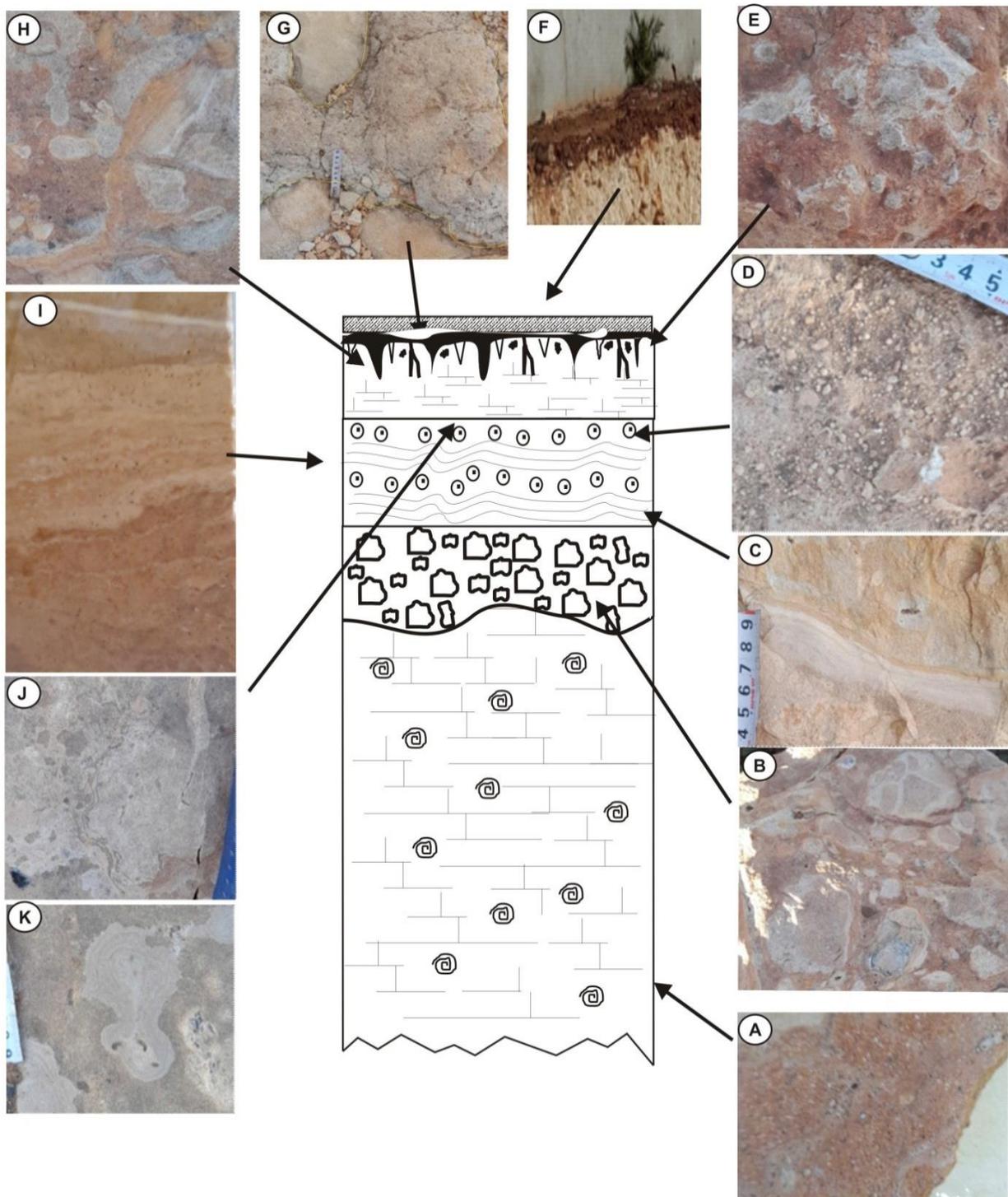


Fig. 10- Localisation des échantillons bruts et des sections polies sur la coupe-type.

A: Calcaire massif beige et gris; **B:** Calcaire concrétionné contrent des éléments homogènes **C:** calcaire zoné à alternance de laminations algaires et des calcaires micritiques à quartz; **D:** Calcaire oodique; **E:** Karstification, noter les argiles rouges d'altération ou fersialitique causée par le processus décarbonatation (= paléosol rouge ou terra rossa). Noter quelques reliquats de la roche encaissante ; **F:** Sol actuel de pédogénèse; **G:** Cavité remplie d'argile grise de type podsol; **H:** Bréchification due à la désagrégation des roches par les plantes; **I:** Alternance binaire de micrite rose saumon et micrite rose claire à activité microbienne. Noter de petits grumeaux homogènes et endogènes; **J:** Tapis algaire avec brèches de dessiccation sur le sommet des calcaires zonés; **K:** Oncoïdes composés des calcaires zonés.

III. DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

A. *Faciès massif (LM-7)*. Le microfaciès est caractérisé par des grains de quartz abondants plus de 50%, de forme anguleuse à sub-anguleuse non-jointif et de rares bioclastes. Les constituants sont noyés dans une micrite rose à petits éléments rosâtres arrondis. Au sommet, il devient concrétionné (LM. 6).

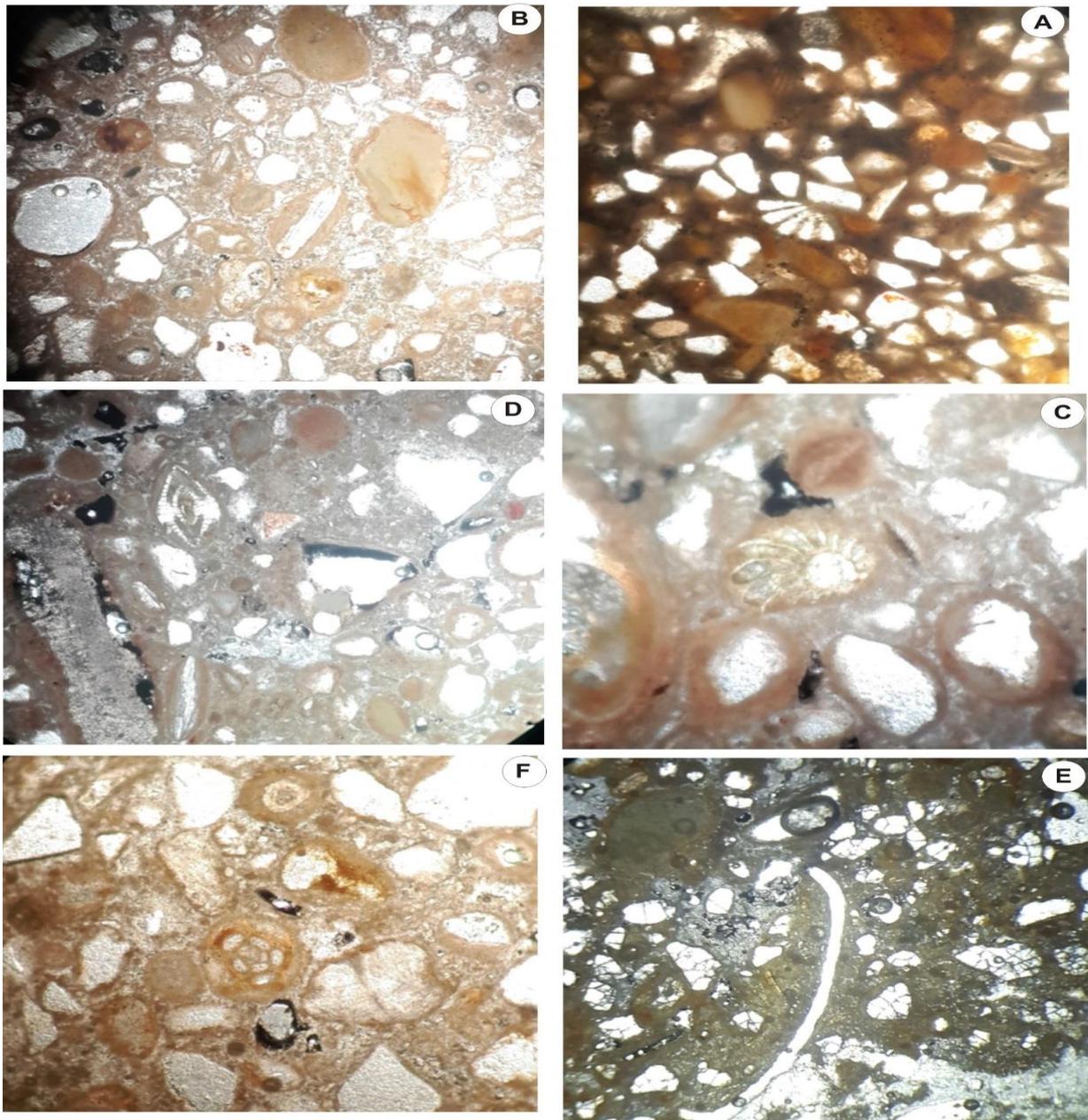


Fig. 11- Microfaciès de l'horizon de régolithe (substrat) (GR : $\times 400$).

A : Micrite à éléments versicolores arrondis à subarrondis, associés à des bioclastes ; **B :** Horizon concrétionné, micrite à grains de quartz bien arrondis et des éléments rosâtres. Notons les éléments les plus grossiers sont enrobés d'un film microbien ; **C :** Idem à foraminifère benthique (*Ammonia*) ; **D :** Idem à Nummilites ; **E :** idem à bioclaste de bivalve ; **F :** Idem à Miliolidés (*Quinqueloculina*).

B. *Faciès concrétionné (LM-6)*. Ce microfaciès est constitué par des éléments minuscules de quartz arrondis à subarrondis associés à divers éléments (rose, brun, blanc, noir..) et des composites polygéniques bien émousés enveloppés par une pellicule brunâtre microbienne. Quelques bioclastes y sont présents. Nous notons aussi la présence des foraminifères (*Ammonia beccarii*, *Quinqueloculina*, *Nummulite*) et des radioles d'oursin où tous les éléments (quartz, bioclastes..) sont enrobés par une argilane rose dans une matrice pelmicritique très bioclastique.

C. *Croûte zonaire (LM-3)*. Cet horizon se caractérise par une alternance millimétrique à centimétrique formé par deux sous-horizons : des laminations algaires ocre et de la micrite grise à quartz. Le sous-horizon à quartz est traversé par des recoupements racinaires. Nous soulignons la présence des plages de micrite, probablement de la micrite rouge du paléosol. De menus grains de quartz arrondis à sub-arrondis non-jointifs entourés d'un ciment micritique avec la présence d'une activité microbienne d'origine crypto-algaire disposée en dôme (SH) puis en LLH (Logan, 1993) qui se développe en SS générant ainsi des pisoïdes. Parfois des lamines infra millimétriques phosphatées y sont présentes.

D. *Horizon à figures d'émersion (LM-9)*. Cet horizon est amalgamé et marque l'ultime discontinuité marquée par l'émersion de la succession du profil-type (Fig. 11). Cette rupture est caractérisée par un télescopage d'encroûtements calcaires à diverses figures d'émersion, on les dénomme de sous-horizons : fente de dessiccation (mud-craks), figures karstiques, cailloux noirs, rhyzolithe, bréchification...

1. *Sous-horizon à rhyzolithe (LM-9a)* : il s'agit d'une texture mudstone pelletoïdale, à rare grain de quartz. La microfabrique est recoupée par des rhyzolithes. On note la présence de microfigures tels que les bird eyes, des dents de chien (environ 6 μ) et de baguette d'aragonite aciculaire (4 μ) avec des structures algaires. On remarque que la base de l'élément racinaire est soulignée par un ciment microstalactitique (Pendant).

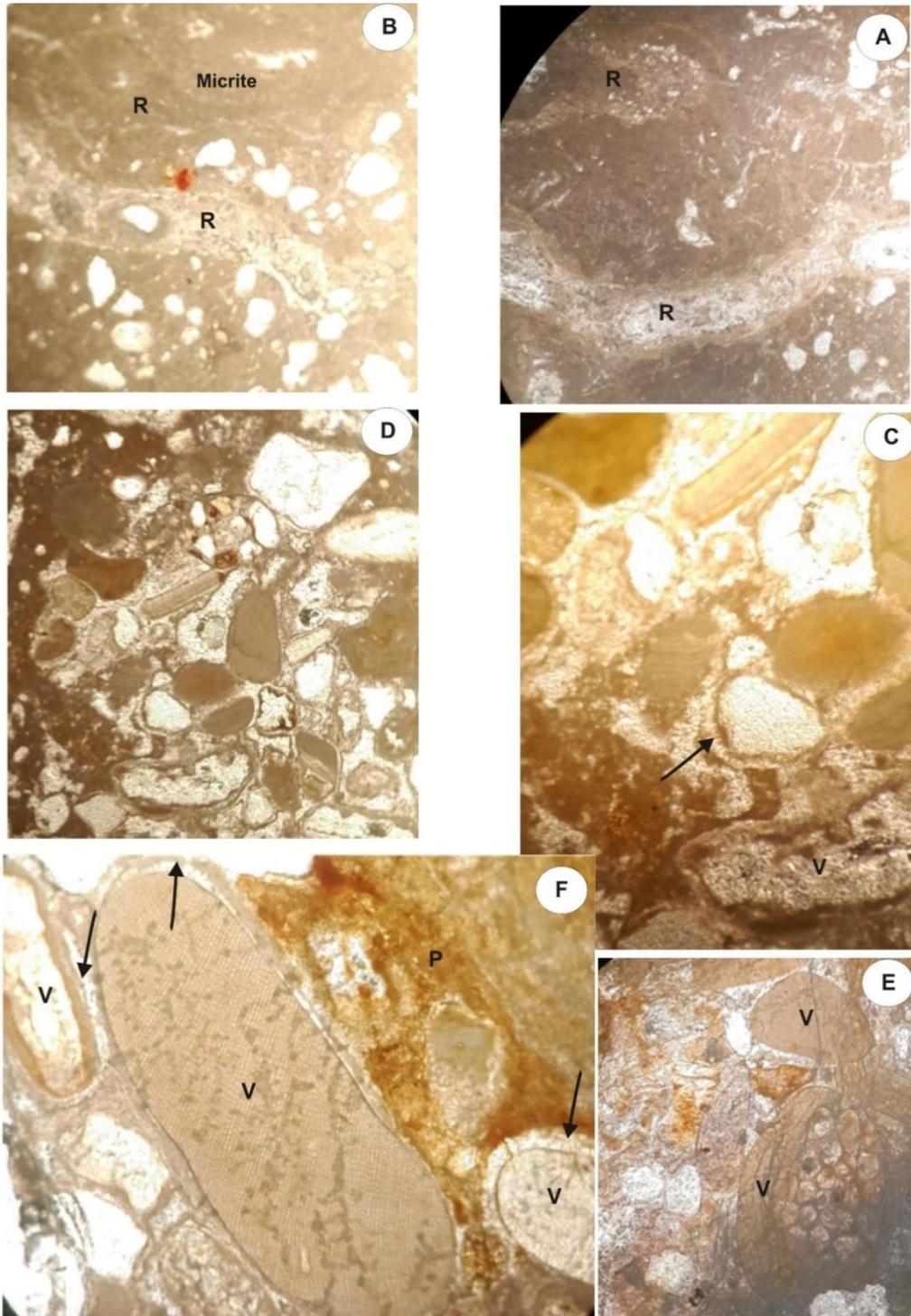


Fig. 12- Rhyzolithes (R) (A et B) et éléments végétaux (V) (C, D, E, F) mêlés dans un paléosol (P). Quelques éléments sont entourés par un liseré de *Microcodium* en " épi de maïs "(flèches). (GR : ×400).

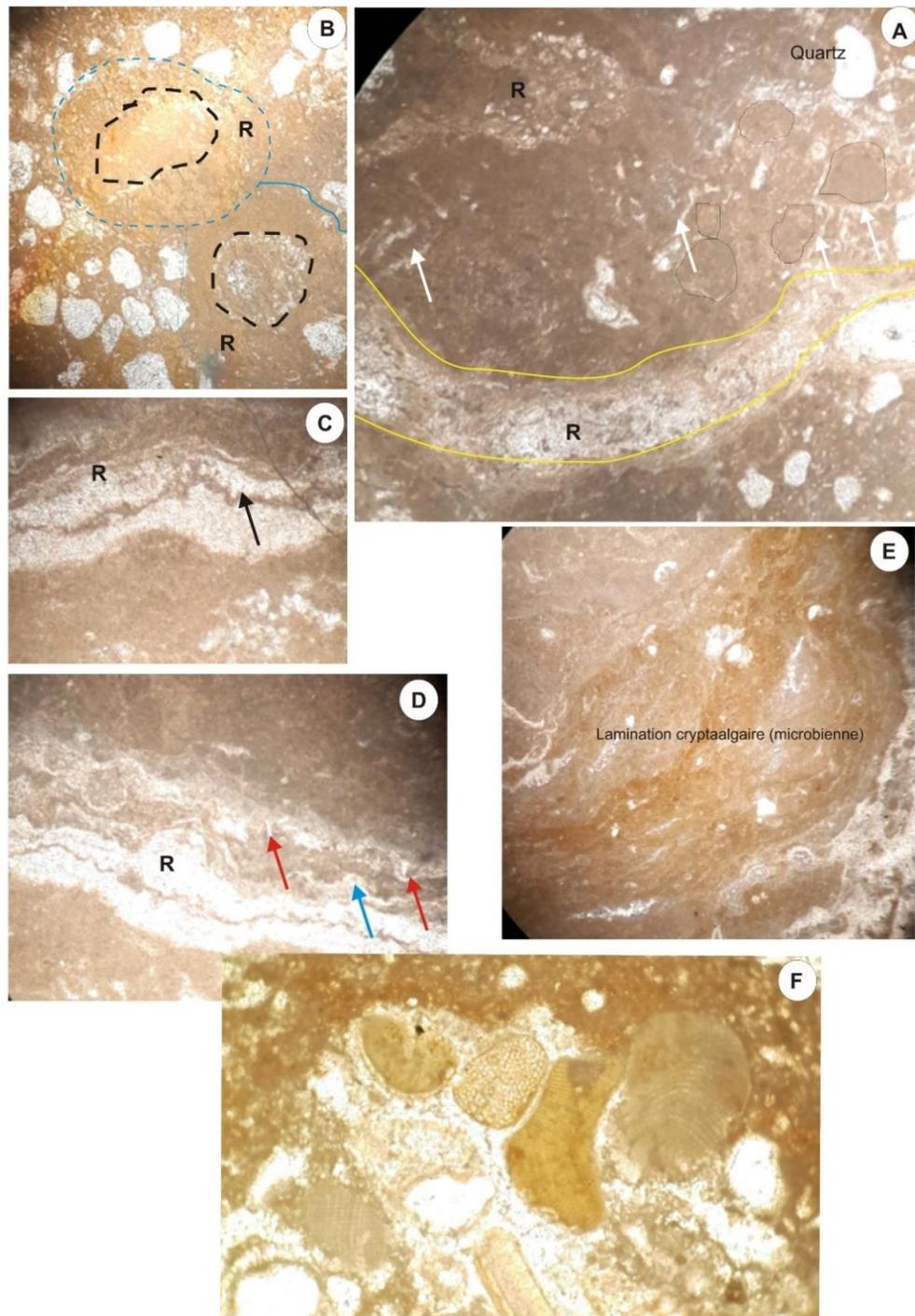


Fig. 13- Horizon à rhyzolithes (R) (GR : ×400).

A : Système racinaire fragmentant la micrite à grains de quartz à emporte-pièce (bréchification) ; **B :** Système racinaire (Rhyzolithe, R) en coupe longitudinale montrant le cylindre périphérique et le cylindre centrale repoussant les grains de quartz à l'extérieur ; **C :** Système racinaire un ciment en dent de chien (flèche noire) ; **D :** fibre aragonite (flèche rouge) et le ciment microstalactitique (flèche bleue) ; **E :** Activité cryptalgale affecté par des alvéolaire circumgranulaire ; **F :** Présence divers éléments végétaux entouré soit par un film microbien, soit un liseré de *Microcodium*.

2. Sous-horizon à activité microbienne (LM-9b). Le microfaciès représente une succession de micro-séquence d'ordre 0 (Kazi-Tani, 1986) (Fig. 12) : (i) le 1^{er} terme est formé par une micrite

à quartz et éléments multicolores avec des bryozoaires probables ; (ii) le 2^{ème} terme correspond à un faciès calcitique comprenant des gravelles à contour flou composé de pellet traversé par une rhyzolite et le 3^{ème} terme est représenté par une structure crypto-algaire qui se termine par des cavités allongées, assimilées à des bird-eyes, ce sont des circumgranulaires et des fentes de dessiccations engendrant une bréchification intense. On note également dans la cavité laissée par la dissolution du système racinaire des micro-stalactites, de l'aragonite aciculaire et les "dents de chien" qui indiquent l'émersion.

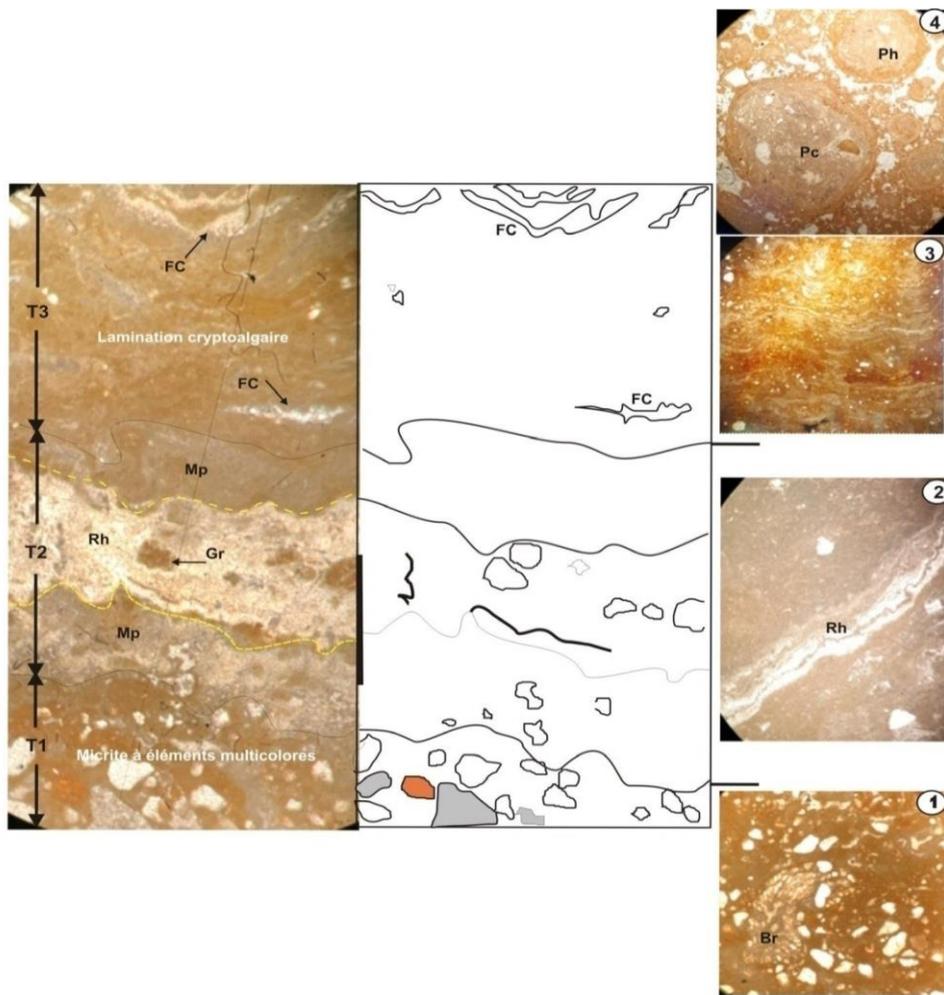


Fig. 14- Microséquence d'ordre 0 montrant les termes suivants: 1- terme 1(T1): c'est une micrite brune à menus bioclastes et des éléments multicolores arrondis contenant des bryozoaires (Br) remaniés; 2- terme 2 (T2): micrite grise à peloides à peu de quartz Br arrondis traversée par une rhyzolite (Rh). Notons les gravelles (Gr) résultant de la bréchification de la micrite; 3- terme 3 (T3) : lamination cryptoalgale piégeant des grains de quartz inframillimétrique. Notons les fentes circumgranulaires (FC). 4- Rôle de l'activité microbienne générant des pisolites homogènes (Ph) et composites (Pc) dans une pâte micritique à quartz. - Echelle: la barre est 20 microns; - Trait noir plein: microravinement - Tiret jaune: les parois du système racinaire. (GR : $\times 400$).

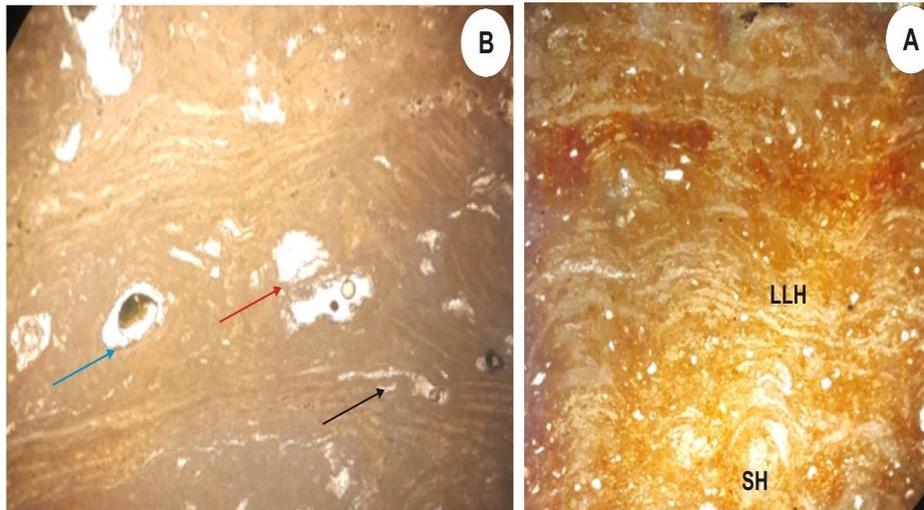


Fig. 15- Activité microbienne (GR : $\times 400$) : lamination microbienne irrégulière de type LLH et SH (A) ; Lamination perturbé par une rhyzolithes (flèche bleue) (B). Notons des fentes de dessiccation (flèche rouge) et fente laminaire ou alvéolaire circumgranulaire (flèche noire)

3. Sous-horizon à pisolites (LM-1). Ce sous-horizon est le "caliche à pisolites" constitué par une micrite gris-ocre à pelote de taille inframillimétrique de 1 à 2 μ et des grains de quartz et des éléments multicolores (Fig. 17). Des microstructures concrétionnées de type SS (Logan, 1993) générant des pisolites individuelles et d'autres sont composites à nucleus d'origine différente (quartz, microfaune, bioclastes...).

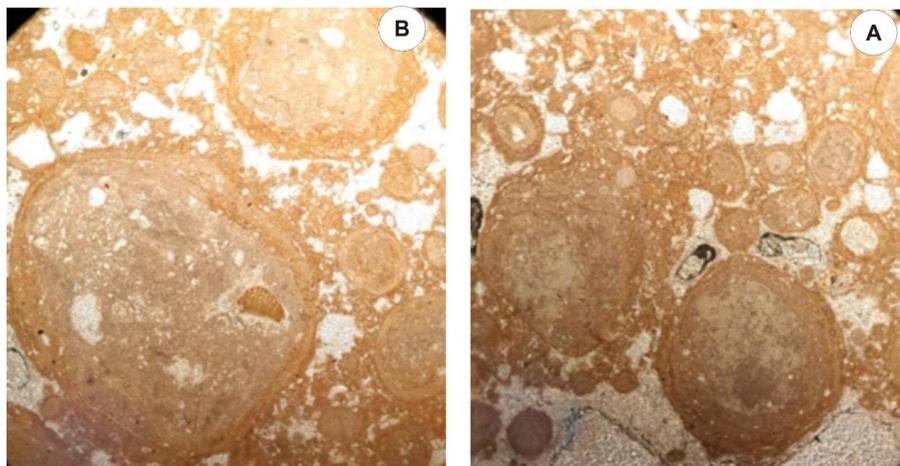


Fig. 16- Pisolites : individuelle (A) ; composite (B) dans une matrice pelloïdale. (GR : $\times 400$).

4. Sous-horizon à cailloux noirs. A l'affleurement, il s'agit des grains de taille d'ordre centimétrique (Fig. 18)) de couleur noire frappante et attire l'attention sur le terrain. Ces éléments exogènes, ce sont des dolomies noires à macles polysynthétiques contenant des

ponctuations de métaux métallifères (pyrite, fer..) qui se déposent dans un milieu micritique riche en quartz.

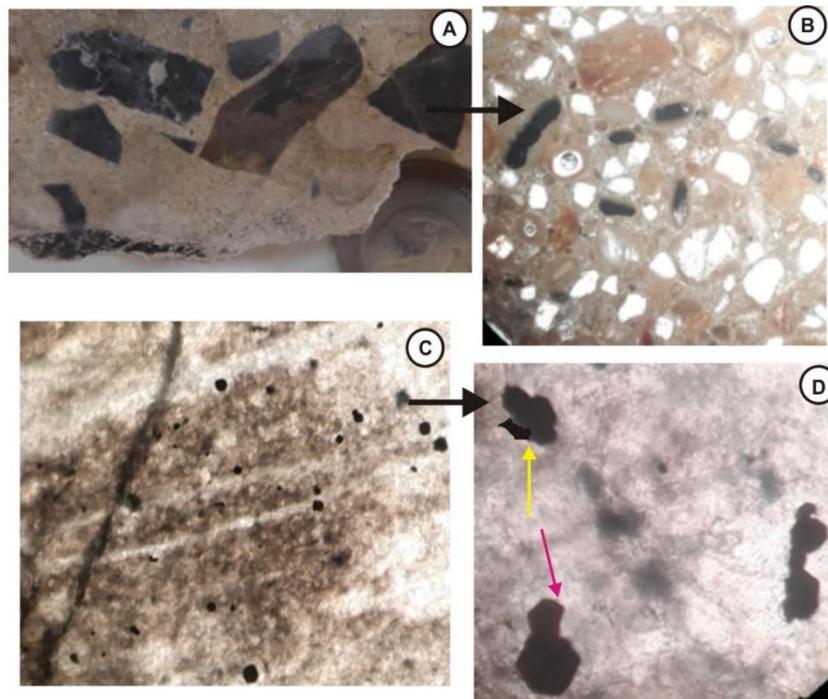


Fig. 17- Cailloux noirs : En Echantillon (a) ; Microfaciès (b, c, d) ; (b) texture, (c) détail de la dolomie, (d) forme de la pyrite. (GR : $\times 400$).

5. sous-faciès à figures karstiques : ce sont des réseaux de cavités dues à l'élargissement des fissures du calcaire par dissolution par des eaux de pluie ou de ruissellement chargée par le dioxyde de carbone (CO_2). Ces cavités sont colmatées par de la micrite rouge ; il s'agit incontestablement d'un sol-fossile (= paléosol (Fig. 11E).

E. Structures associées aux paléosols.

De nombreuses structures sédimentaires et pétrographiques sont associées au développement de sols. Ils constituent, alors d'excellents critères diagnostiques d'une période d'émersion. Dans les paléosols, peuvent être préservés : (1) des traces de racines ou rhizoturbations, (2) des fentes circumgranulaires (*circum-granular cracks*), (3) des pisolites (concrétions calcaires ; Bain et Foos, 1993 ; Wright, 1994), (4) des marbrures et nodules, (5) des cailloux noirs (Barthel, 1974 ; Seyfried, 1980), (6) des structures de type « *alveolar-septal* », et/ou (7) des cellules végétales calcifiées (*Microcodium*).

1. Fentes de dessiccation. Les fentes de dessiccation sont fréquentes au sommet des calcrêtes (Fig. 19). Elles résultent du retrait par dessiccation de la boue carbonatée et indiquent des environnements subaériens. Les circum-granular cracks (Fig. 15F) apparaissent à plusieurs reprises dans l'intervalle étudié généralement associés à des fentes de dessiccation, des fenestrae et/ou des ciments vadoses indiquant un milieu subaérien.

2. Les bird's eyes (Fig. 15A). Ils sont très fréquents dans les sédiments étudiés. Ces cavités résultent du retrait et de la dilatation (dessiccation et croissance) des tapis microbiens, de la formation de bulles de gaz (activité microbienne) ou de l'échappement d'air suite à une émergence (Shinn, 1983). Un type particulier de fenestrae correspond à des cavités tubulaires subverticales (pseudo-bird's eyes de Shinn, 1983).

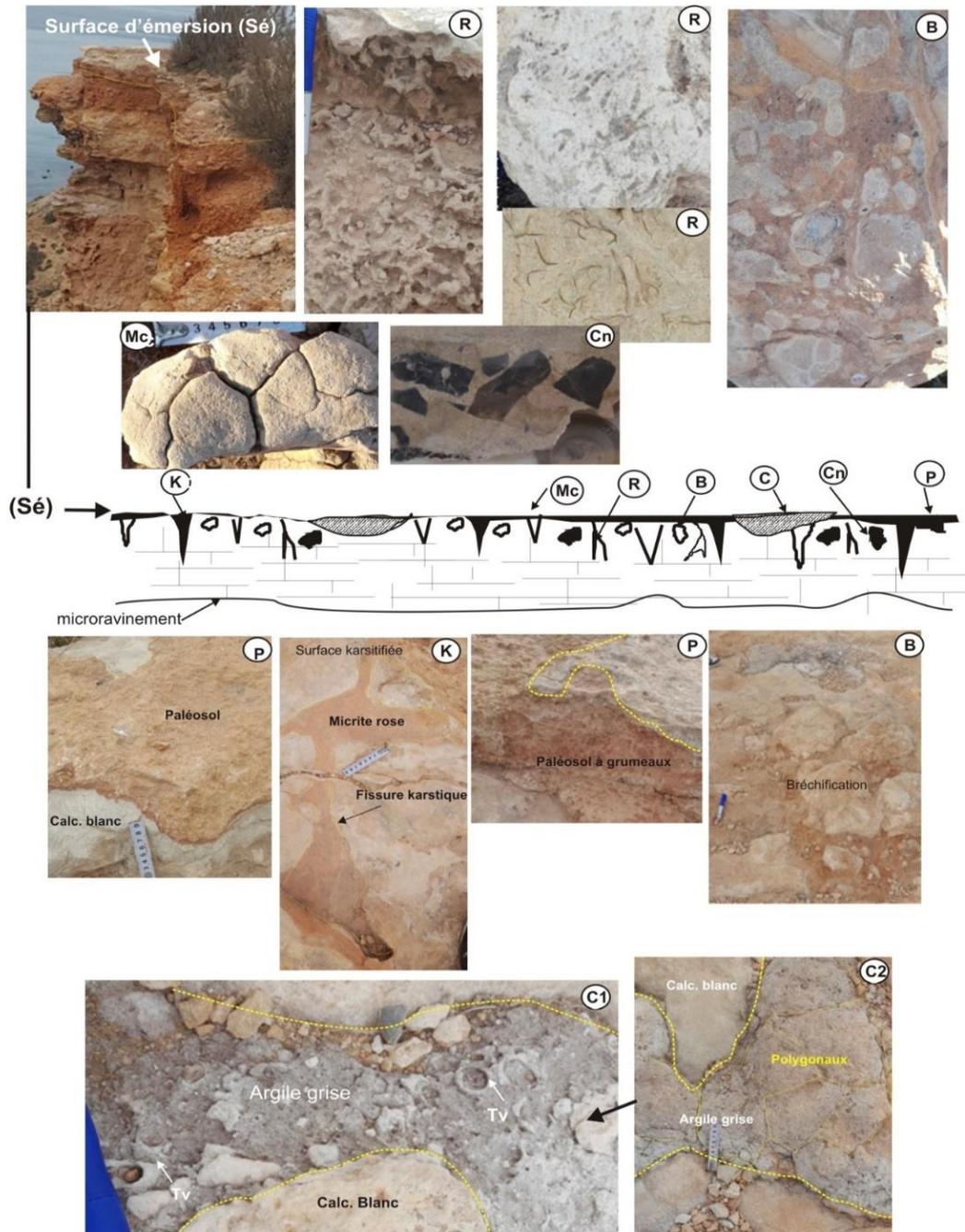


Fig. 18- Détail de la surface d'émergence (Sé) montrant les différents indices de la dessiccation : (K), karstification à remplissage micritique rouge; (R), Rhyzolithe; (Mc), Mud cracks; (Bn), Brèches noires; (Ag), Cavités à dépôt d'argiles grises à tubes végétaux (Tv, C1) à sheet cracks (C2).

3. Formation d'argile et de silt vadose. La présence de sols favorise le phénomène d'illuviation et de décalcification des carbonates. Ainsi, les argiles insolubles se concentrent et migrent vers les horizons inférieurs avec parfois formation de « coulées » argileuses (Bhattacharyya et Chakraborty, 2000). Dans certains cas et particulièrement en climat

méditerranéen, les résidus de dissolution des calcaires forment des argiles rouges appelées argile rouge de décalcification ou « terra rossa ». Elles sont appauvries en SiO_2 et riches en Fe_2O_3 , et font souvent l'objet d'une pédogenèse active. La présence de « terra rossa » peut entraîner une coloration des roches sous-jacentes qui pourra constituer un indice d'émergence.

4. Sol limono-argileux. Il est constitué tout à fait à la surface par de l'argile plastique, gris à blanc contenant des débris de tiges, de roseaux et de racines (Fig. 19C) suggérant l'existence d'une zone marécageuse dans laquelle s'est développée un milieu forestier. Ce sol est assimilé à un sol-podzolique humique (Righi et Chauvel, 1986) qui nécessite une forte humidité et une température moyenne (*cf.* cours de sédimentologie M1, Benhamou). Ils couvrent de vastes étendues des zones boréales et tempérées humides. Cette argile subissait un dessèchement (*Mud cracks*) (Fig. 19C) dans une ambiance climatique aride.

5. Cimentation. Des ciments en microstalactite ou pendant et en ménisque apparaissent à plusieurs reprises dans les sédiments étudiés associés à des structures d'émergence (fig. 14D). Ils sont alors caractéristiques de la zone vadose. Des ciments en ménisques ont également été observés dans des packstone à pisolites (Fig. 16B), associés à des enveloppes micritiques et à des filaments (fibres) calcifiés (fig.14D). Les filaments calcifiés résultent de l'activité de microbes (cyanobactéries et champignons) profitant d'un ralentissement ou d'un arrêt de la sédimentation pour coloniser les espaces intergranulaires des dépôts peu profonds de haute énergie (Hillgärtner *et al.* 2001). Les filaments forment un réseau qui peut ressembler aux structures alvéolaires des paléosols (Esteban & Klappa, 1983).

IV. CONCLUSIONS.

Au terme de cette étude, on conclut, que la constitution des calcrêtes se fait par deux processus : sédimentogénèse et pédogénèse qui interfèrent au cours du Pléistocène-Holocène en fonction de pulsations climatiques et l'activité organique. La synergie de ces deux phénomènes résulte trois dépôts :

- (i) les éléments exogènes d'origine plus lointaine (quartz, bioclastes..) émanant des reliefs surplombant le talus par ablation-transport ;
- (ii) les éléments endogènes (éléments enrobés) qui se forment *in situ* par érosion-remaniement ;
- (iii) le troisième dépôt plus récent, l'activité organique (plantes, algues, microbes..) intervient, permettant à la formation des paléosols (argiles) qui se résultent par altération-illuviation. L'activité organique participera plus ou moins à l'individualisation d'ooïdes et de pellets, favorisé aussi sans doute par les phénomènes temporaires de dessiccation et les actions diagénétiques en milieu vadose. Les dépôts qui en résultent sont les terres rouges fersialithiques ou terra-rossa et les sols assimilés à des podzols.

En fin, les pulsations climatiques évoluent selon la séquence : aride, semi-aride puis à nouveau vers l'aride.

QUATRIEME CHAPITRE

TENTATION ESQUISSE PALEOGEGRAPHIQUE

Essai d'interprétation de la formation d'Accumulations des Calcaires Continentales (ACC) dans la séquence-type

I. Géomorphologie : Géologie et Morphologie actuelle

La morphologie de surface du plateau d'Oran est caractérisée par une série d'ondulations asymétriques de dunes (Eolianites) d'origine côtières (N80°SW) et subaériennes (N140°NW) avec une crête dirigée préférentiellement du Nord-Ouest au Sud-Est, dans la couverture plio-pléistocène (fig. 19). Elle est interprétée comme le résultat de déformations tectoniques récentes du substrat pré-Pliocène (Yelles-Chaouche *et al.*, 2006 ; Moussa, 2007 ; Nadji, 2009). Cette géomorphologie du plateau forme un important glacis d'accumulation (fig. 20). Ceci est entaillé par un réseau hydrographique peu hiérarchisé et difficile à suivre sur les couvertures perméables du Quaternaire. La morphologie du plateau oranais présente des ensembles interdunaires et des surélévations de bordure. Les calcrêtes viennent s'accumuler dans la zone interdunaire. Les carbonates sont plus ou moins évacués des horizons de surface, en fonction diverses conditions (i) de climat, (ii) de topographie, (iii) de matériau originel et (iv) de végétation, et il s'accumule sous une faible profondeur sous forme de pseudo-mycélium, amas, granules, nodules, ou *crotovinas* où il est mêlé aux excréments des animaux (Carnicelli *et al.* 1989).

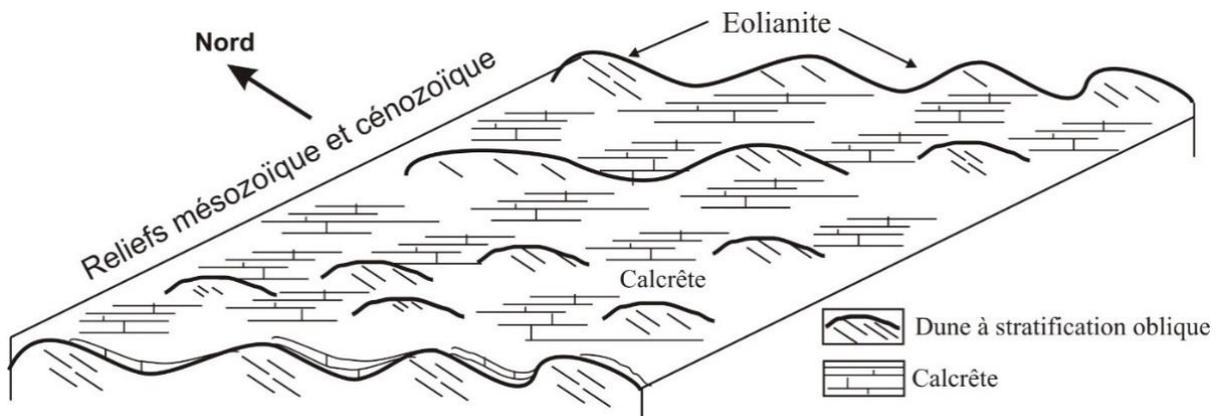


Fig. 19- Esquisse de la morphologie du plateau d'Oran montrant les ondulations d'origine dunaire à stratification oblique et interdunaire à sédimentation de calcrête.

II. EVOLUTION DYNAMIQUE

Les calcaires continentaux passent par deux processus essentiels : Sédimentogénèse et Pédogenèse.

A. Sédimentogénèse

1. Dépôt de régolithe (= Calcaire massif) (Fig. 20. 21)

Ces calcaires se sont formés par l'apport des ruissellements en dissolution provenant des reliefs mésozoïque et cénozoïque en amont (Monts d'Arzew, Dj. Khar...) dans une ambiance humide (fig. 21A). Les apports sont des détritiques terrigènes (grains multicolores) et organiques (foraminifères benthiques..). Les grains sont très émoussés (arrondis à subarrondis) ce qui témoigne un façonnement par un transport plus ou moins lointain.

2. Calcaire concrétionné

Il s'agit d'un niveau de brèches multicolores enrobées par un film noir manganifère et/ferrifère probable (fig. 21B). Ces brèches sont essentiellement composées de lithoclastes de dolomie anguleux ou arrondis, de taille et de couleur variables (noire, beige, brun). La matrice est une lithobiomicrorite (W/P) partiellement dolomitisée. Les brèches multicolores sont interprétées comme des dépôts de fort hydrodynamisme enregistrant une microérosion (microravinement) au sommet du calcaire massif (régolithe).

3. Calcaire cryptalgair

Quand l'hydrodynamisme se calme, l'activité algair s'installe, dans une ambiance climatique humide. Cette activité cryptalgair se fait en deux temps, tout d'abord, en lamination irrégulière, puis elle évolue en structure sphéroïdale donnant ainsi des concrétions pisoidiques élaborées par un léger remaniement dans une ambiance semi-aride / semi-humide..

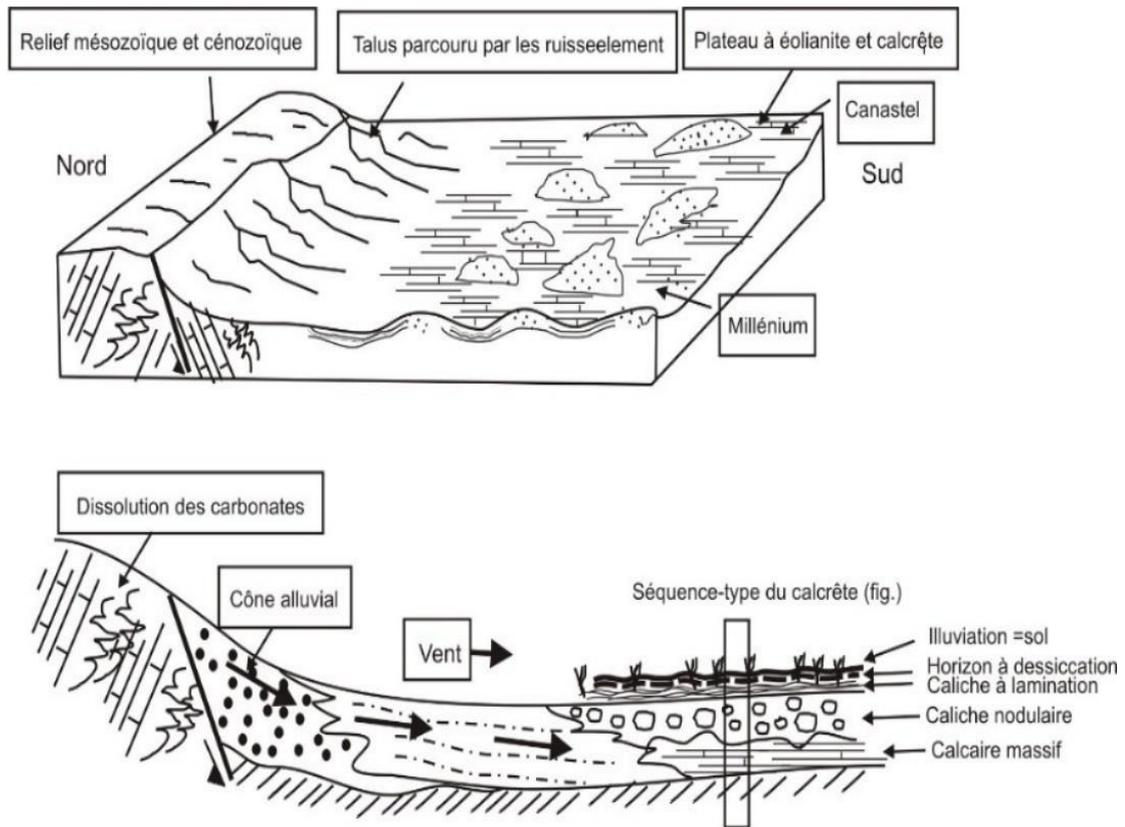


Fig. 20- Géomorphologie (A), interprétation dynamique et modèle de la génèse (B) des caliches dans le plateau d'Oran.

B. Phase de pédogenèse

1. Horizon à rhyzolithes

Quand les conditions permettent tels que la présence d'un sol et le facteur hydrique, la végétation s'installe dans un climat plus humide (fig. 21C). Puis le changement du climat qui va devenir de plus en plus aride entraîne la formation des rhyzolithes par une calcification sur ou autour des racines des plantes. Les racines sont constituées de vides ramifiés tubulaires (pédotubules) de racines décomposées remplies par de la micrite à grains de quartz. Leur présence disloque le milieu à emporte-pièce (bréchification).

2. Horizon à figures d'émersion

Cet horizon (fig. 21D) est fusionné en divers sous-horizon et représente l'ultime rupture de la succession du profil-type. Cette rupture se distingue par un télescopage d'encroûtements calcaires avec différentes formes d'émersion : fente de dessiccation (mud-cracks), figures karstiques, cailloux noirs, rhyzolithes, bréchification..., ce qui

implique un climat aride et cela par le recul de la tranche d'eau par évapotranspiration.

3. Formation des sols et paléosols

L'ultime phase des calcrêtes pendant l'Holocène a révélé deux types de paléosols : une fersiallisation et une podzolisation. (i) La phase de fersiallisation se fait quand les eaux de pluie chargée de CO₂ agressives par l'acidité entraînent à la dissolution des carbonates donnant des argiles rouges de décarbonatation ou « Terra rossa ». (ii) Quant à la podzolisation nécessite une forte humidité et une température moyenne dénotant un climat tempéré humide. Il en résulte une argile plastique, gris à blanc contenant des débris de tiges, de roseaux et de racines suggérant l'existence d'une zone marécageuse dans laquelle s'est développée un milieu forestier. Cette argile subissait un dessèchement (*Mud cracks*) dans une ambiance climatique aride. Cette zone marécageuse a été progressivement colmatée par des sédiments silico-clastiques provenant majoritairement de l'érosion des formations antérieures et secondairement de la déflation des anciennes éolianites qui se trouvent aux des abords du plateau d'Oran (fig. 20 et fig. 21).

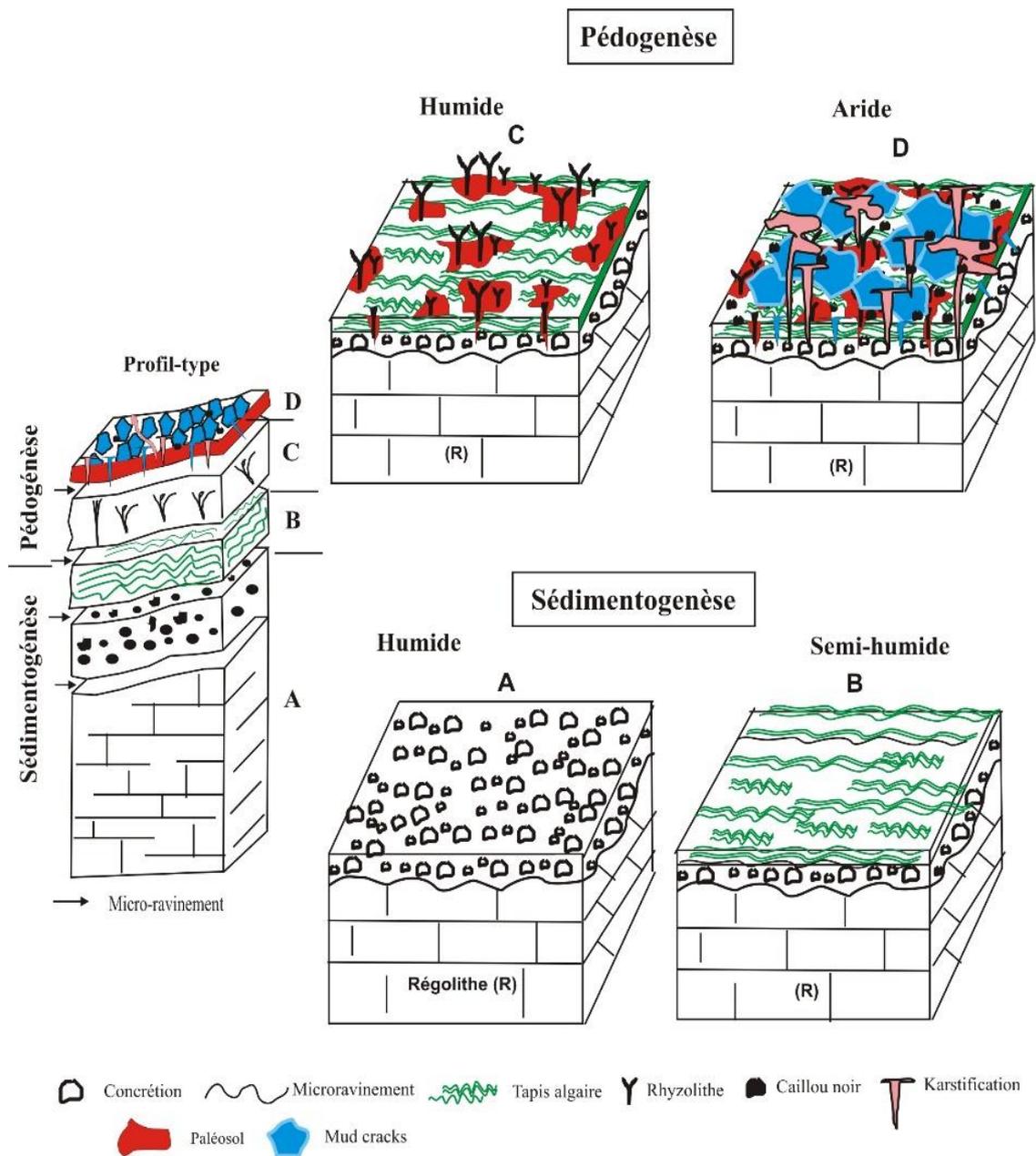


Fig. 21- Evolution séquentielle des calcrêtes d'ordre 1

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS GENERALES

Les profils d'Accumulation Carbonatés Continentale (ACC) ou les calcrêtes étudiés au niveau du boulevard Millenium et de la Forêt de Canastel ont été analysés de manière approfondie.

Le mécanisme de formation et le développement des calcrêtes ont été mis au jour à l'aide d'observations macroscopiques et microscopiques. Les caractéristiques de ce faciès fournissent de nombreuses informations permettant d'identifier les principaux paramètres environnementaux qui influencent la formation et la répartition du calcrête. Les grands événements paléoclimatiques sont interprétés en fonction de ces facteurs.

La littérature (bibliographie) est déjà importante et les théories proposées en fonction des divers faciès existants, sont très variées quant à la genèse des "Horizons d'Accumulation du Calcaire" (HAC) appelés également "Calcrêtes" (carapaces) selon le jargon des pédologues ou des géographes.

1) Au terme de ce travail, nous avons proposé une nouvelle thématique sur les calcrêtes qui devient "Accumulation des Calcaires Continentaux" (ACC).

2)- Les conditions climatiques : en fonction des pulsations climatiques, la sédimentogénèse et la pédogénèse s'alternent et s'interfèrent au cours du Pléistocène-Holocène. A grande échelle, ces termes évoluent selon la séquence : aride, semi-aride puis à nouveau vers l'aride ; mais à petite échelle, la séquence évolue autrement comme ainsi : humectation, alternance humectation/sécheresse, sécheresse ou évapotranspiration. Donc, Au Pléistocène supérieur et à l'Holocène, la tendance du climat vers l'assèchement s'affirme de plus en plus.

3) Le profil-type : il en résulte des épandages détritiques rouges ou multicolores à niveaux d'accumulation calcaire. Lors de la mise en place de ces dépôts, l'agent de transport se fait par des ruissellements, des coulées boueuses dans un talus d'accumulation, ainsi l'intervention de l'apport éolien. Ils aboutissent aux dépôts de matériaux dont la nature évolue de la base au sommet : (i) calcaire massif, horizon à concrétion, horizon à lamination algale, c'est la phase de sédimentogénèse et (ii) des horizons amalgamés et interférés qui révèlent des indices variés d'émersion et de dessiccation (fente de dessiccation (mud-craks), figures karstiques, cailloux

noirs, rhyzolithes, bréchification) de la zone vadose (ciment pendant, en ménisque) associés à des paléosols et sols, c'est la phase de pédogenèse.

4)- Du point de vue dynamique, les phénomènes de percolation (infiltration), d'évaporation, d'écoulement laminaire par gravité, de dessiccation provoquent dans cette masse poreuse et perméable la pisolitisation, oncolitisation et pelletisation élaboré fidèlement par une colonisation à dominance végétale (algues, microbe, plante, *Microdium..*) et animale (gastéropode, Helecidés..).

5)- Le rôle important, l'enregistrement sédimentaire de l'activité éolienne et de l'aridité sur les calcrêtes sont significatifs. Les dépôts de poussières s'organisent en stocks microgranulométriques cohérents en fonction de l'intensité du vent et de la distance par rapport à la source du matériel.

Nous concluons que la répartition verticale et latérale des accumulations carbonatées continentales (ACC) dépend de divers facteurs principaux tels que la topographie, la nature du substrat rocheux (régolithe), la texture du matériau parent (roche-mère) et le climat.

Références Bibliographiques

- ALONZO-ZARZA, A. M. (1999).- Initial stages of laminar calcrète formation by roots: examples from the Neogene of central Spain - *Sedimentary Geology*, 126, (1-4), pp. 177 - 191.
- ALONSO-ZARZA, A.M, WRIGHT, VP. (2010).- Palustrine carbonates. *In: Alonso-Zarza AM, Tanner LH (eds) Carbonates in continental settings: facies, environment and processes. Developments in Sedimentology*, 61:103–131
- BAIN, R-J. et FOOS, A.M. (1993).- Carbonate microfabrics related to subaerial exposure and paleosol formation. *In: Rezak, R., Lavoie, D.L. (eds) Carbonate Microfabrics. Frontiers in Sedimentary Geology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-9421-1_2
- BARTHEL, K.W. (1974).- Black pebbles, fossil and recent, on and near coral islands: *Proceedings. Society International. Coral Reef Symposium*, v. 2, p. 395-399
- BELKEBIR, L., BESEDIK, M., AMEUR-CHEHBEUR, A. & ANGLADA, R. (1996). – Le Miocène des bassins nord occidentaux d'Algérie : biostratigraphie et eustatisme. *Elf Aquitaine éditions*, Pau, 16: 553-561.
- BHATTACHARYYA, A., & CHAKRABORTY, C., 2000, Analysis of sedimentary successions: a field manual: A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield (International edition).
- BLEICHER, M. (1874). – Recherche sur l'origine des éléments lithologiques des terrains tertiaires et quaternaires des environs d'Oran. *Revue Scientifique Nationale*, Montpellier, III, p. 187-195.
- BLOW W, H. (1969). – Late middle Eocene to recent planctonic foraminiferal biostratigraphy. *Proceeding on the First International Conference on the Planktonic Microfossils*, Genève 1:199-442.
- BRANNER, J. C. (1911).- Aggrades limestone plains of the interior of Bahia and the climatic changes suggested by them - *Geological Society of America Bulletins*, 22, pp. 187 - 206.
- BRETON, G., JUINET, P. & LEFEBVRE, D. (1989).- Gélifracis cimentés (= calcrètes) de Saint-Martin-aux-Bruneaux (76) et de Sasselot-le-Mauconduit (76) – Eds. LECOLLE, F. - *Bulletins du Centre de Géomorphologie de Caen*, 37, fiche n° 5.
- CAIRE A. (1957).– Etude géologique de la région des Bibans. Thèse Sciences, *Publication Service de la Carte Géologique*, Algérie, Nouv. Sér. Bull. no 16, 2 vol., 818 p
- CARNICELLI, S., FERRARI, G.A., MAGALDI, D., BILLWILLER, G., Di NOCERA, S., PALMENTOLA, G., PENNETTA, G., ZAMPARELLI, V. (1989).- Les accumulations carbonatées de type "calcrete" dans les sols et formations superficielles d'Italie méridionale. *Méditerranée*, n° 2.3 – 1989, pp. 51-59.
- CHAFETZ, H.S., BUTLER., J.C. (1980).- Petrology of recent caliche pisolites, spherulites and spellothem deposits from central Texas. – *Sédimentology*, 27, 497-518.
- CHEN X.Y., SPOONER, N.A., OLLEY, J.M. and QUSTIAUX, D.G. (2002).- Addition of A eolian dusts to soils in southern Australia: red silty clay trapped in dunes bordering Murrumbidgee River in the Wagga region. *Catena*, 47:1-27.
- CISZAK, R. (1985). – Le complexe chaotique triasique en Oranie (Algérie occidentale) Nouvelle interprétations. *110^e Congrès National des Sciences*, fasc. VI, pp. 269-277.
- CITA, M. B. & BLOW W. H. (1969). – The biostratigraphy of the Langhian, Serravallian and Tortonian stages in the type section in Italy. *Rivista Italiana di Paleontologiae Stratigrafia*, 75(3): 549-603.
- DALLONI M. (1915). – Le Miocène supérieur dans le Nord de l'Algérie : couches à Hipparion de la Tafna. *Comptes. Rendus Académique des Sciences*, Paris, t.16, pp. 428-641.

- DALLONI M. (1952). – L'Atlas tellien occidental. Monographie régionale. *XIX^{ème} Congrès Géol. Int., Alger*, 1^{ère} série, Algérie, n°24, pp. 1-95.
- DALLONI M. (1955). – La limite du Tertiaire et du Quaternaire dans le Nord-Ouest de l'Algérie et des centres voisines. *IX^e Congrès. Assoc. Int. Etude. Quaternaire (INQUA)*, Roma, 12 p.
- DELFAUD, J. & THOMAS, G. (1972).– Les grandes lignes de la stratigraphie du quaternaire Oranais. *C.R. Acad. Sci, Paris, (D)*, 3341-3344.
- DOUMERGUE, F. (1922). – Carte géologique d'Elameria (Lourmel), n°180, Echelle 1/50.000.
- ESTEBAN, M. et KLAPPA, C.F. (1983).- Subaerial exposure Environment. *AAPG Mem.* 33:1-54. In book: Carbonate depositional environments, pp.1-54), Publisher: American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Okla
- FENET, B. (1975). – Recherche sur l'aplanissement de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un « élément de l'Oligocène Nord Maghrébin, les monts des tessala et les massifs du littoral Oranais. *Thèse Es Sciences*, 301 p., 101 fig., 4 pl.
- FOLEY, K., LYONS, W., BARRETT, J., VIRGINIA, R. (2006).- Pedogenic carbonate distribution within glacial till in Taylor Valley, Southern Victoria Land, Antarctica - Dans : *Paleoenvironmental record and application of calcretes and palustrine carbonates*, Eds. ALONZO-ZARZA, A.M. and TANNER, L.H., *Geological Society of America - Special paper*. pp. 89 - 104.
- FREYTET, P. (1971).- Paléosols résiduels et paléosols alluviaux hydromorphes dans le Crétacé supérieur et l'Éocène basal du Languedoc - *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique*, 13, (2), pp. 245 - 268.
- FREYTET, P. & PLAZIAT J.C. (1982).- Continental Carbonate sedimentation and pedogenesis, Late Cretaceous and Early Tertiary of southern France.- *Contr. Sediment.* 12, Schweizerbart, Stuttgart, 217 p.
- GENTIL L. (1904). – Feuille géologique au 1/50 000o de Miliana. *Publ. S.C.G.*, Algérie.
- GLAUGEAUD, Y. (1951). – Interprétation tectonophysique des caractères structuraux et paléogéographiques de la Méditerranée occidentale depuis l'Oligocène. *Bulletin de Société Géologique, France*, (6), 1, pp.
- GUARDIA, P., (1975). – Géodynamique de la marge alpine du continent Africain d'après l'étude de l'Oranie Nord Occidental. Relation structurale et paléogéographique entre le Rif externe, le tell d'avant pays atlasique. *Thèse. Doctorat es Sciences Naturelles, Nice*, 289 p.
- GOUDIE, A.S. (1973).- Duricrusts in tropical and subtropical landscapes. *Clarendon Press*, Oxford.
- GOUDIE, A.S. (1983). – Calcrète. In: A.S. Goudie and K. Pye (Eds.), *Sediments Chimique et la Géomorphologie*. London, *Press Academique*, pp. 93-131.
- GOURINARD, Y. (1952). – Le littoral Oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). *Publications. XIX^e Congrès de Géologie International, Alger*.
- GOURINARD, Y. (1958). – Recherche sur la géologie du littoral Oranais. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie, nouv. Sér.*, 6, 111 p.
- GILE, L.H., PETERSON, F.F., GROSSMAN, R.B. (1965).- The K horizon: A master horizon of carbonate accumulation. *Soil Science* 97, 74282.
- GILE, L.H., PETERSON, F.F., GROSSMAN, R.B. (1966).- Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science*, 101:347-360.
- HAMIDI, E. M., COLIN, F., MICHARD, A., BOULANGE, B. et NAHON, D. (2001).- Isotopic tracers of the origin of ca in a carbonate crust from the middle Atlas, Morocco - *Chemical Geology*, 176, (1-4), pp. 93 - 104.

HAWKER, H. W. (1927).- A study of the soils of hidalgo county, Texas, and the stages of their soil-lime accumulation - *Soil Science*, 23, pp. 475 - 485.

HILLGARTNER, H., DUPRAZ, C., And HUG, W. (2001).- Calcite precipitation, Microbially induced. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Electronic ISSN, Series Editor Charles W. Finkl1871-756X, Print ISSN 1388-4360

JARANOFF, R. (1937).- Étude de géologie dynamique au Maroc, dans les confins algéromarocains et en Afrique occidentale française - *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 10, (2), pp. 135 - 141.

KAZI-TANI, N. (1986).- Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien : approche mégaséquentielle. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 350 p.

KIRECHE, O. (1977). – Etude géologique et structurale des massifs à schistosité du Chélif (Tell Centro-Occidental). *Thèse Doct. 3^{ème} cycle*, Univ. Alger. 147 p., 59 fig.

KIRECHE, O. (1992). – Evolution géodynamique de la marge tellienne des Maghrébides d'après l'étude du domaine parautochtone schistosé géologique et structurale des massifs à schistosité. *Thèse Doctorat d'Etat*, Univ. Alger, 295 p.

LATTMAN, L. H. (1973).- Calcium carbonate cementation of alluvial fans in southern Nevada - *Bulletin of Geological Society of America*, 84, pp. 3013 - 3018.

LAURIOL, B. et CLARK, I. (1999).- Fissure calcretes in the arctic: a paleohydrologic indicator - *Applied Geochemistry*, 14, (6), pp. 775 - 785.

LOGAN, B. W., REZAK, R., & GINSBURG, R. N. (1962).- Classification and Environmental Significance of Algal Stromatolites. *Journal of Geology*, 72, 68-83.

LOISY, C. (1997).- Les encroûtements carbonatés quaternaires en substrat crayeux (Est du Bassin de Paris) : rôle de la diagenèse et des actions biologiques - *Thèse de 3^{ème} Cycle, Université de Reims Champagne-Ardenne* - 289 p.

MACK, G., JAMES, W. (1994).- Paleoclimate and the global distribution of paleosols - *Journal of Geology*, 102, pp. 360 - 366.

MACK, G.H., COLE, D.R., TREVINO, L. (2000).- The distribution and discrimination of shallow, authigenic carbonate in the Pliocene2Pleistocene Palomas Basin, southern Rio Grande rift. *Geological Society of America Bulletin* 112, 6432656.

MENZOUL, B. (2011).- Les calcrètes du plateau d'Oran : aperçu et description. *Mémoire Ingénieur d'Etat, Univ. Oran*, 55 p., 17 fig., 3 pl.

MILLOT, G., NAHON, D., PAQUET, H., RUELLAN, A., TARDY, Y. (1977).- L'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride Anti atlas, Maroc. *Sciences Géologiques*, Bulletin 30, 1292152.

MOSELY, F. (1965).- Plateau calcrete, calcreted gravels, cemented dunes and related deposits of the Maallegħ-Bomba region of Libya. *Z. Geomorphol.*, NF 9, 167– 185.

MOUSSA, K. (2007). – Etude d'une Sebkhha: Sebkhha d'Oran, Algérie. *Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Oran*, 205 p., 182 fig., 55 tab.

NAHON, D. et RUELLAN, H. (1975) - Les accumulations de calcaire sur les marnes éocènes de la falaise de Thiès (Sénégal). Mise en évidence des phénomènes d'épigénie – *in* : Types de croûtes calcaires et leur répartition régionale. revue

NADJI, A. (2009). – Etude sismotectonique du littoral Oranais ; Contribution à l'aléa sismique *Thèse Doctorat. d'Etat, Univ. Oran*, 266 p., 115 fig.

NEFRAOUI, A. (2010). – La transgression jurassique carbonatée sur le faciès "verrucano" du Kef en Nsour (Djebel Doui, massifs chélifiens). *Mém. Ing. d'Etat, Univ d'Oran, Algérie*, 50p.

- NETTERBERG, F. (1969).- The interpretation of some basic calcrète types. *S. Afr. Archaeol. Bull.* 24, 117– 122.
- NEURDIN-TRESCARTES, J. (1992).– Le remplissage sédimentaire du bassin Néogène du Bassin du bas Chélif, modèle de référence des bassins intramontagneux. Thèse. Doct. D'Etat., Univ. Pau et des Pays de l'Adore, 2 t. 605 p.
- PERRODON, A. (1957). – Etude géologique des bassins sublittoraux de l'Algérie occidentale. *Publication du service de la carte géologique de l'Algérie*. Nlle série, Bulletin n°12, Alger, 323 p.
- POMEL, A. (1972).- Le Sahara ; observations de géologie et de géographie physique et biologique, avec des aperçus sur l'atlas et le soudan et discussion sur l'hypothèse de la mer saharienne à l'époque préhistorique - *Bulletin de la Société Climatique d'Alger*, 8, pp. 792 - 794.
- POMEL, A. (1870). – Description et carte géologique au 1/200 000è du massif de Miliana. *Bull. Soc. Sc. Nat. et Clim.*, Alger, p. 5-184, 1 tab. h.t.
- PRICE, W. A. (1933).- Reynosa problem of south Texas, and origin of caliche – *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, 17, (5), pp. 488 - 522.
- PURVIS, K. et WRIGHT, V. P. (1991).- Calcrète related to phreatophytic vegetation from middle Triassic otter sandstone of south west England - *Sedimentology*, 38, pp. 539 - 551.
- RAMDANE, N. (2017).- Des horizons d'accumulation carbonatée ("calcretes ") aux environs de Mostaganem (Aïn Nouissy) : description, calcrétisation et pédogenèse. *Mémoire de Master 2*, Université d'Oran 2, 21 fig., 5 pl., 38 p.
- RAMDANE, N et SADJI, R. (2011).- Contexte sédimentaire et environnemental des affleurement Moi-Plio-Quaternaire des environ de Sidi Maârouf, (Oran Sud-Est). *Diplôme d'Ingénieur d'Etat*, Université d'Oran 2, 23 fig., 5 pl., 38 p.
- RIGBY, J. (1953).- Some transverse stylolites - *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, (4), pp. 267 - 271.
- RIGHI, O. et A. CHAUVEL, A. (1986).- Podzols et podzolisation. Comptes-rendus de la table ronde internationale organisée par l'UA 721 du C.N.R.S. " Pédologie, Pétrologie et Métallologie de la Surface. *Laboratoire de Pédologie*, Université de Poitiers, 236 p.
- SADJI, R. (2014).- Analyse géométrique de la barre calcaire (Pléistocène-Holocène) aux environs de Sidi Maârouf (SE d'Oran) : Microfaciès et environnement. *Diplôme de Master*, Université d'Oran 2, 11 fig., 1 fig. pp. 24
- SADRAN, G. (1952). – Les roches cristallines du littoral Oranais, *XIX^e Congr. Géol. Int.*, Alger, Mon. Rég. Algérie, (1), n° 18, 84 p.
- SCHLESINGER, W. H. (1985).- The formation of caliche in soils of the Mojave desert, California - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, (1), pp. 57 - 66.
- SCHMITT, J.-M., SIMON-COINCON, R. (1985).- La paléosurface infraliasique en Rouergue : dépôts sédimentaires et altérations associées - *Bulletin du BRGM, Géologie de la France*, 2, pp. 125 - 135.
- SEYFRIED, (1980).- Über die Bildungsbereiche mediterraner Jurasedimente am Beispiel der Betischen Kordillere (Südost-Spanien). *Geol. Rdsch.*, v. 69, p. 149-178
- SHINN, E. (1983).- Tidal flat environment. *In* : Scholle, A. Bebout, D.G. & Moore, C.H. (Eds) Carbonate Depositional Environments. *A.A.P.G. Mem.* 33, 171-210.
- THOMAS, G. (1985). – Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du Bas Chélif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. Thèse de Doctorat.
- VERRECCHIA, E. P. (1984).- Analyse critique de la notion de calcrète ; introduction à l'étude microcyclothémique des croûtes, calcaires - *Mémoire de D.E.A.*, Université de Paris-Sud, 177 p.

- VERRECCHIA, A. P., FREYTET, P., VERRECCHIA, K. E., DUMONT, J.-L. (1995).-Spherulites in calcrete laminar crust: biogenic CaCO₃ precipitation as a major contributor to crust formation - *Journal of Sedimentary Research*, A65, pp. 690 - 700.
- VAUDOURE, J. (1981).- Travertins et croûtes calcaires - Actes du Colloque de l'Association des Géographes Français : Formations carbonatées externes, tufs et travertins, *Association Française de Karstologie, Mémoire 3*, pp. 193 - 198.
- VOGT, T. et CORTE, A. E. (1996).- Secondary precipitates in Pleistocene and present cryogenic environments (Mendoza Precordillera, Argentina, Transbaikalia, Siberia and Seymour island, Antarctica) - *Sedimentology*, 43, pp. 53 - 64.
- WATTS, N.L. (1980).- Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology* 27, 661-686.
- WRIGHT, V.P. (1990).- A micromorphological classification of fossil and recent calcic and petrocalcic microstructure. In: Douglas, L.A. (Ed.), *Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science. Dev. Soil Sci., vol. 19. Elsevier, Amsterdam*, pp. 401–407.
- YELLES-CHAOUICHE, A., BOUDIAF, A., DJELLIIT, H., BRACENE, R. (2006).- La tectonique active de la région nord-algérienne. *Comptes-Rendus des Géosciences* 338, 126-139.
- WRIGHT, V.P. (1994).- Paleosols in shallow marine carbonate sequences. *Earth-Science Reviews* 35, 367-395.
- WRIGHT, V.P. (2007).- Calcrete. In: Nash, D.J., Mc Laren, S.J. (Eds.), *Geo-chemical Sediments and Landscapes. Blackwell, Oxford*, pp. 10–45.
- YAALON, D. H., SINGER, S. (1974).- Vertical variation in strength and porosity of calcrête (nari) on chalk, Shefela, Israel and interpretation of its origin - *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, (4), pp. 1016 - 1023.
- ZAOUI, D. (2006). – Le Crétacé inférieur de la région d'Aghlal : Lithostratigraphie et biostratigraphie (Tessala Nord-occidentale, Algérie). *Mémoire de Magister*, Univ. Tlemcen, 54 p, 15 fig., 5 pl.
- ZHOU, J., CHAFETZ, H. S. (2009).- Biogenic caliches in Texas: the role of organisms and effect of climate - *Sedimentary Geology*, 222, pp. 207 - 225.

Table de matières

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

I- CADRE GEOGRAPHIQUE REGIONAL	5
II- CADRE GEOLOGIQUE	6
A- Cadre géologique régional.....	6
B- Cadre géologique local.....	7
C. Contexte stratigraphique.....	8
1. Le Primaire.....	8
2. Le Permo-Trias.....	8
3. Le Jurassique	9
4. Le Crétacé	9
5. Le Miocène post-nappe.....	9
6. Le Pliocène inférieur et moyen marin	9
7. Le Plio-Pléistocène	10
8. Le Pléistocène Moyen	10
9. Le Pléistocène supérieur	10
10. L'Holocène.....	10
III. CADRE STRUCTURAL	11
A. Cadre structural régional.....	11
B. Cadre structural local	11
IV. HISTORIQUE DES ETUDES	12
V. METHODOLOGIE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	13
A. Documents consultés	13
B. Méthodologie	13
C. Objectif de l'étude.....	13
DEUXIEME CHAPITRE : APERÇU SUR LES ENCROUTEMENTS CALCAIRES	

I- INTRODUCTION	15
II- GÉNÉRALITÉS SUR LES ACCUMULATIONS DES CALCAIRES	
CONTINENTAUX (ACC) ou HORIZONS D'ACCUMULATIONS CARBONATEES	
(HAC).....	15
A. Dénominations	15
B. Répartition mondiale	16
C. Environnement paléoécologique.....	16
D. Répartition stratigraphique	17
III- MODELES DE SEDIMENTATION ET ORIGINES DU DEPOT	17
A. Le modèle lacustre.....	18
B. Le modèle in situ.....	18
C. Le modèle per ascensum.....	18
D. Le modèle per descensum.	18
E. Le modèle sédimentaire	19
F. Le modèle géochimique.....	19
IV- Classification	19
A. En fonction de l'environnement diagénétique.	19
B. En fonction de leur maturité.	19
C. En fonction de la microstructure.....	20
V- CONCLUSIONS.....	21
TROISIEME CHAPITRE : ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES ACC	
I. LITHOSTRATIGRAPHIE.....	23
A. La séquence-type des calcrêtes.	23
B. Localisation de la coupe.	24
C. Description pétrographique..	25
1. Description macroscopique	25
2. Régolithe : calcaire massif, zone concrétionnée.....	25
3. Horizon d'activité organique	26
4. Horizon pédogénétique (horizon d'émersion).....	27

3. CONCLUSIONS.....	40
----------------------------	-----------

QUATRIEME CHAPITRE ESQUISSE PALEOGEGRAPHIQUE

I. Géomorphologie : Géologie et Morphologie actuelle	41
---	-----------

II. EVOLUTION DYNAMIQUE.....	42
-------------------------------------	-----------

A. Sédimentogénèse	42
---------------------------------	-----------

B. Phase de Pédogenèse	43
-------------------------------------	-----------

CONCLUSION GENERALE.....	45
---------------------------------	-----------

Références bibliographiques	51
--	-----------

LISTE DES FIGURES

Fig. 1- Localisation géographique de la zone d'étude.....	5
Fig. 2- Carte géologique synthétique du littoral Oranais (Thomas, 1985).....	7
Fig. 3- Carte géologique de la zone d'étude (Gourinard, 1958, modifiée).....	8
Fig. 4- Cadre structurale général du bassin de Chélif (Neurdin, 1992).....	12
Fig. 5- Schéma structural de l'Oranie (Fenet, 1975).	13
Fig.6-Tableau montrant la représentation schématique des deux types microstructures (alpha et bêta) dans les calcrêtes.....	21
Fig. 7- Séquence-type des calcrêtes.	24
Fig. 8- Carte géographique locale du secteur d'étude.	25
Fig. 9- Le profil-type des calcrêtes (sans échelle).	26
Fig. 10- Localisation des échantillons bruts et des sections polies sur la coupe-type.	28
Fig. 11- Microfaciès de l'horizon de régolithe (substrat).	29
Fig. 12- Rhyzolithes (R).....	31
Fig. 13- Horizon à rhyzolithes (R).....	32
Fig. 14- Microséquence d'ordre 0 montrant les termes.....	33
Fig. 15- Activité microbienne :.....	34
Fig. 16- Pisoides :.....	34
Fig. 17- Cailloux noirs :	35
Fig. 18- Détail de la surface d'émersion (Sé) montrant les différents indices de la dessiccation :	37
Fig. 19- Esquisse de la morphologie du plateau d'Oran montrant les ondulations d'origine dunaire à stratification oblique et interdunaire à sédimentation de calcrête.....	41
Fig. 20- Géomorphologie, interprétation dynamique et modèle de la genèse des caliches dans le secteur du plateau d'Oran.	43

Fig. 21- Evolution séquentielle du calcrête**Error! Bookmark not defined.**

LISTE DES TABLEAU

Tableau 1- Tableau montrant la classification morphologique des calcrêtes.....20

