

N° d'ordre :

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'Oran 2 : Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

Laboratoire de Géodynamique des Bassins et Bilan Sédimentaire

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade de Master 2 en Géologie

Option : Paléoenvironnement et Géodynamique des Bassins sédimentaires

Thème :

DES HORIZONS D'ACCUMULATION CARBONATEES (" *CALCRETES* ") AUX ENVIRONS DE MOSTAGANEM (AIN NOUISSY) : DESCRIPTION, CALCRETISATION ET PEDOGENESE

Présenté par :

RAMDANE Nabil

Soutenu le : / 09 / 2017, devant la commission d'examen :

BOUZID, Rabah	Maître de conférences,	Université d'Oran 2	Examineur
BENHAMOU,	Professeur,	Université d'Oran 2	Rapporteur
SALHI Abdeldjebar	Maître-Assistant A,	Université d'Oran 2	Examineur

Oran, 2017

SOMMAIRE

Première partie: GENERALITES

I. INTRODUCTION ET PLAN DE TRAVAIL.....	1
II. CADRE GEOGRAPHIQUE.....	1
III. CADRE GEOLOGIQUE.....	3
A- CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	3
B- STRUCTURE DU BASSIN DE BAS-CHELIF.....	5
C- LA TECTONIQUE.....	6
IV. HISTORIQUE DES RECHERCHES.....	7
V. METHODOLOGIE ET OBJECTIFS.....	8
A- LES DONNEES DU TERRAIN.....	8
B- LE TRAVAIL AU LABORATOIRE.....	9

Deuxième partie: LES DONNEES REFERENTIELLES

CALCRETISATION ET PEDOGENESE

I. INTRODUCTION.....	10
II. DENOMINATIONS ET EQUIVALENT DU TERME CALCRETE.....	10
III. GÉNÉRALITÉS SUR LES HORIZONS D'ACCUMULATIONS CARBONATEES (HAC).....	11
A. DENOMINATIONS.....	11
B. RÉPARTITION MONDIALE.....	12
C. REPARTITION STRATIGRAPHIQUE.....	13
IV. MODELES DE SEDIMENTATION ET ORIGINES DU DEPOTS.....	14
A. LE MODELE LACUSTRE.....	15
B. LE MODELE <i>IN SITU</i>	15
C. LE MODELE <i>PER ASCENSUM</i>	15

D. LE MODELE <i>PER DESCENSUM</i>	15
E. LE MODELE SEDIMENTAIRE.....	16
F. LE MODELE GEOCHIMIQUE.....	16
VII. MICROMORPHOLOGIE GÉNÉRALE : IDENTIFICATION.....	16
A. STRUCTURES MACROSCOPIQUES.....	16
B. STRUCTURES MICROSCOPIQUES.....	18
C. CLASSIFICATION.....	20
D. CONCLUSIONS.....	24

Troisième partie : CALCRETES DU DJEBEL CHEGGA

DESCRIPTION ET IDENTIFICATION

I. INTRODUCTION.....	25
II. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	25
III. LOCALISATION DES AFFLEUREMENTS.....	26
IV. INTRODUCTION A LA GEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE.....	26
V. PROFIL ET IDENTIFICATION DES ELEMENTS DE HAC.....	29
A. POSITION DU PROFIL.....	29
B. PROFIL D'ETUDE.....	29
C. CYCLES PEDOGENETIQUES.....	31
D. DESCRIPTION ET INTERPRETATION DES ECHANTILLONS.....	31
D- CONCLUSION.....	37

Quatrième partie : CONCLUSIONS GENERALE

CONCLUSIONS GENERA.....	38
-------------------------	----

Dédicace

Louange à Allah

C'est un grand plaisir et une grande émotion que je dédie ce modeste travail à :

À Mes chers parents qui sont toujours près de moi et sans eux je n'aurais probablement jamais fait ce parcours.

À mes frères et mes sœurs.

À toute la famille Ramdane.

À tout mes amis de la promotion et tous les étudiants du département.

À toutes les personnes ayant contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Ramdane Nabil

AVANT-PROPOS

Il m'est difficile de remercier à leur juste valeur les différentes personnes qui m'ont permis d'approfondir mes connaissances et qui ont contribué à l'achèvement de ce modeste mémoire.

Le premier merci revient de droit à mon encadreur Monsieur **Miloud BENHAMOU**, Professeur à l'Université d'Oran, pour m'avoir proposé ce sujet, pour m'avoir orienté pour son aide, ses conseils et les nombreuses discussions scientifiques, tout au long de la réalisation de cette étude.

Mes remerciements vont également à Monsieur **Rabah BOUZID**, Maître de conférences B à l'Université d'Oran, pour avoir contribué à ma formation et pour avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Il m'est très agréable de remercier à Monsieur **Abdeldjebar SALHI**, Maître-Assistant A à l'Université d'Oran pour ses encouragements, ses précieux conseils concernant la région d'étude. Je lui serais très reconnaissant et pour avoir accepté de faire part de ce jury et examiner mon humble travail. Il est également remercier pour avoir visité mon terrain.

Nos remerciements vont également à Monsieur **Noureddine BOUALEM et Mohamed MAHMOUDI** pour leur encouragement et leur soutien et avoir visité mon terrain.

Mes remerciements vont à tous mes amis du Département des Sciences de la Terre en particulier R. SADJI, S. MEKHERBECHE, M. GHAMEZ, S. BELKHEDIM, A. NEMRA. Les oublis sont tous inclus dans ces remerciements

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans l'aide et soutien de ma famille.

A tous merci
Nabil RAMDANE

Résumé

En Algérie Nord Occidentale, les carbonates continentaux se caractérisent par un type distinctif de carbonates associés à l'émergence du plateau de Mostaganem et celle d'Oran au cours du Quaternaire. Ils représentent la modification des boues de carbonates par un contraste humectation / sécheresse et une exposition subaérienne plus prolongée, et la pédogénèse associée aux phases humides.

Cette étude utilise des caractéristiques des Calcrètes pour élucider les principaux facteurs environnementaux qui affectent sa formation, son développement et sa distribution dans la région de Mostaganem à l'Ouest de l'Algérie, l'une des régions méditerranéenne à climat semi-aride où les horizons d'accumulations carbonatés (HAC) sont omniprésents et se manifestent sous diverses formes. Plusieurs échantillons ont été examinés et décrits par des observations sur le terrain. Les échantillons sélectionnés ont été analysés au laboratoire après la préparation des sections polies et des lames minces par microscopie optique.

La présente étude a été réalisée sur des profils répartis dans toute la région d'Aïn Nouissy. Des données macro- et micromorphologiques sur le faciès calcrète est examiné. L'objectif est de construire la séquence des événements qui conduisent au développement de profils calcaires, à interpréter leur origine et leur répartition par rapport aux conditions paléoclimatiques et à déterminer les principaux facteurs qui contrôlent leur formation.

Mots clés : Calcrète (HAC), Description, Paléoclimat, Aïn Nouissy, Mostaganem.

Abstract

In North-western Algeria, continental carbonates are a distinctive type of carbonates associated with the emergence of the Mostaganem plateau and that of Oran during the Quaternary. They represent the modification of the carbonate sludge by wetting and drying and a more prolonged subsaerial exposure, and the pedogenesis associated with the wet phases.

This study uses Calcrete characteristics to elucidate the main environmental factors affecting its formation and distribution in the Mostaganem region of western Algeria, one of the semi-arid Mediterranean regions where the horizons of carbonate accumulations (HAC) are omnipresent and manifest in various forms. Several samples were examined and described by field observations. The selected samples were analyzed in the laboratory after the preparation of the polished sections and the thin blades by optical microscopy.

The present study was carried out on more profiles distributed throughout the Ain Nouissy region. Morphological, micromorphological data on different types of calcrets were examined. The aim is to construct the sequence of events that lead to the development of calcareous profiles, to interpret their origin and their distribution in relation to the palaeoclimatic conditions and the geomorphological context of the formation and to determine the main factors that control their formation. This study highlights paleoclimatic history and leads to represent characteristics and factors that can be used to interpret other HAC profiles developed around the world.

Keys words: Calcrete (HAC), Description, Paléoclimatic, Ain Nouissy, Mostaganem.

1^{ère} PARTIE
GENERALITEES

I. INTRODUCTION ET PLAN DE TRAVAIL

En Algérie, les terrains néogènes présentent une assez grande extension sur la partie septentrionale du pays, offrant ainsi aux géologues intéressés, des chances énormes pour une étude plus complète et des possibilités meilleurs des corrélations à l'échelle locale et régionale.

L'Algérie nord-occidentale font actuellement l'objet de plusieurs études géologiques (stratigraphiques, paléontologiques, géodynamiques...). Le bassin de bas Chélif constitue l'un des plus importants et des plus étudiés par les géologues oranais (*cf.* les travaux de laboratoire de Paléontologie, Systématique et Paléoenvironnement).

Le présent travail fait l'objet d'étude géologique d'une partie de plateau de Mostaganem (Ain Nouissy), cette étude est axée sur trois parties : dans la première partie, nous tenterons un aperçu historique, rappelant les travaux des différentes périodes ayant marqué la géologie du bassin de bas-Chélif en générale et la position des affleurements considérés dans celle-ci. La seconde partie présente une étude sédimentologique intéresse la méthode d'identification des faciès rencontrés. La troisième partie est basée essentiellement sur les horizons carbonatés couvrants toutes les formations lors de l'émergence affectant le plateau de Mostaganem et celle d'Oran (Ramdane & Sadji, 2011 ; Benhamou et al, 2011 ; Benhamou et al. 2014 ; Sadji et Benhamou, 2014). Cette étude est basée essentiellement sur la description macroscopique et microscopique des encroûtements calcaires. Et finalement, une conclusion générale est réalisée.

II. CADRE GEOGRAPHIQUE

Le plateau de Mostaganem s'étend depuis la dépression du Chélif au Nord, jusqu' à la Macta au Sud, entre la Mina et la mer. C'est une vaste région silico-clastique, monotone, bordée par une côte escarpée ne présentant aucune végétation arborescente si ce n'est aux environs de Bel-Acel où un sol un peu accidenté. En nombre de points et principalement un peu au Nord d'Aboukir, la nature sablonneuse du sol donne lieu à la formation des dunes dans cette région.

En bordure de la mer Méditerranée, le Plateau de Mostaganem se présente comme une aire tabulaire comprise entre :

- la vallée du Chélif au Nord et la dépression de la Macta au Sud ;
- la vallée de la Mina et les Monts de Bel Hacel à l'Est.

Ce Plateau s'abaisse régulièrement vers l'Ouest en direction de la plaine de l'Habra et du golfe d'Arzew. Il comporte une série de ride et de dépressions parallèles orientées SW-NE ; dont l'altitude voisine 200 mètres s'abaisse progressivement jusqu'à cent mètres au niveau de la Macta.

Entre la large et profonde vallée du Bas-Chélif au Nord et la dépression monotone de l'Habra-Macta au Sud, la vallée de la paresseuse Mina inférieure à l'Est et la mer à l'Ouest, le Mostaganémois s'étend sur plus de 1 400 kilomètres carrés, entre la chaîne côtière du Dahra au nord et l'Atlas tellien des Beni-Chougrane au sud. A partir du grau de la Macta, il domine la Méditerranée par une côte escarpée, inhospitalière et sauvage, souvent envahie par les dunes ; par une brusque dénivellation de 200 mètres il surplombe en balcon la vallée du Bas-Chélif. Vers le Sud, en partie, il s'ennoie sous les alluvions de la plaine de l'Habra-Macta ; en partie, il s'achève en collines irrégulières de 100 à 200 mètres de hauteur relative de Fornaka et Ain Nouissy à Bouguirat.

Le bassin de bas-Chélif correspond à une longue cuvette orientée ENE-WSW, d'une longueur de 300km et d'une largeur de 100km (Thomas, 1985). Il est limité au Nord par les massifs littoraux oranais (Djebel Murdjadjo, massifs d'Arzew et les massifs de Dahra). Sa limite méridionale est soulignée d'Ouest en Est par les Monts de Tessala, Béni Chougrane et le massif de l'Ouarsenis (Fig. 1).

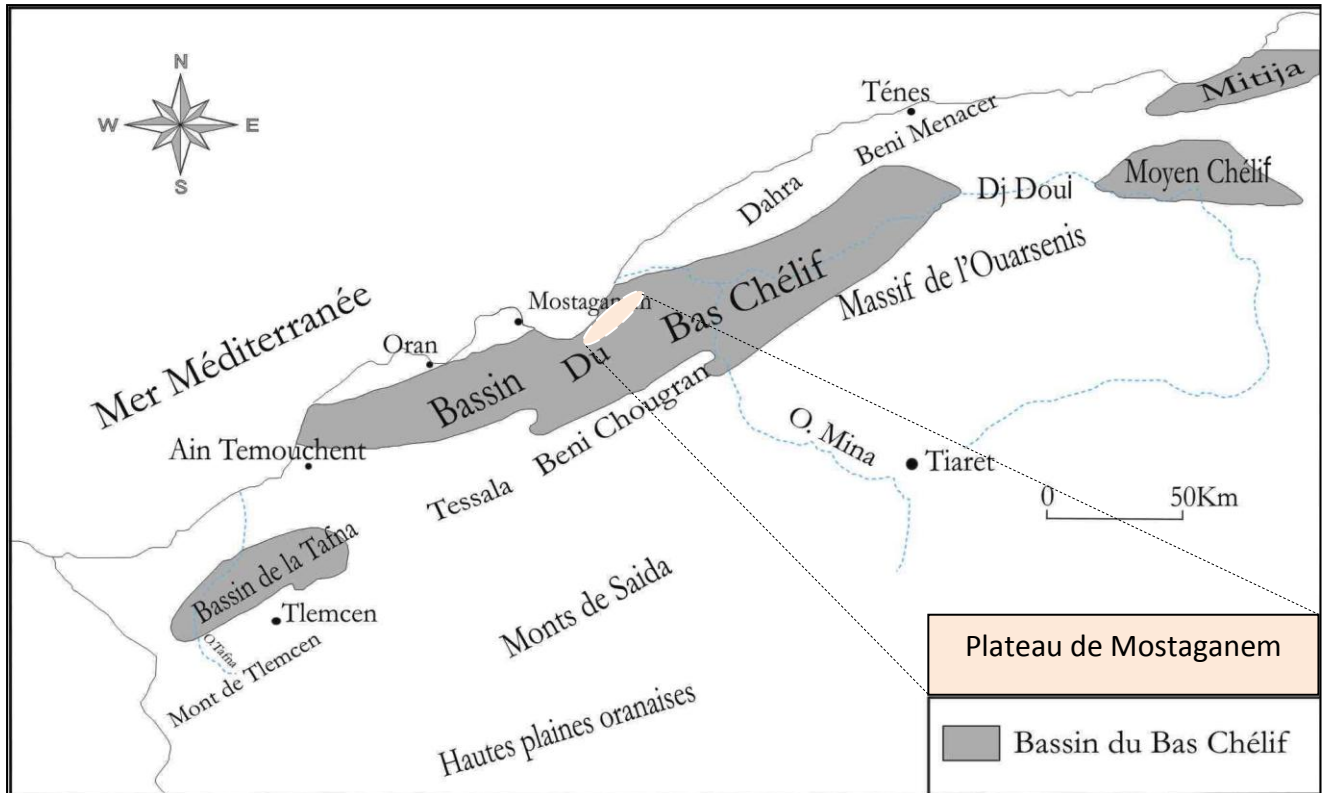


Fig.1 : Localisation du bassin du Chélif (d'après Perrodon, 1957).

III. CADRE GEOLOGIQUE

A- CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL (Fig. 2)

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 Mléta et de l'Habra, située dans l'axe de la dépression de Chélif.

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). Il 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.

L'évolution sédimentaire du bassin est caractérisée par un Miocène inférieur transgressif ou anti-nappe, caractérisé par la méga-séquence 1, et un Miocène supérieur ou le post-nappe caractérisé par la méga-séquence 2 (Delfaud *et al*, 1973). Ce dernier est subdivisé en trois séquences (2a, 2b, 2c).

La notion du Néogène post-nappe est introduite par (Fenet, 1975) à l'intérieur duquel il distingue trois cycles : 1) un cycle Miocène post-nappe (M1) représenté par des dépôts détritiques épais ; 2) un cycle Miocène post-nappe (M2) indépendant du premier qui transgresse le précédent ; et enfin, 3) un cycle Pliocène.

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 quelques 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).

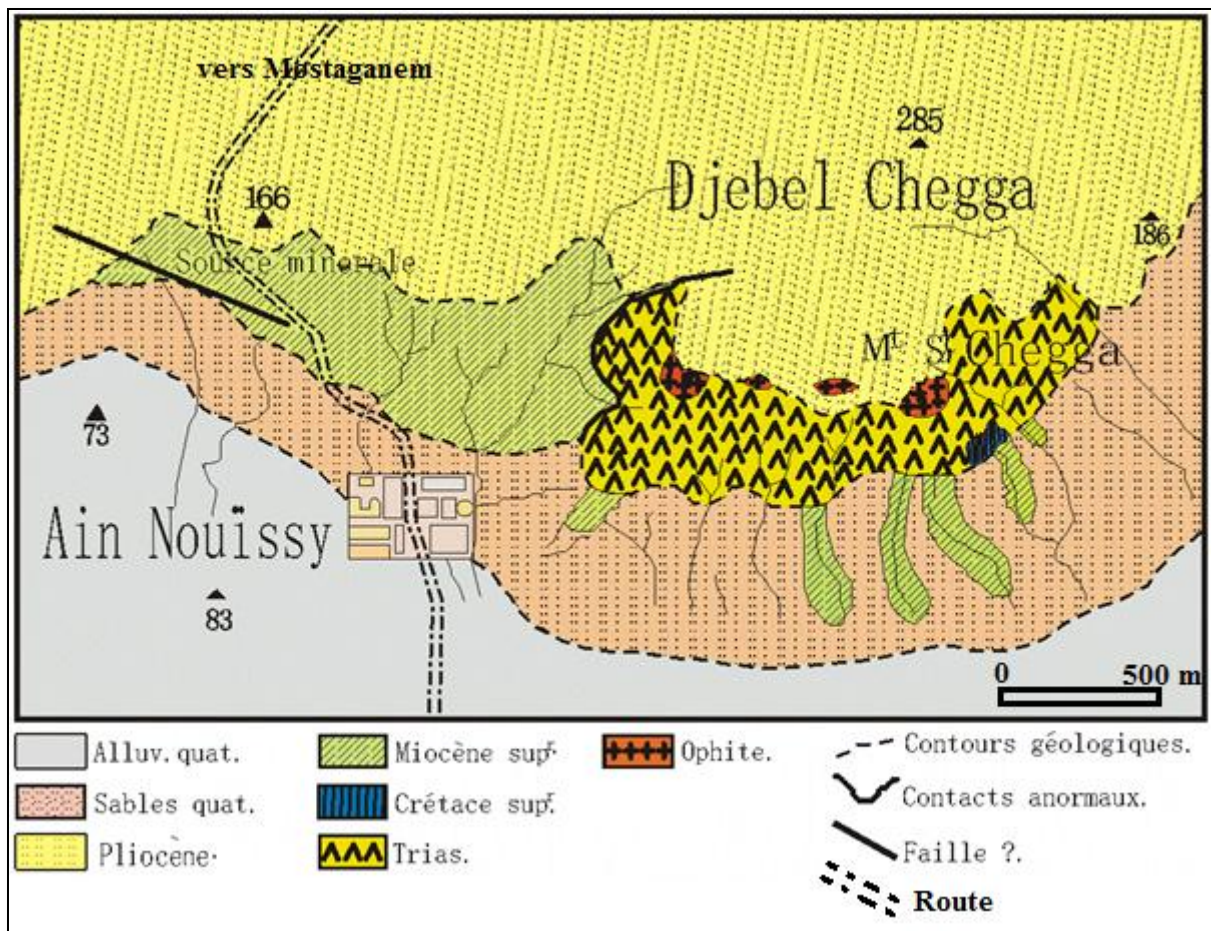


Fig.2 : Carte géologique des environs de Noisy-Les-Bains, (Flamand, 1900).

B- STRUCTURE DU BASSIN DE BAS-CHELIF (Fig. 3)

Le bassin Néogène du Chélif constitue un ensemble de sous-bassins alignés parallèlement à la côte actuelle. Il occupe une aire géographique allant de la frontière marocaine à l'Ouest, jusqu' à l'Est d'Alger. Il est composé de trois sillons principaux :

- le sillon nord en partie sous-marin correspond aux plaines sublittorales, plaine de Bou Sfer à des plateaux comme celui des Hachacha ;

- le sillon médian, le plus important comprend les grandes plaines de Mléta avec la grande Sebka d'Oran (Neurdin, 1992; Moussa, 2007) ;

- le sillon sud qui comprend Sidi Bel-Abbès et Mascara.

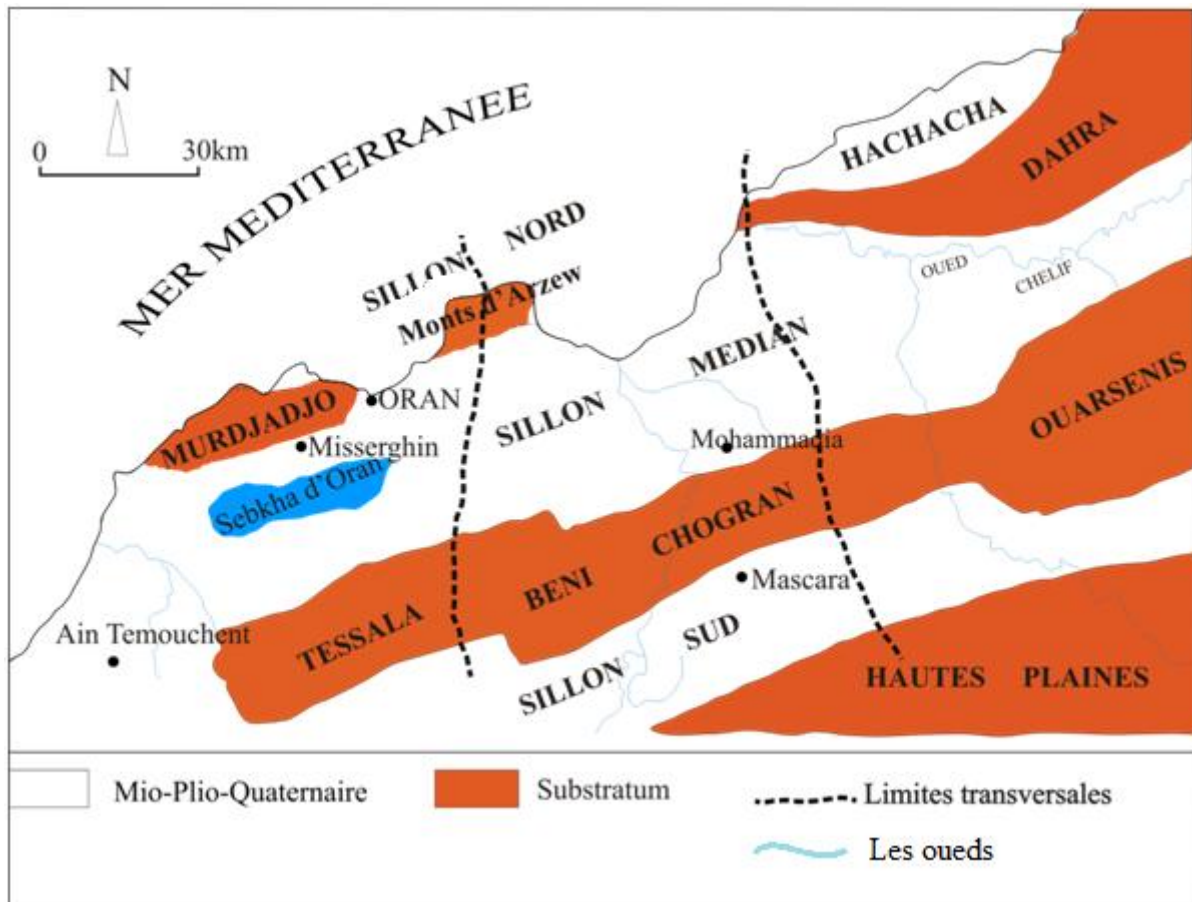


Fig. 3 : Structure générale du bassin de Chélif (Neurdin, 1992).

C- LA TECTONIQUE

La tectonique est postérieurement à la mise en place des nappes (Gourinard, 1958). Un ensemble de mouvements épirogéniques englobent les mouvements verticaux générant une structuration en horsts et grabens des massifs littoraux de l'Oranie et du bassin de Mers-El Kebir. L'existence de ces mouvements épirogéniques est responsable de la subsidence du bassin du bas-Chélif (Perrodon, 1957). Cette tectonique est distensive depuis le premier cycle post-nappe jusqu'à l'actuel (Fenet, 1975). La polarité des séquences du Néogène du bas-Chélif est régie par la dynamique en distension génératrice de subsidence (Delfaud, 1975).

Une tectonique polyphasée a été admise (Thomas, 1985), car les séries du Miocène supérieur sont discordantes sur les terrains antérieurs. La distension matérialisée par un jeu de failles a individualisé les zones à mouvement positif (horsts) et des secteurs à mouvements négatif (grabens).

Cette tectonique est représentée dans la structure du littoral Oranais actuel ; elle s'exprime par trois directions principales :

- N20E, cette direction remobilise les transversales de [Glangeaud, \(1951\)](#) ;
- N60E, elle est parallèle à l'allongement de l'ensemble du bassin du bas Chélif ;
- N80E, elle est d'une expression beaucoup plus discrète.



Fig. 4 : Carte géographique de l'Oranie.

IV- HISTORIQUE DES RECHERCHES

L'Algérie occidentale a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques depuis 1830 jusqu'à nos jours, soit dans un cadre économique comme la recherche des hydrocarbures, soit dans le cadre scientifique intéressé à la reconstitution de l'histoire tectono-sédimentaire du bassin.

La thèse de [Perrodon](#) (1957) est considérée comme un véritable document de recherche. Elle est consacrée à l'accumulation et l'interprétation des données sédimentologiques et tectoniques des terrains en surface et par forages.

L'interprétation de littoral oranais comme une suite de horsts et grabens est suggérée par [Gourinard](#) (1958). Il attache la sédimentation miocène à des mouvements verticaux. Il a confectionné une nouvelle carte géologique où les grands ensembles sont mis en place. Un modèle d'évolution plus général du bassin sédimentaire au Miocène supérieur a été établi ([Delfaud et al](#), 1973). Cette synthèse offre un modèle paléogéographique de la bordure méditerranéenne.

L'étude de bassin du Chélif a été effectuée par [Thomas](#) (1985) où il signale que ce bassin est développé sur une croûte continentale dotée d'extrême mobilité. Celle-ci est liée à un cisaillement de collision qui amène une tectonique polyphasée.

Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur de l'Algérie et du Maroc ont été entreprises ([Saint-Martin](#), 1988). Cette étude lui a permis de tirer une conclusion paléoécologique et paléogéographique de la région étudiée. L'étude du Miocène a été suivie par les travaux de [Moussa](#) (1993) sur la bordure Nord de Béni-Chougrane. Une reconsidération biostratigraphique des dépôts d'âge Miocène inférieur au sens de [Perrodon](#) (1957) a été réalisée ([Berrabah](#), 1998).

V- METHODOLOGIE ET OBJECTIFS

Les résultats présentés dans ce présent travail se focalisent sur deux méthodes de travail : d'abord sur le terrain, puis les travaux de laboratoire.

A- LES DONNEES DU TERRAIN :

Cette étude est réalisée sur la montagne de Sidi Chegga (Ain Nouissy), où des coupes détaillées ont été levées en vue d'établir le contexte sédimentaire tout en déduisant les formations pédogénétiques développées sur une lithologie de nature différente des roches

sédimentaires et autre cristallophyllienne (ophite). Leur processus de formation et leurs phénomènes associés sont entrepris.

B- LE TRAVAIL AU LABORATOIRE :

Le travail au laboratoire est basé sur la préparation des échantillons pour des lames mince et la section polie des horizons carbonatés. Puis l'analyse macroscopique et microscopique pour une description détaillée.

2^{ème} PARTIE

***LES DONNEES REFERENTIELLES :
CALCRETISATION ET PEDOGENESE***

I. INTRODUCTION

Les dépôts calcaires 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 menant à une formation de *hardpan* et (2) une approche climatique provoquant la dissolution de la calcite. Il en résulte des précipitations dans la granulométrie poussiéreuse et la déssolution partielle du profil du sol.

Les dépôts quaternaires tardifs au Nord de l'Algérie, montrent une abondance de calcrètes. Citons :

- (1) *calcrètes d'eau souterraine* proviennent d'eaux saturées de carbonates qui se déplacent de manière préférentielle selon les plans de stratification ;

- (2) *calcrètes pédogénétiques* se forment par des processus de formation de sols généralement dans des zones extra-canalisesées ;

- (3) *conglomérats calcaires* se produisent sous forme de rubans, de feuilles et de lentilles en raison du recyclage des calcrètes tant pédogénétiques que souterraines.

II. DENOMINATIONS ET EQUIVALENT DU TERME CALCRETE

Les termes trouvés dans la littérature internationale pour décrire le terme calcrète sont variées, on peut citer : "calcaire superficiel" et "duricrust calcaire" "Caliche" (USA), "Kankar" (Afrique de l'Est, Inde, Australie), "Jiglin" (Nigeria), "Tosca" (Argentine, Espagne), "encroûtements calcaires", et une nouvelle terminologie : Horizons d'Accumulations

Carbonatées (HAC). Les termes "Calcrêtes" et (HAC) seront utilisées tout au long de ce rapport.

Il convient de noter que les sols avec accumulation de carbonate sont omniprésents caractéristiques au Nord Africain (Ballais et Ben Ouezdou, 1991; Gallala et al. 2010). Quant au contexte Algérien, les calcrêtes couvrent de vastes zones de territoire; ceci est bien rapporté dans les études spécialement sur le plateau d'Oran (Menzoul, 2011).

III. GÉNÉRALITÉS SUR LES HORIZONS D'ACCUMULATIONS CARBONATEES (HAC)

A. DENOMINATIONS

Ces horizons d'accumulations carbonatées (HAC), appelés également « calcrêtes », « 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) (l'horizon est alors appelé "K"), ou des cimentations issues de phénomènes diagénétiques, cryogéniques, phréatiques, vadoses, des rhizocrêtes (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. ». Ce chapitre présente des informations générales concernant ce type de structures particulières afin d'avoir une idée de leurs contextes de localisations géographiques mondiales, des grands processus mis en œuvre pour leur formation, de leurs aspects micromorphologiques, de leurs classifications ainsi que de leurs impacts sur l'environnement.

B. RÉPARTITION MONDIALE

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

Ces HAC 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). Chen *et al* (2002) estiment par exemple que les horizons d'accumulations carbonatées occupent 21 % de la surface de l'Australie et 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'HAC est cependant relevée dans des régions du globe aux contextes climatiques variés plus ou moins singuliers. 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 subdésertique (Schlesinger, 1985) ou sous climat semi-continental (Loisy, 1997). Les HAC 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 structure semblent assez ubiquistes et pas uniquement en lien avec les conditions climatiques.

C. REPARTITION STRATIGRAPHIQUE

Si tous les autres facteurs pédogéniques (formation de sols restent constants), l'effet du temps est d'augmenter le stade de développement du calcrête. Ainsi, les calcrêtes les plus anciens ont tendance à être les plus fort, le plus fort et possède le meilleur classement.

Les terrasses en rivière ou en pan sont les plus anciennes et les calcrêtes sur les terrasses les plus élevées sont généralement les plus développés et les plus épais.

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

Comme ils ne se forment pas à l'heure actuelle, les calcrêtes fossiles ne doivent pas se produire sous les conditions actuelles favorables à la formation de calcaires, et quand elles ne les affligent pas peut être extrêmement difficile à localiser.

Empiriquement, il est cependant constaté que même les calcrêtes fossiles obéir aux corrélations climatiques mentionnées ci-dessus et ne pas se produire sur des roches non calcaires comme le granit et le grès, à moins que le drainage ait été une fois favorable, c'est-à-dire qu'il a importé du calcium carbonate dans la région.

L'âge des calcrêtes 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 calcrêtes 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 calcrêtes fossiles obéir aux corrélations climatiques

mentionnées précédemment et ne pas se produire sur des calcaires non calcaires des roches comme le granite.

IV. MODELES DE SEDIMENTATION ET ORIGINES DU DEPOTS

La littérature scientifique a présenté au cours du temps de nombreuses hypothèses quant à la formation des Horizons d'Accumulations Carbonatés (HAC). [Freytet et Verrecchia](#) (1989) réalisent une review 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 MODELE LACUSTRE

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

B. LE MODELE *IN SITU*

Dans ce modèle, le carbonate provient directement de l'altération d'une roche- mère carbonatée. Il s'agit des HAC que l'on peut par exemple trouver dans les rendzines actuelles sur colluvions. Ce modèle est également appliqué pour expliquer la formation des « "Nari " de l'école israélienne ([Yaalon et Singer](#), 1974).

C. LE MODELE *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 MODELE *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 MODELE SEDIMENTAIRE

Dans ce modèle, les carbonates sont transportés par l'eau puis précipités lors de son 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 MODELE GEOCHIMIQUE

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. Les carbonates corrodent et remplacent leur substrat par épigénie calcaire (Millot et al, 1977 ; Nahon et Ruellan, 1975).

VII. MICROMORPHOLOGIE GÉNÉRALE : IDENTIFICATION

La grande famille des HAC regroupant un nombre très important d'occurrences se formant sur des substrats géologiques et sous des climats différents. Il existe un très grand nombre de structures figurées qui peuvent se rencontrer en leur sein. Cette partie en décrit les principales qui sont généralement classées en structures macroscopiques («macrofeatures») et microscopiques («microfeatures »).

A. STRUCTURES MACROSCOPIQUES

Les principales structures macroscopiques observables au sein des HAC sont les rhizolithes, les croûtes laminaires et les pisolithes (Wright et Tucker, 1991 ; Zhou et Chafetz, 2009).

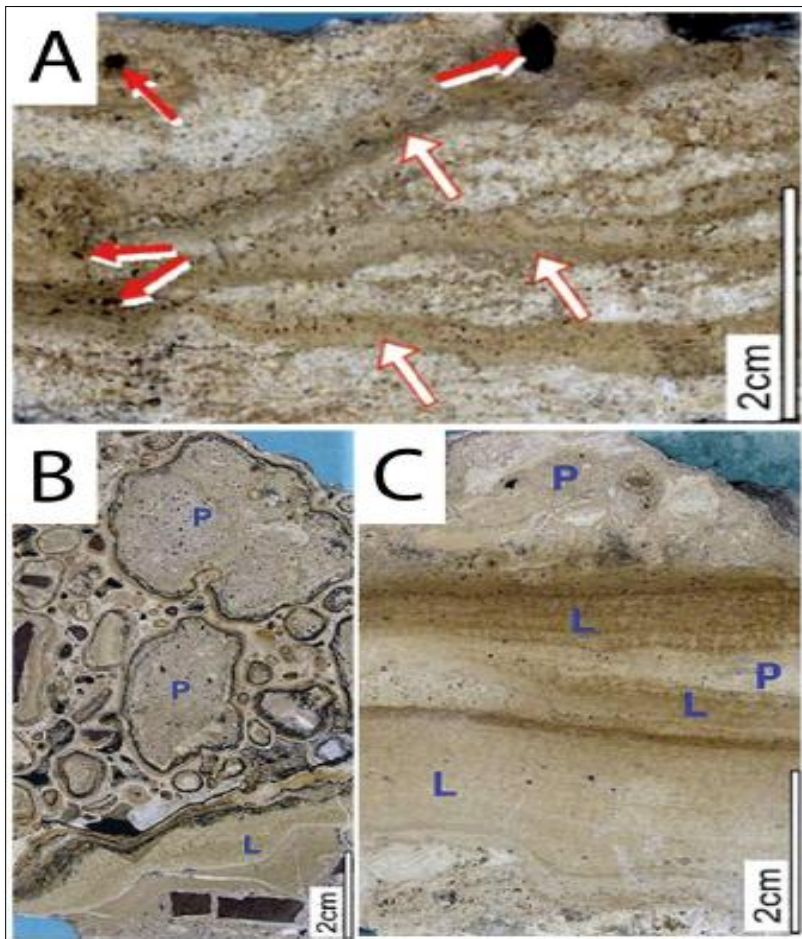


Fig. 5 : Différentes structures macroscopiques observables au sein des Horizons d'Accumulations Carbonatées (d'après Zhou et Chafetz, 2009). A : Rhizolithes (flèches rouges) ; B : Pisolithes (P) ; C : Croûtes laminaires (L).

1. *Rhizolithes*. Ce type de structure provient d'une cimentation de calcite à l'intérieur et/ou autour des racines (Klappa, 1980). Ils possèdent une morphologie typique en pores submillimétriques et/ou en tubes cylindriques. Tous deux d'origine racinaire et semblent généralement être répartis de manière aléatoire dans l'HAC (Fig. 5). Les rhizolithes s'orientent tantôt subverticales (Wright et Tucker, 1991) tantôt horizontales (Wright et al, 1988). Zhou et Chafetz, (2009) Ces structures se sont subdivisées en cinq types : Root moulds , Root casts , Root tubules, Rhizcretions et Root petrifications.

2. *Croûtes laminaires*. Les croûtes laminaires se présentent sous forme d'une alternance de couches de couleurs et de textures différentes (Fig. 5, C) (Zhou et Chafetz, 2009). Leur épaisseur ne semble dépasser que rarement le décimètre et leur extension latérale est de l'ordre de la dizaine de mètres. Les origines de ces structures sont diverses : (i) phénomènes purement physicochimiques par simple précipitation de carbonates ; (ii) phénomènes biologiques induits par des lichens, des cyanobactéries, des tapis racinaires, des champignons et/ou des algues (Klappa, 1979 ; Krumbein et Giele, 1979 ; Kahle, 1977).

3. *Pisolithes*. Les pisolithes sont constituées d'encroûtements successifs en couches concentriques autour de grains préexistants (Fig. 5, B). Ils peuvent affecter des grains dont la taille peut varier entre 0,2 millimètre et quelques centimètres (Wright et Tucker, 1991). Ces structures pisolithiques se rencontrent très couramment au sein des HAC et notamment associées à des profils de sol à calcrêtes très matures. Elles apparaissent généralement au sommet du calcrête, au-dessus d'une croûte laminaire, à la suite de la formation d'une cuirasse à la faveur de nuclei qui est généralement des clastes issus du calcrête (Wright et Tucker, 1991).

B. STRUCTURES MICROSCOPIQUES

1. *Rhizolithes*. D'un point de vue microscopique, il s'agit de cercles concentriques dont le diamètre varie entre 100 et 500 μm (Fig.6, A). En général, l'épiderme des racines est préservé et composée de calcite microsparitique ou micritique, de needle fibre calcite (NFC) et de corps sphériques nanométriques (Zhou et Chafetz, 2009).

Le ciment micritique marron de ces microtubules est intimement lié aux structures racinaires (Jones et Ng, 1988). La cimentation importante peut être expliquée par l'activité des micro-organismes symbiotiques qui coexistent avec les racines des plantes (Jones et Ng, 1988 ; Alonso-Zarza et Jones, 2007).

2. *Structures laminaires et revêtements des pisolithes*. Il s'agit de couches foncées enrichies en matière organique intercalées de couches claires composées de calcite microsparitique (Fig. 6, A et B). Il existe également de nombreuses petites pisolithes à l'intérieur des croûtes laminaires. Ils ont un diamètre allant de 200 à 500 μm et certains d'entre eux peuvent être associés à des structures racinaires. Leur revêtement est alors composé de nombreux filaments et de needle fiber calcite (NFC).

3. *Péloïdes*. Les péloïdes sont des petits grains micritiques sans structure interne particulière. Ils ont en général un diamètre supérieur à 300 μm et une forme subsphérique. Ces structures semblent pouvoir s'associer en amas consolidés par une microsparite ce qui donne un aspect moucheté au microscope optique (Fig. 6, C). Certains d'entre eux sont poreux et intimement associés à des structures racinaires. Ils ont souvent été interprétés comme étant des produits de l'altération de grains plus gros (James, 1972), des agrégats de ciments calcaires (Klappa, 1978) ou d'origine fécale (Calvet et Julia, 1983 ; Jones et Squair, 1989 ; Alonso-Zarza et Arenas, 2004). Il semble que la formation de certains de ces péloïdes soit induite par des bactéries (Chafetz, 1986 ; Chafetz et Folk, 1984).

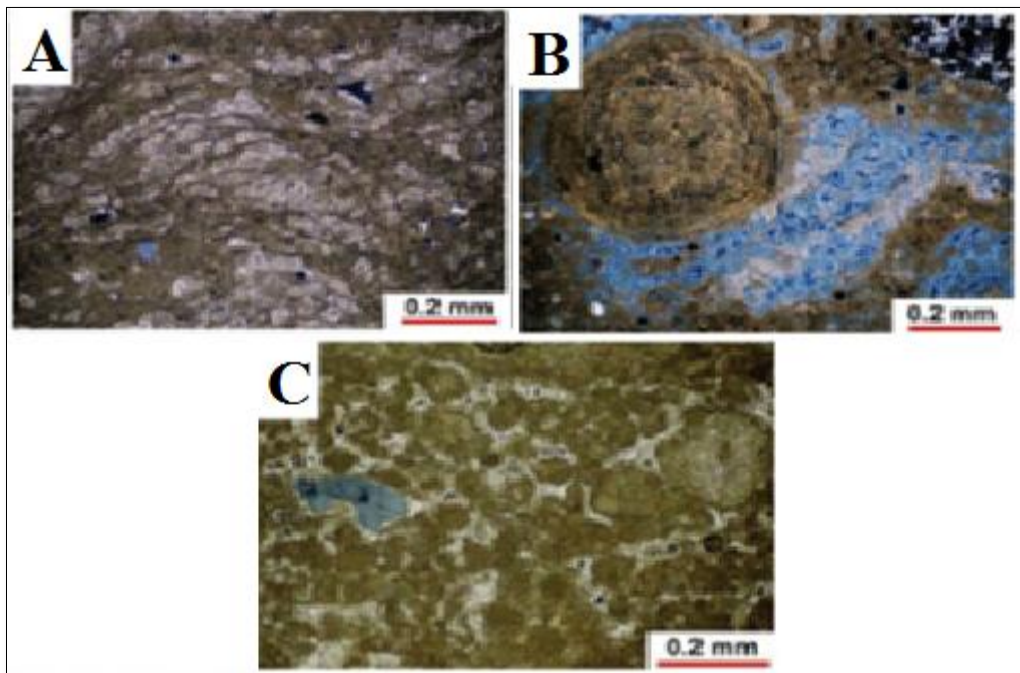


Fig.6 : Structures microscopiques observables au sein des horizons d'accumulations carbonatées (d'après Zhou et Chafetz, 2009) (A, B et C : microscope optique). A : structure laminaire ; B : revêtement pisolithique ; C : ensemble de péloïdes.

4. *Filaments calcifiés et calcisphères*. Les filaments calcifiés sont un des composants biogéniques les plus communs constitutifs des croûtes laminaires (Klappa, 1979 ; Verrecchia et al, 1995) et des revêtements pisolithiques (Calvet et Julia, 1983). Leur couleur varie de brun au vert foncé. La longueur moyenne des filaments est supérieure à 250 μm et les plus développés ont tendance à conserver leur forme tubulaire avec une cavité interne circulaire remplie ou non. Les diamètres internes et externes sont respectivement compris entre 0,6 et 20 μm et 2 et 22 μm . Les cristaux qui précipitent et qui encroûtent les filaments peuvent présenter différentes formes : (i) des cristaux de calcite avec une terminaison rhomboédrique (1 à 2 μm de long) ; (ii) des aiguilles de 1 à 5 μm de longueur et de 0,3 à 2 μm de largeur. Ces aiguilles sont orientées de manière perpendiculaire aux filaments ce qui dessine des motifs radiaires.

5. *Sphérulites*. Appelées aussi "Polycristaux sphérulitiques calcitiques fibro-radiaux", les sphérulites sont sphériques ou ovales et d'un diamètre de 20 à 50 μm (occasionnellement supérieur à 100 μm), Elles sont quelquesfois peu développées et se présentent sous une forme hémisphérique ou en éventail. Certaines s'imbriquent les unes dans les autres et forment des agrégats. Elles présentent un arrangement radiaire d'aiguilles de calcite de 1 à 2 μm de longueur pour un diamètre de 0,2 à 0,3 μm en moyenne. Selon [Wright et al](#), (1996), la présence de sphérulites est intimement liée à l'activité bactérienne.

6. *Needle fiber calcite* (NFC). La Needle Fiber Calcite est l'habitus le plus courant de la calcite dans les environnements vadoses et se retrouve sous toutes les latitudes ([Millière et al](#), 2011 ; [Cailleau et al](#), 2009 ; [Bajnóczi et Kovács-Kis](#), 2006 ; [Borsato et al](#), 2000 ; [Verrecchia et Verrecchia](#), 1994 ; [Butel et Ducloux](#), 1984 ; [Loisy](#), 1997 ; [Durand](#), 1978...). Il s'agit d'aiguilles de calcite majoritairement pauvres en magnésium et occasionnellement d'aragonite.

C. CLASSIFICATION

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

Un intérêt majeur est préférentiellement porté au premier type représentant les HAC au sein de profils de sol ([Alonzo-Zarza et Wright](#), 2010).

1. *En fonction de l'environnement diagénétique*. (i) dans la zone vadose ("*pedogenic calcrete*"). Les HAC se forment au sein de profils de sol exhumé ; (ii) dans la zone phréatiques, les HAC se forment 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) ; (iii) dans la zone continental-vadose calcrete. Ce troisième 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 et la production de carbonates présentant une "structure laminée" (Mack et al, 2000).

2. *En fonction de leur maturité.* Les calcrètes (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.7).

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

Fig.7 : Tableau montrant la classification morphologique des calcrètes (Wright et Tucker, 1991 ; Netterberg, 1967, 1980 ; Goudie, 1983).

3. En fonction de la nature pétrographique de la roche-mère

Cette classification prend en compte les microstructures des étapes de développement des calcrêtes (Machette, 1985). Ce type de classification se passe par 6 stades de développement (Fig.8) ; elle tient compte de la nature de la roche mère. Ce paramètre concerne la quantité de graviers (élevée, faible ou nulle) de roche présente dans le substrat géologique (Gile et al, 1966 ; Machette, 1985 ; Treadwell-Steitz et McFadden, 2000).

Stade	Teneur en graviers	Caractéristiques
1	élevée	Revêtements carbonatés fins et discontinus généralement localisé sur la surface inférieure des graviers
	faible	Quelques filaments calcaires présents au sein du sol ou revêtement léger sur la surface des graviers
2	élevée	Revêtements calcaires continus fins à épais à la surface des graviers
	faible	Nodules calcaires dont le diamètre varie entre 4 et 40 mm
3	élevée	Accumulations massives de carbonates entre les différents éléments qui peuvent être extrêmement bien cimentées dans les formes les plus avancées
	faible	Existence de nombreux nodules calcaires coalescés dans une matrice plus ou moins cimentée
4	nulle	Lamines calcaires dont l'épaisseur peut aller jusqu'à 10 mm recouvrant des cuirasses préexistantes
5	nulle	Pisolithes calcaires surmontant des lamines carbonatées dont l'épaisseur est supérieure à 10 mm. Des lamines calcaires peuvent également recouvrir des surfaces de fractures
6	nulle	Matrice complexe constituée de plusieurs générations de lamines calcaires, bréchifiées, recimentées, pisolitiques... Présence d'un grand nombre de péloïdes et de pisolithes calcaires à l'intérieur des fractures

Fig.8 : Tableau montrant la classification des calcrêtes pédogéniques basée sur les 6 stades de développement (Wright et Tucker, 1991 ; Machette, 1985). Teneur en graviers élevée : > 50 % ; faible : < 20 %.

4. 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.9) :

- 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.

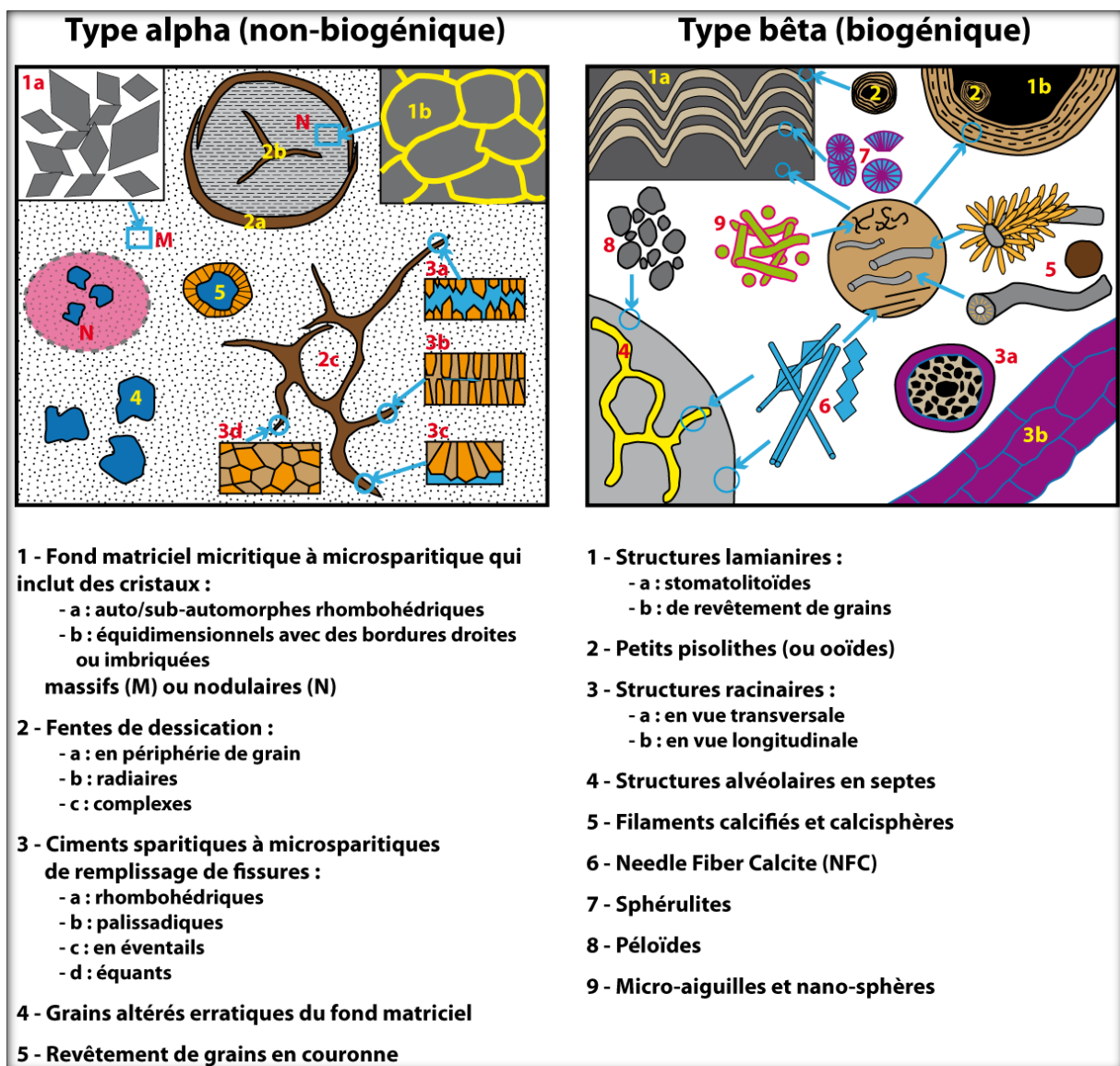


Fig.9 : Tableau montrant la représentation schématique des deux types de microstructures (alpha et bêta) dans les calcrêtes (Wright, 1990, 2007 ; Zhou et Chafetz, 2009, modifiée).

Il existe de nombreuses autres classifications qui peuvent s'attacher à divers paramètres tels que le contexte hydrologique sommaire ([Carlisle, 1983](#)), la minéralogie générale ([Netterberg, 1980](#)), les microstructures ([Wright et Tucker, 1991](#)) etc.

D. CONCLUSIONS

Les horizons d'accumulations carbonatées (HAC) 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.

3^{ème} PARTIE

*CALCRETES DU DJEBEL CHEGGA :
DESCRIPTION ET IDENTIFICATION*

I. INTRODUCTION

Dans les régions littorales et sublittorales de l'Algérie, les calcrètes sont largement répandus. Ils se produisent dans un certain nombre de formes et d'épaisseurs différentes. Cependant, des études sont très limitées comme la morphologie et la distribution. L'évolution des calcrètes ou Horizon d'Accumulation Carbonaté (HAC) dans ces vastes régions n'ont pas été caractérisées et traitées en détail.

II. OBJECTIF DE L'ETUDE

Des données micro-morphologiques et minéralogiques sur les différents types de calcrètes ont été examinées. L'objectif est de construire la séquence des événements qui mènent au développement de profils calcaires et à interpréter leur origine et leur répartition par rapport aux conditions paléoclimatiques, ainsi le contexte géomorphologique de la formation.

Notre analyse offre un intérêt majeur est préférentiellement porté au premier type représentant les HAC au sein de profils de sol.

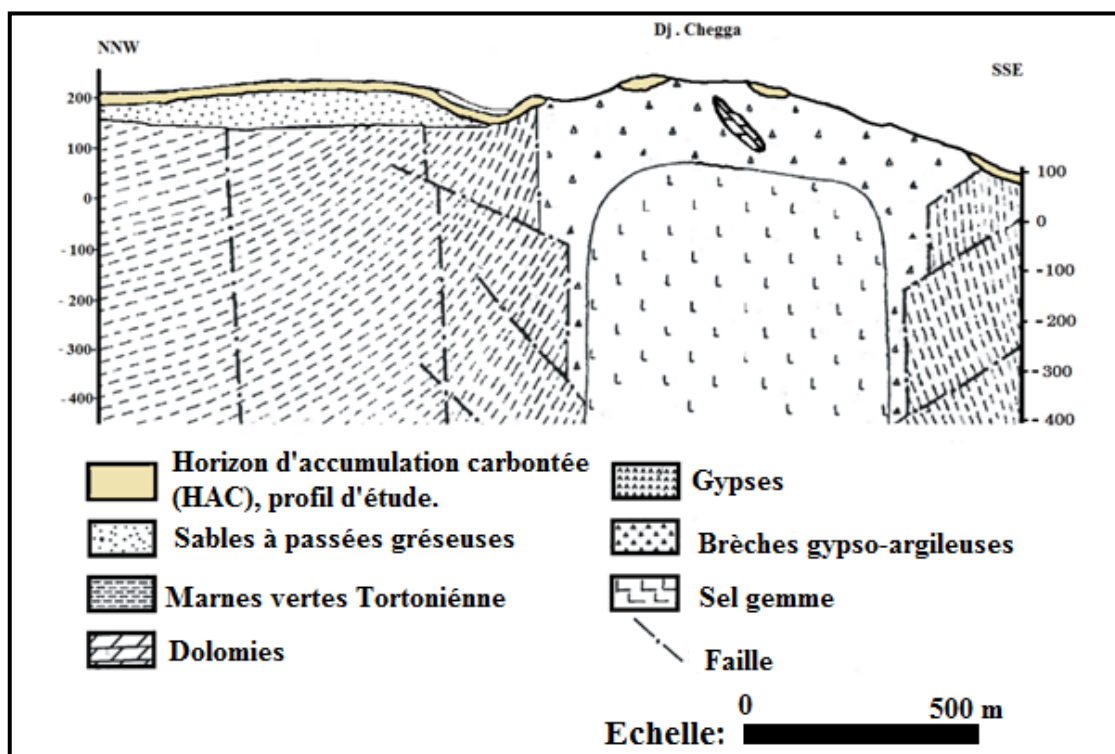


Fig. 10 : Coupe inspirée portant le profil d'étude, d'après les données géophysiques, du Djebel Chegga d'Aïn Nouissy (E.R.E.M., 1984).

III. LOCALISATION DES AFFLEUREMENTS (FIG. 11)

Entre le large et la profonde vallée du Bas-Chélif au Nord et la dépression monotone de l'Habra-Macta au sud, la vallée de la "paresseuse" Mina inférieure à l'Est et la mer à l'Ouest, la région mostaganémoise s'étend sur plus de 1400 kilomètres carrés, entre la chaîne côtière du Dahra au nord et l'Atlas tellien au Sud. A partir du grau de la Macta, il domine la Méditerranée par une côte escarpée et sauvage, souvent envahie par les dunes.

Le secteur d'étude surplombe le village d'Aïn Nouissy (Noisy-Les-Bains). Cette région est dominée par le Djebel Chegga qui se dresse comme un éperon rocheux au-dessus de la vaste plaine de l'Habra situant sur le rebord Sud-Ouest du plateau de Mostaganem, à 16 Km au Sud de Mostaganem et à 6 Km à l'Est de la côte méditerranéenne (Stidia plage).



Fig. 11 : Carte géographique montrant les toponymies du secteur d'étude.

IV. INTRODUCTION A LA GEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE (FIG.12)

La coupe synthétique établie à partir des données géophysiques et de forage, montrent clairement qu'il s'agit là d'une structuration diapirique. Au Djebel Chegga, les terrains les plus anciens qui sont en contact avec le Trias, sont les marnes miocènes du 2^{ème} cycle post-nappes.

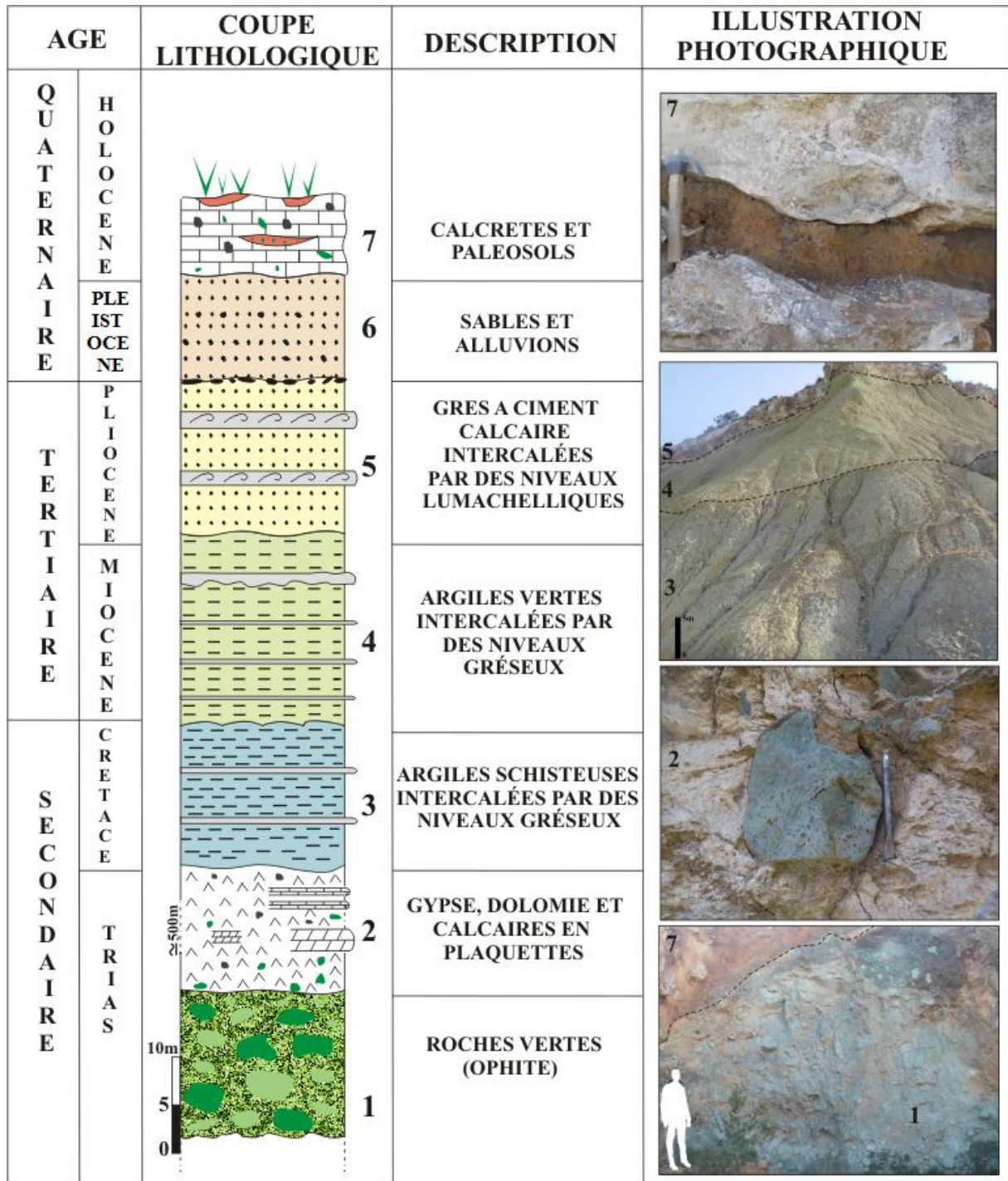


Fig. 12 : Coupe lithostratigraphique du Djebel Chegga (Aïn Nouissy).

Les terrains qui sont visibles sont d'âge tertiaire, comprenant divers étages : Eocène, Miocène (surtout dans la grande côte à la sortie du village en allant vers Hassi Mamèche et Pliocène (c'est la plus grande partie du plateau dominant Noisy-les-Bains). Ces affleurements pliocènes sont traversés par la puissante masse gypso-saline du Djebel Chegga datée du Trias, qui apparaît un peu comme un bouchon remontant des profondeurs vers la surface. Il s'agit très vraisemblablement d'un gypse "éruptif" et non d'un gypse de sédimentation.

On observe, en l'affleurement de Noisy-Les-Bains, les terrains suivants :

- Le socle est représenté par des roches cristallophylliennes volcaniques (ophites) qui remontent à la surface associée avec un diapir triasique.
- Argiles schisteuses avec bancs de grès quartzeux et calcaires, formant un très petit lambeau au contact du Trias à l'extrémité occidentale de ce dernier. Ce lambeau appartient à un niveau Crétacé, probablement Crétacé supérieur d'après [Brives](#) (*in* : [Flamand](#), 1900).
- Des argiles bleuâtres, brunes à leurs surfaces, intercalées de quelques lits gréseux qui apparaissent notamment au-dessus du village le long de la route de Mostaganem. Ces argiles se délitent assez facilement et sont utilisées comme terre à brique.
- Grès à ciment calcaire en bancs épais à stratification horizontale intercalés par deux niveaux lumachelliques représentant le Pliocène inférieur du plateau de Mostaganem. Ces niveaux montrent de nombreux débris de coquilles et des empreintes de gastéropodes et de bivalves indéterminables, une Huître (*Ostrea edulis*) y est assez abondante.

La partie sommitale est caractérisée par la présence d'un niveau conglomératique de plage (poudingue) cimenté par un ciment argileux-sableux.

- Sables rougeâtres provenant de la désagrégation des grès pliocènes et entraînés par ruissellement au pied du Dj Chegga sur le bord de la plaine formée d'alluvions. Ils se sont déposés là, à l'époque pléistocène.
- Alluvions pléistocène s'observent au piedmont de la montagne envers la plaine de l'Habra.
- Encroûtements calcaires (calcrêtes) qui fait l'objet de notre sujet d'étude ; ces calcrêtes (rigolithes *s.l.*) s'achèvent toute la succession lithologique (roches vertes (ophites) et les gypses triasiques), marquant ainsi l'émersion totale du plateau de Mostaganem, ce que nous avons constaté dans le plateau d'Oran (Menzoul, 2011). Ces calcrêtes sont caractérisées par

une texture matérialisée par des concrétions calcaires et des fragments de roches vertes et de schistes. Latéralement, ces encroûtements ont subi une forte pédogenèse formant un véritable paléosol rougeâtre.

V. PROFIL ET IDENTIFICATION DES ELEMENTS DE HAC

A. POSITION DU PROFIL

La coupe étudiée (**Fig. 12**) montre bien le profil des calcrêtes en contact avec le Trias ophitique.

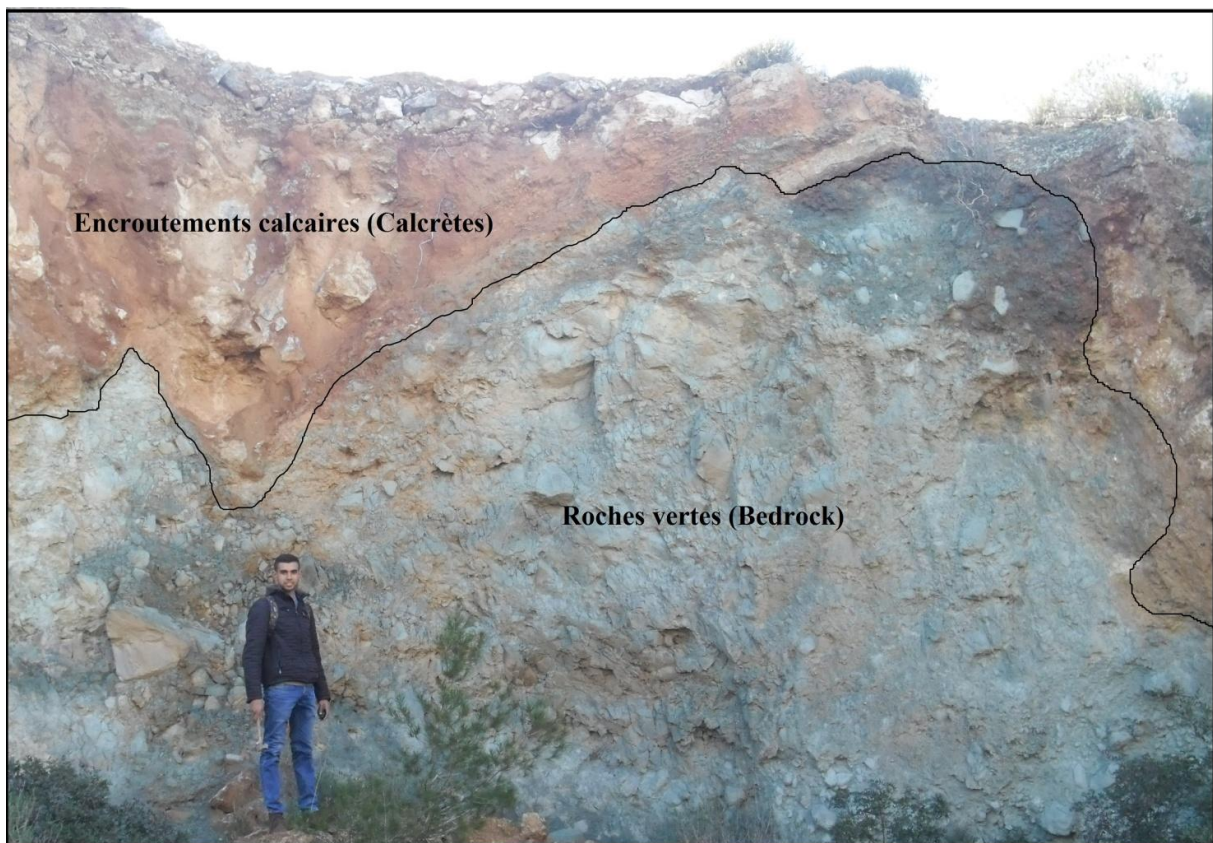


Fig. 13 : Développement des calcrêtes au-dessus d'un socle ophitique.

B. PROFIL D'ETUDE (**FIG. 14**)

Le développement des encroûtements sur le Trias ophitique (Oph) s'organisent comme ainsi :

1. **Paléosol inhumé (PS) ;**
2. **Horizon d'accumulation carbonaté (HAC) ;**
3. **Terra Rossa (sol rouge fersilitique méditerranéen) ou sol exhumé**

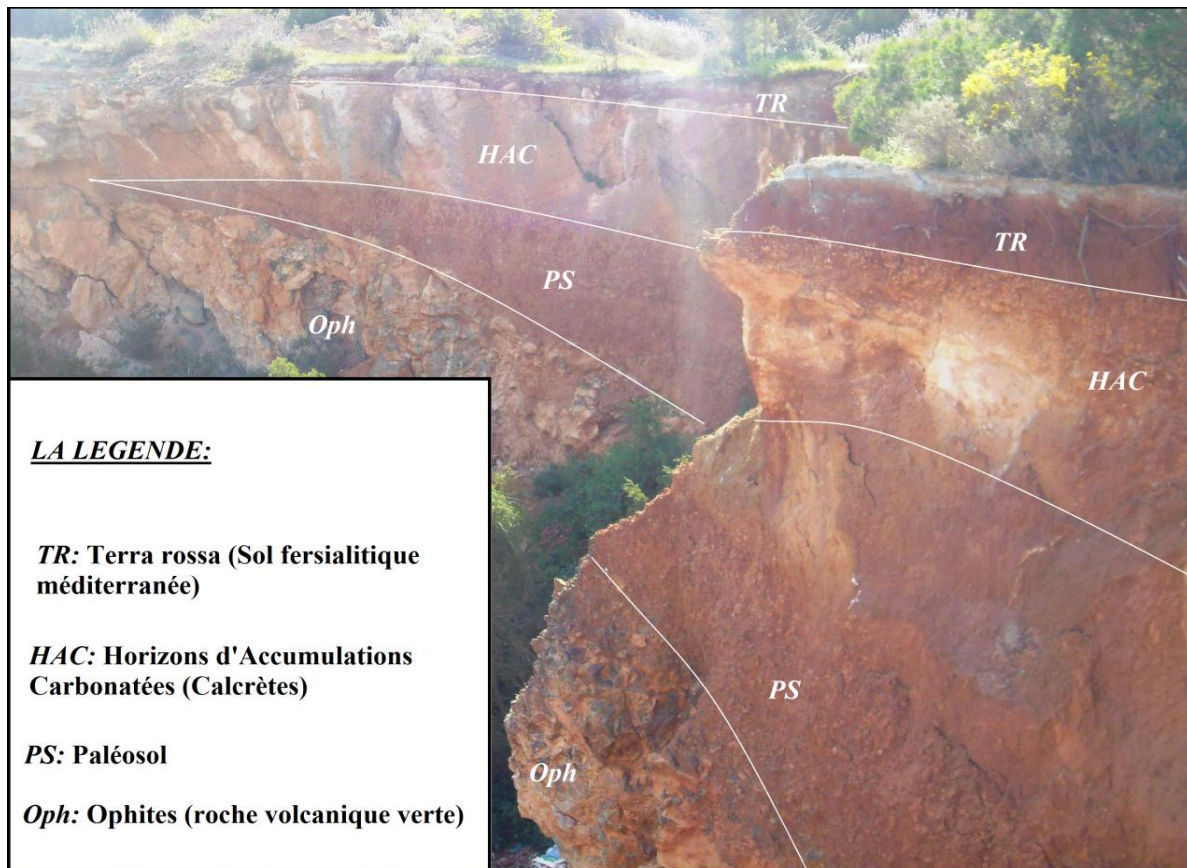


Fig.14 : Succession des horizons pédogénétiques (calcrètes et paléosols) à partir d'une roche mère verte (ophite).

C. CYCLES PEDOGENETIQUES (FIG. 15)



Fig.15 : Cycle pédogénétique (calcrête et paléosol) et karstification.

La formation de ces horizons d'accumulation carbonatée nécessite un équilibre hydrique favorable et une source de carbonate de calcium (la roche mère verte).

Une brève précipitation suivie d'une longue période d'évaporation rapide et de sécheresse entraîne une précipitation de la calcite.

La période humide cause la karstification (dissolution) des roches carbonatées (HAC) et favorise une pédogenèse tardive. Par conséquent, la karstification de la surface de calcrête indique un changement climatique d'une phase plus sèche à une phase plus humide.

D. DESCRIPTION ET INTERPRETATION DES ECHANTILLONS

Des critères micromorphologiques de calcrète sont bien illustrés. Il est à noter que les termes descriptifs utilisés par les géologues et les pédologues diffèrent. Les calcrètes présentent des micro-tissus d'origine non biogène et biogène.

Ces micro-tissus se représentant sous la forme de tissus bêta-calcrètes comprennent (i) des revêtements microbiens, (ii) des tubules calcifiés, (iii) des rhizolithes, (iv) des tissus alvéolaires et *Microcodium*.

Les contributions microbiennes et fongiques sont évidentes dans de nombreuses calcrètes. Les tissus Alpha-calcrète proviennent de la croissance réactive de carbonate (par exemple micrite micrométrique, microsparite, nodules, fissures complexes et fractures à cristaux liquides, cristaux de calcite rhombique). Certains des critères énumérés ci-dessous reflètent le développement des profils de sol au fil du temps, par exemple : un réseau ouvert de micrite peut se développer à la dentelle laminaire à lamine lamellaire dense, puis à calcrète bréchique. Les critères communs en section polie et en lame mince sont les suivants :

1. Texture. La texture générale du calcrète correspond à des boues mudstones, packstones ou bindstones. Notez que ces textures ne sont pas des textures déposées mais secondaires.

2. Matrice et constituants

- Ciment et microsparite. Les types de ciment communs en caliche sont le ciment micritique vadose, le ciment calcitique et le ciment en ménisque. Les tissus microsparitiques sont communs.
- Micrite dense concentrée soit dans des nodules isolés sombres, petits nœuds, soit dans des masses anneaux ou irrégulières formant une couche de chaux secondaires développée à partir de calcaires parentaux micritiques. Le terme "glaebule" souvent utilisé désigne les constituants des sols (par exemple les nodules) dont la forme, la couleur ou la composition diffèrent de la matrice du sol environnant.
- La micrite coagulée se compose de micrométries arrondies à micrite microscopique, séparées par une calcite sparitique. La texture coagulée peut entraîner une oblitération totale

des textures et des tissus sédimentaires d'origine. Un grain composé de grains bien classés et de taille de sable peut être modifié en micrite coagulée (diamètre de 0,5 à 1,0 mm).

- Particules sphériques, de 0,05 à 0,5 mm de diamètre, sont abondants isolées ou en granulats densément emballées formant une texture coagulée. Interprétée comme étant d'origine diagénétique, proche de la surface ("grainification") d'une limoneuse de chaux, ou sous forme de boulettes fécales calcifiées de petits arthropodes de sols. Les tissus ondulés ont également été interprétés comme des produits de calcification liés aux tapis racinaires.

- Revêtements micritique (**Fig.16**). Des grains de carbonate détritique de diverse taille de sable, de cailloux et de bioclastes (flèche blanche) revêtus de fines lamelles régulières à très irrégulières de micrite brunâtre ou jaunâtre, microsparite ou sparite fine. Les revêtements varient latéralement ou ne se produisent que d'un côté du grain. Les grains revêtus peuvent être reliés par des ponts micritiques (en ménisque). Les revêtements de micrite sont particulièrement fréquents dans la calcrête caractérisant les phases initiales de la calcrétisation.



Fig.16 : Caractéristiques diagnostiques de calcrête. L'une des caractéristiques les plus importantes du calcrête vue dans les sections polies est leur texture inhomogène. Les critères caractéristiques de cette image sont la texture de type brèche, les tissus nodulaires, les tissus coagulés avec des peloïdes micritiques.

- Corps accréionnaires pisiformes de micrite ou de microsparite avec un noyau carbonaté de micrite. Associé à des horizons de calcrête laminaire.

- Piséides. Les solides du sol (Pl. II, Fig. E) sont des grains micritiques concentriques sphériques ou subsphériques, irrégulièrement laminés ; elles sont formées par une précipitation chimique ou biochimique du carbonate microcristallin sur un noyau. Des croûtes de calcrête laminaire y sont associées.

4. Tissu

- Croûtes laminaire (Fig.17). Des croûtes millimétriques ou laminées de carbonate légèrement ondulées, présentant une alternance (jaunâtre / grisâtre) et en composition différente (micrite, microsparite, sparite). L'épaisseur de lamine varie entre 50 μm et environ 500 μm . Les lames lamines peuvent former un réseau complexe. Les lames suivent la topographie du substrat.



Fig.17 : Croûtes laminares ondulées, irrégulières et dentelées. Noter le recoupement des lamines par des tiges racinaires

- Fissuration (Flèche noire). Ces fissures apparaissent comme des fentes droites ou irrégulières (ridées) entourant les nodules (craquelure circumgranulaire). Les revêtements calcitiques entourent les structures alvéolaires et les pores irréguliers.

- Nodules micritiques, jusqu'à 10 mm, délimités et disséqués localement par des fentes circulaires remplies par de la sparite, jusqu'à 0,5 mm d'épaisseur. Ces fentes sont formées par

des processus alternatifs de retrait et d'expansion dans les sols induits par des cycles saisonniers de sécheresse / humectation

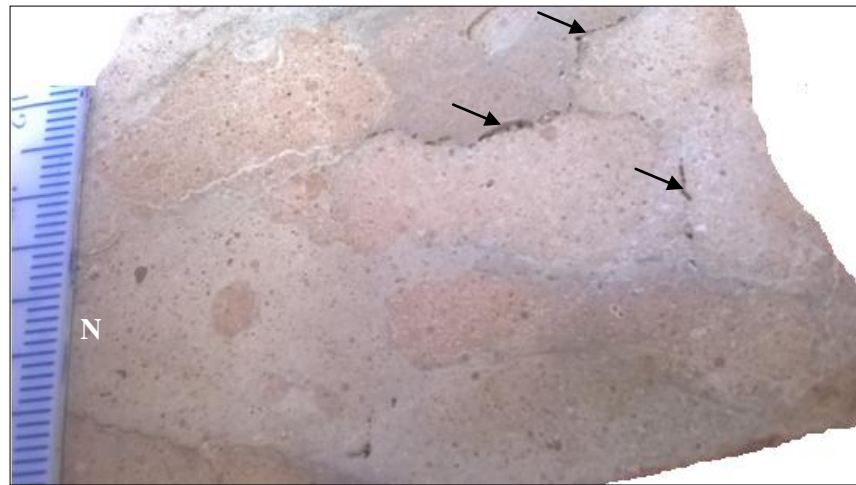


Fig.18 : Calcrête montrant des fissurations internes entourant les nodules.

- Les structures racinaires (rhizolithes) se produisent sous forme de racines ou de rhizoconcrétions. Les calcrètes rhizogéniques sont formées par la calcification sur, ou autour des racines des plantes supérieures. Les racines sont constituées de vides ramifiés tubulaires (pédotubules) de racines décomposées remplies de sparite fine (PL. I, Fig. F). Ils sont généralement moins de 1 mm de diamètre. Les rhizoconcrétions sont caractérisées par des accumulations concentriques de fibres tangentiels et aléatoires de micrite. Ils ont généralement 0,5 à 2 mm de diamètre, souvent entourant les racines ou les structures alvéolaires.

- Les rhizolithes, le *Microcodium*, les fibres calcifiées, les pédotubules et les structures alvéolaires peuvent être combinés sous le terme "structures racinaires". Des exemples de roches carbonatées présentent des preuves de l'activité antérieure des racines végétales ; elles forment des "calcrètes rhizogéniques" ; elles sont connues à partir de divers intervalles de temps phanérozoïques (Paléozoïque tardif, Secondaire, Tertiaire, Quaternaire).

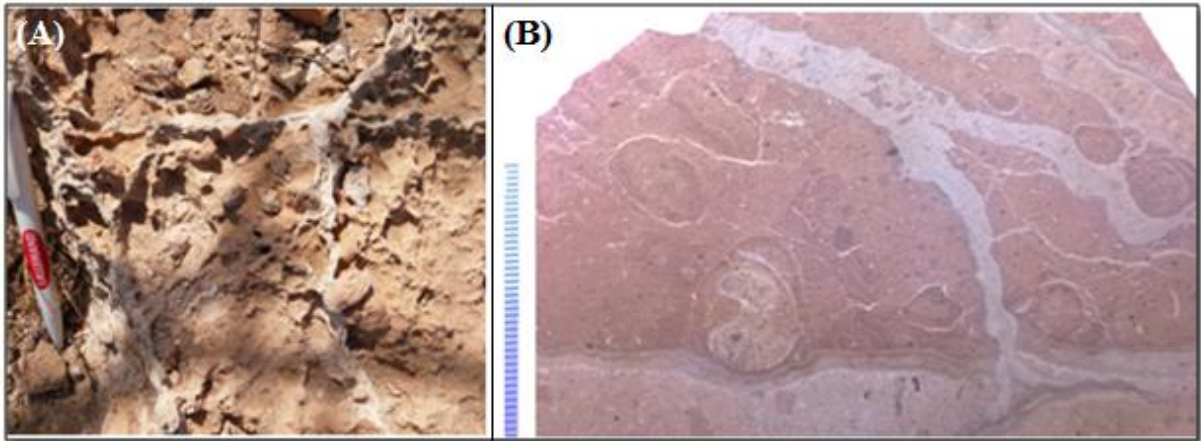


Fig. 19 : Macromorphologie du calcrête à structures racinaires (A) et nodulisation avec des structures racinaires en section polie, limitées par un liseré micritique (B). Noter la micritisation entourant les nodules bien individualisés.

- *Microcodium* (PL.II, Fig. F). Granulats de cristaux de calcite sparitique et prismatique de 1, 1 mm de longueur, avec une cavité centrale dans chacun d'eux. La cavité est remplie de matière sombre. Les cristaux de calcite sont disposés radialement autour d'un axe, ou sont regroupés en masses et croûtes irrégulières. Interprétées comme mycorhizes calcifiées, une association symbiotique entre les champignons du sol et les cellules corticales des racines des plantes, ou en tant que bactéries ou algues.

- Les structures alvéolaires (Fig. 20) (A), Les pores tubulaires (B) à irréguliers sont remplis de sparite et séparés par des ponts d'interconnexion en micropore sinueux droits ou variés. Les ponts (ménisque) sont constitués de micrite et / ou de microsparite à orientation tangentielle ou aléatoire. Les pores peuvent contenir des cloches micritiques microniques (structure alvéolaire-septique). Les pores individuels atteignent 1 mm de largeur et 20 mm de longueur. Ils sont interprétés de rhizolithes entrelacées ; ils résultent de la calcification de fibres radiculaires.

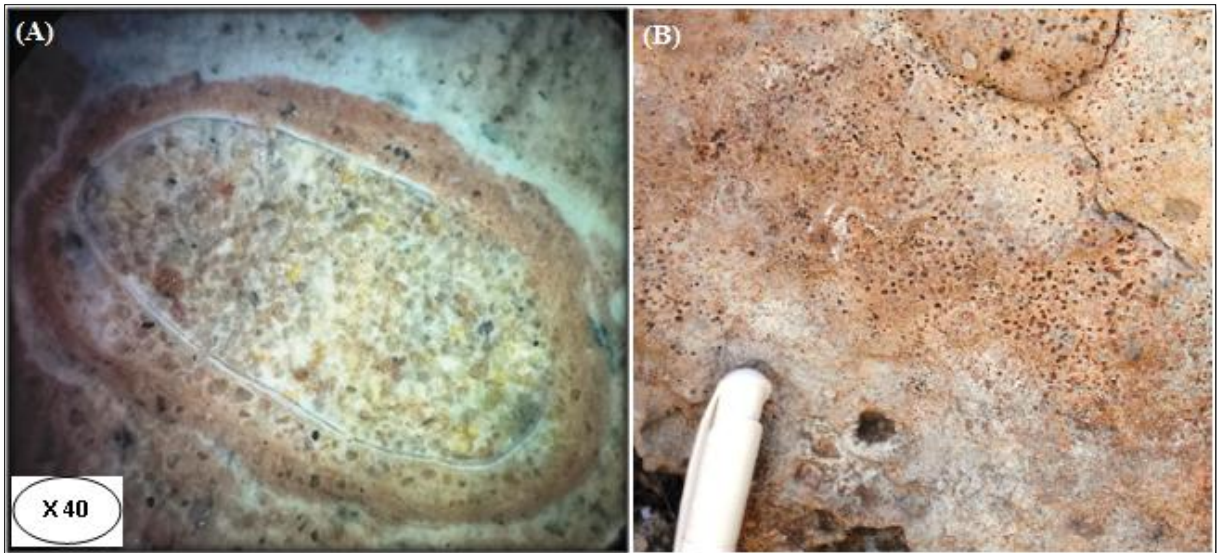


Fig. 20 : Calcrête à structure alvéolaire (A) et pores tubulaires et irréguliers (B).

4. Structure de la brèche (Fig. 21)

- Bréchification *in situ*. C'est une micrite fragmentée en place, formant un réseau de fracture polygonale rempli de la sparite. Les polygones de taille millimétriques à plusieurs centimètres sont remplis de micrite. La fragmentation est induite soit par la dessiccation, soit par la cristallisation déséquilibrée de la calcite, ou l'activité des racines et / ou de longues périodes de dissolution.



Fig.21 : Calcrête à structure bréchique (faciès conglomératique).

E. CONCLUSION

Cette étude révèle pour la première fois les caractéristiques de la surface de HAC à petite échelle développée sur une lithologie volcanique (Roche-mère) associées à des niveaux de paléosols soit inhumés, soit exhumés. Dans la région d'Ain Nouissy, l'horizon d'accumulation carbonaté (HAC) est modérément développé. Il s'agit notamment des HAC qui sont étroitement associés aux morphologies de surface de type dôme ou de crête, et formé par la dissolution de l'eau, la décomposition des feuilles et des tiges et écoulement d'eau de surface le long d'une fracture, dans une ambiance de climat alterné de type semi-aride à humide (climat méditerranéen) qui est favorable pour la formation de calcrête, contrairement à la pédogenèse qui nécessite des conditions climatiques plus humides.

La formation de ces horizons d'accumulation carbonatés nécessite un équilibre hydrique favorable et une source de carbonate de calcium. Une brève précipitation suivie d'une longue période d'évaporation rapide et de sécheresse entraîne une précipitation de la calcite.

La période humide cause la karstification (dissolution) des roches de carbonate. Par conséquent, la karstification de la surface de caliche hardpan indique un changement climatique d'une phase plus sèche du climat à une phase plus humide.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSIONS GENERALES

Cette étude est le résultat d'une analyse approfondie sur des profils d'horizons d'accumulation carbonatés (HAC) ou calcrêtes détectés pour la première fois dans le secteur d'étude au Djebel Chegga (Ain Nouissy).

Des observations macroscopiques et microscopiques ont été utilisées pour révéler le mécanisme de formation et le développement de calcrêtes. Les fonctionnalités de ce faciès offrent de diverses données pour déterminer les principaux facteurs environnementaux qui opèrent dans la formation et la distribution du calcrête. Ces facteurs conduisent ainsi à l'interprétation les grands événements paléoclimatiques.

Il est également constaté que le faciès calcrête se développe fréquemment vers le sommet à des calcrêtes nodulaires qui peuvent indiquer un épisode de faible taux de sédimentation suivie d'une période de stagnation dans un climat semi-aride. A partir de là, la pédogenèse joue son rôle.

Le stade précoce du développement du calcrête (calcrête nodulaire) a été probablement développé dans la zone vadose dans la plaine d'inondation pendant les périodes d'alimentation d'eau continentale dans des conditions climatiques semi-arides. Tandis que la cimentation de la couche dure relativement épaisse qui suit les calcaires noduleux peut correspondre au climat relativement plus aride. La combinaison de l'eau souterraine et les profils pédogéniques conduisent à la formation des calcrêtes dans des conditions climatiques semi-arides ; par contre ascension l'élévation des eaux souterraines et les calcrêtes pédogéniques au sommet de la séquence reflète le climat aride. Ces calcrêtes sont suivies par le phénomène de pédogenèse dans une ambiance climatique humide.

La différenciation et l'évolution du calcrête dans le secteur d'étude sont sous l'influence de trois facteurs majeurs : (i) le climat est responsable de l'évaporation et de la cristallisation du carbonate ; (ii) la disponibilité d'une solution riche en carbonate qui est contrôlée par la topographie, la nature du substrat rocheux sous-jacent et les processus détritiques ; (iii) la texture du matériau parent ou roche-mère qui contrôlait aussi les morphologies du calcrête.

Dans cette étude, nous concluons que la répartition verticale et latérale des horizons d'accumulation carbonatés (HAC) est liée aux différents principaux facteurs : (i) la topographie, (ii) la nature du substrat rocheux, (iii) la texture du matériau parent et (iv) le climat.

Dédicace	
Avant propos	
Résumé	

Première partie: GENERALITES

I. INTRODUCTION ET PLAN DE TRAVAIL.....	1
II. CADRE GEOGRAPHIQUE.....	1
III. CADRE GEOLOGIQUE.....	3
A- CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	3
B- STRUCTURE DU BASSIN DE BAS-CHELIF.....	5
C- LA TECTONIQUE.....	6
IV. HISTORIQUE DES RECHERCHES.....	7
V. METHODOLOGIE ET OBJECTIFS.....	8
A- LES DONNEES DU TERRAIN.....	8
B- LE TRAVAIL AU LABORATOIRE.....	9

Deuxième partie: LES DONNEES REFERENTIELLES

CALCRETISATION ET PEDOGENESE

I. INTRODUCTION.....	10
II. DENOMINATIONS ET EQUIVALENT DU TERME CALCRETE.....	10
III. GÉNÉRALITÉS SUR LES HORIZONS D'ACCUMULATIONS CARBONATEES (HAC).....	11
A. DENOMINATIONS.....	11
B. RÉPARTITION MONDIALE.....	12
C. REPARTITION STRATIGRAPHIQUE.....	13
IV. MODELES DE SEDIMENTATION ET ORIGINES DU DEPOTS.....	14
A. LE MODELE LACUSTRE.....	15

B. LE MODELE <i>IN SITU</i>	15
C. LE MODELE <i>PER ASCENSUM</i>	15
D. LE MODELE <i>PER DESCENSUM</i>	15
E. LE MODELE SEDIMENTAIRE.....	16
F. LE MODELE GEOCHIMIQUE.....	16
VII. MICROMORPHOLOGIE GÉNÉRALE : IDENTIFICATION	16
A. STRUCTURES MACROSCOPIQUES.....	16
1. <i>Rhizolithes</i>	16
2. <i>Croûtes laminaires</i>	16
3. <i>Pisolithes</i>	17
B. STRUCTURES MICROSCOPIQUES.....	18
1. <i>Rhizolithes</i>	18
2. <i>Structures laminaires et revêtements des pisolithes</i>	18
3. <i>Péloïdes</i>	19
4. <i>Filaments calcifiés et calcisphères</i>	19
5. <i>Sphérulites</i>	20
6. <i>Needle fiber calcite (NFC)</i>	20
C. CLASSIFICATION.....	20
1. <i>En fonction de l'environnement diagénétique</i>	20
2. <i>En fonction de leur maturité</i>	21
3. <i>En fonction de la nature pétrographique de la roche-mère</i>	22
4. <i>En fonction de la microstructure</i>	22
D. CONCLUSIONS.....	24

Troisième partie : **CALCRETES DU DJEBEL CHEGGA**

DESCRIPTION ET IDENTIFICATION

I. INTRODUCTION	25
II. OBJECTIF DE L'ETUDE	25
III. LOCALISATION DES AFFLEUREMENTS	26
IV. INTRODUCTION A LA GEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE	26
V. PROFIL ET IDENTIFICATION DES ELEMENTS DE HAC	29
A. POSITION DU PROFIL.....	29
B. PROFIL D'ETUDE.....	29
C. CYCLES PEDOGENETIQUES.....	31
D. DESCRIPTION ET INTERPRETATION DES ECHANTILLONS.....	31
1- Texture.....	31
2- Matrice et constituants.....	31
3- Tissu.....	33
4- Structure de la brèche.....	35
D- CONCLUSION.....	37

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION.....	38
-----------------	----

Références bibliographiques

Liste des figures

Les planches

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALONZO-ZARZA, A. M. (1999).- Initial stages of laminar calcrête formation by roots: examples from the Neogene of central Spain - *Sedimentary Geology*, 126, (1-4), pp. 177 - 191.

ALONZO-ZARZA, A. M., ARENAS, C. (2004).- Cenozoïc calcrêtes from the teruel graben, Spain: microstructures, stable isotopes geochemistry and environmental significance - *Sedimentary Geology*, 167, pp. 91 - 108.

ALONZO-ZARZA, A. M., JONES, B. (2007).- Root calcrête formation on quaternary karstic surfaces of Grand Cayman - *Geologica Acta*, 5, pp. 77 - 88.

ALONZO-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

ALONZO-ZARZA, *et al.* (2010).- Calcrêtes. Carbonates in continental settings: Facies, Environment, and Processes: Developments in sedimentology. 61, pp. 225–267.

BALLAIS, J.L., BEN OUEZDOU, H. (1991).- Forms and deposits of the continental quaternary of the Saharan margin of eastern Maghreb (tentative synthesis). *J. Afr. Earth Sci.* 12 (1/2), 209–216.

BAJNOCZI, B., KOVACS-KIS, V. (2006).- Origin of pedogenic needle-fiber calcite revealed by micromorphology and stable isotope composition - a case of study of a quaternary paleosol from hungary - *Chemie der Erde - Geochemistry*, 66, (3), pp. 203 - 212.

BENHAMOU, M., RAMDANE, N., SADJI, R., BENDELLA, M. & MANZOUL, B. (2011).-Identification du biotope palusto-lacustre (Plio-Pleistocène probable) dans les environs de Sidi Maârouf (Oran sud). *6ème Rencontre pour l'Etude du Quaternaire Marocain (RQM-6)*, les17-19 Novembre 2011, *Tanger-Maroc*.

BENHAMOU, M., RAMDANE, N., SADJI, R. (2014).- Identification du milieu palusto-lacustre (Pléistocène) aux environs d'Oran : Caractérisation biosédimentologique, paléoclimatique et corrélation. *2ème Rencontre de l'association Tunisienne pour l'Etude du Quaternaire (ATEQ)*, Hammamet-Tunisie, 10-12 avril, 2014.

BERRABAH, A. (1998).- Reconsidération biostratigraphique des dépôts d'âges Miocène inférieur (au sens de PERRODON, 1957) du bassin de Bas-Chélif. *Mém. Ing. d'Etat*, Univ. Oran, 55 p., 22 fig. (*inédit*).

BORSAO, T, A., FRISIA, S., JONES, B., VAN DER BORG, K. (2000).- Calcite moonmilk: crystal morphology and environment of formation in caves in the Italian Alps. – *J. Sed. Research*, A70, 1171-1182

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.

CAILLEAU, G., DADRAS M., ABOLHASSANI-DADRAS S., BRAISSANT O. & VERRECCHIA E. P. (2009) - Evidence for an organic origin of pedogenic calcitic nanofibres – *Journal of Crystal Growth*, 311, pp. 2490 - 2495.

CALVET, F., JULIA, R. (1983).- Pisoids in the caliche profiles of Tarragona (north east Spain). Holocene lacustrine ooids from Pyramidal Lake, Nevada. In: Peryt, T.M. (Ed.), Coated Grains. *Springer-Verlag, Berlin*, pp. 456-473.

CARLISLE, D. (1983).- Concentration of uranium and vanadium in calcrètes and gypcêrtes. In: Wilson, R.C.L. (Ed.), Residual deposits: Surface Related Weathering Processes and Materials. Geol. Soc. Spec. Publ., vol. 11. *Geological Society, London*, pp. 185–195.

CHAFETZ, H.S. (1986).- Marine peloids: a product of bacterially induced precipitation. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 812-817.

CHAFETZ, H.S., BUTLER., J.C. (1980).- Petrology of recent caliche pisolites, spherulites and spellothem deposits from central Texas. – *Sédimentology*, 27, 497-518.

CHAFETZ, H.S., FOLK, R.L. (1984).- Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. – *J. Sed. Petrol.*, 54, 289-316.

CHEN X.Y., SPOONER, N.A., OLLEY, J.M. and QUSTIAUX, D.G. (2002).- Addition of Aeolian dusts to soils in southern Australia: red silty clay trapped in dunes bordering Murrumbidgee River in the Wagga region. *Catena*, 47:1-27.

DELFAUD, J. (1975).- L'apport du raisonnement séquentiel dans l'interprétation des assises carbonatées, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, Alger, t.65, fasc. 1-2, p.393-433. 8 fig., 2 tabl.

DUCLOUX, J., BUTEL, P., DUPUIS, T. (1984).- Micro-séquence minéralogique des carbonates de calcium dans une accumulation carbonatée sous galets calcaires, dans l'ouest de la France. *Pedologie* 34, 161– 177.

DURAND, R. (1978).- La pédogenèse en pays calcaire dans le Nord-Est de la France. Thèse Doct. Etat, n° 55.CNRS, 198 pp.

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 Maghébien, les monts de Tessala et les massifs du littoral oranais. *Thèse Es. Science*. 301 p., 101 fig., 4 pl.

FLAMAND, G. B. M. (1900).- Sur le pointement ophito-gypseux (Trias) d'Ain Nouissy, région littorale du département d'Oran. *A. F. A. S. Paris.*, p168.

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.

FREYTET, P. & VERRECCHIA E.P. (1989).- Les carbonates continentaux du pourtour méditerranéen : microfaciès et milieux de formation.- *Méditerranée, Aix-Marseille*, vol. 68, n° 2.3, p. 5-28.

GALLALA, W., ESSGHAIER, M., ESSEFI, E., MONTACER, M. (2010).- Pleistocene calcretes from eastern Tunisia: the stratigraphy, the microstructure and the environmental significance. *J. Afr. Earth Sci.* 58, 445-456.

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.

GLANGEAUD, L. (1951).- Interprétation tectonophysique des caractères structuraux et paléogéographiques de la Méditerranée occidentale. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6° sér., t. I, pp. 735-762, 3 fig.

GOUDIE, A.S. (1973).- Duricrusts in tropical and subtropical landscapes. *Clarendon Press*, Oxford.

GOUDIE, et PYE. (1983).- Calcrètes. In : A.S. Goudie and K. Pye (Eds.), Sédiment chimique et la géomorphologie. *London, Press Académique*, pp. 93-131.

GOURINARD, Y. (1952).- Le littoral Oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). *Pub. XIX Cong. Géol. Intern, Alger*, monographies régionales (1), 22, 26 p.

GOURINARD, Y. (1958).- Recherche sur la géologie du littoral oranais. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. *Nouvelle série*, 6, Alger, 111 p.

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.

JAMES, N.P. (1972)., Holocene and Pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: criteria for subaerial exposure. *Journal of Sedimentary Petrology* 42, 817-836.

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.

JONES, B., NG, K.-C. (1988).- The structures and diagenesis of rhizoliths from Cayman Brac, British West Indies - *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, pp. 1002 - 1007.

JONES, B., SQUAIR, C. A. (1989) - Formation of peloids in plants rootlets, Grand Cayman, British West Indies - *Journal of Sedimentary Petrology*, 59, pp. 1002 - 1007.

KAHLE, C.F. (1977).- Origin of subaerial Holocene calcareous crusts: role of algae, fungi and sparmicritization. *Sedimentology* 24, 413-435.

KLAPPA, C. F. (1978).- Biolithogenesis of microcodium : elucidation - *Sedimentology*, 25, pp. 489 - 522.

KLAPPA, C.F. (1979) Calcified filaments in Quaternary calcretes : organo-mineral interactions in the subaerial vadose environment. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 49. 110.3. p. 955-968.

KLAPPA, C.F. (1980).- Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. - *Sedimentology*, 27, 613-629

KLAPPA, C.F. (1983).- A process-response model for the formation of pedogenic calcretes. In: Wilson, R.C.L. (Ed.), Residual Deposits: Surface Related Weathering Processes and Materials. *Geological Society, London, Special Publication* 11, pp. 211-220.

KRUMBEIN, W.E. and GIELE, C. (1979).- Calcification in a coccoid cyanobacterium associated with the formation of desert stromatolites. *Sedimentology*, 26:593-604.

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.

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 Troisième Cycle, *Université de Reims Champagne-Ardenne* - 289 p.

MACHETTE, M.N. (1985).- Calcic soils of the southwestern United States. In: Weide, D.L. (Ed.), Soils and Quaternary Geology of the Southwest United States. *Geological Society of America, Special Paper*, 203, pp. 1–21.

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 Pliocene-Pleistocene Palomas Basin, southern Rio Grande rift. *Geological Society of America Bulletin* 112, 643-656.

MENZOU, B. (2011).- Les calcrètes du plateau d'Oran : aperçu et description. *Mém. Ing. D'Etat, Univ. Oran*, 55 p., 17 fig., 3 pl.

MILLOT, G., NAHON, D., PAQUET, H., RUELLAN, A., TARDY, Y. (1977).- L'épigenèse calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride Anti atlas, Maroc. *Sciences Géologiques, Bulletin* 30, 129-152.

MILLIERE, L., HASINGER, O., BINDSCHEDLER, S., CAILLEAU, G., SPANGENBERG, J. E. et VERRECCHIA, E. P. (2011) - Stable carbon and oxygen isotope signatures of pedogenic needle fibre calcite - *Geoderma*, 161, (1-2), pp. 74 - 87.

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

MOUSSA, K. (1993).- Miocène de la bordure Nord de Beni Chougrane. Etude stratigraphique et sédimentologique de secteur Bouziri –Oued El Hamman- *Mém. Magistère., Univ. Oran*. 246 p, 84 fig., 10 tab. 6 diag, 4 pl. Ph.

MOUSSA, K. (2007).- Etude d'une sebkha : La sebkha d'Oran, Algérie. Thèse de Doctorat, *Univ. Oran*, 205 p., 153, fig., 5 tab. 12 pl-Ph-ht.

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 - Dans : Types de croûtes calcaires et leur répartition régionales.

NETTERBERG, F. (1967).- Some road making properties of South African calcrêtes. Proc. 4th *Reg.Conf.African Soil Mech. Fndn. Engng., Cape Town*, 1:77-81.

NETTERBERG, F. (1969).- The interpretation of some basic calcrête types. *S. Afr. Archaeol. Bull.* 24, 117-122.

NETTERBERG, F. (1980) - Geology of southern African calcretites: 1: terminology, description, macrofeatures and classification - *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 83, (2), pp. 255 - 283.

NEURDIN-TRESCARTES, J. (1992).- Le remplissage sédimentaire d'un bassin Néogène de Chélif, modèle de référence de bassin intramontagneux. *Thèse Doct.d'Etat, Univ. Pau*, 605 p.

PERRODON, A. (1957).- Etude géologique des bassins néogènes sublittoral de l'Algérie occidentale. *Publ. Serv. Carte géol de l'Algérie*. N^{lle} série. Bull. 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 Climatologique d'Alger*, 8, pp. 792 - 794.

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).- Calcrête related to phreatophytic vegetation from middle Triassic otter sandstone of south west England - *Sedimentology*, 38, pp. 539 - 551.

RAMDANE, N., SADJI, R. (2011).- Contexte sédimentaire et environnemental des affleurements Moi-Plio-Quaternaire des environs de Sidi Maarouf (Oran Sud-Est). *Mém. Ing. D'Etat, Univ. Oran*, 38 p., 24 fig., 5 pl.

RIGBY, J. (1953).- Some transverse stylolites - *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, (4), pp. 267 - 271.

SAINT-MARTIN. (1988).- Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur de l'Algérie et du Maroc.

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.

THOMAS G. (1985).-Géodynamique des bassins intramontagneux, le bassin du bas-chélif occidentale (Algérie) durant le Mio-plio-Quaternaire. *Thèse Doct. Es. Science, Univ. Pau*.

TREADWELL-STEITZ, C., McFADDEN, L. D. (2000).- Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravelly soils, Palo Duro wash, New Mexico - *Geoderma*, 94, (1), pp. 1 - 22.

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.

VAUDOUR, 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. (1984).- Croûtes calcaires : types et genèse. Exemple d'Afrique du Nord et de France méditerranéenne. – *Bull. Labo. Géogr.Phys., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, France*.

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., PLATT, N. H., et WIMBLEDON, W. A. (1988).- Biogenic laminar calcrêtes: evidence of calcified root-mat horizons in paleosols - *Sedimentology*, 35, pp. 603 -620.

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.

WRIGHT, V.P., TUCKER, M.E. (1991).- Calcrêtes: an introduction. In: Wright, V.P., Tucker, M.E. (Eds.), *Calcretes. Int. Assoc. Sedimentol. Reprint Ser., vol. 2. Blackwell, Oxford*, pp. 1– 22.

WRIGHT, V.P., BURCHETTE, T.P. (1996).- Shallow-water carbonate environment. – In: Reading, H.G. (ed.): *Sedimentary environments: processes, facies, stratigraphy.* – 325-394, *Oxford (Blackwell)*.

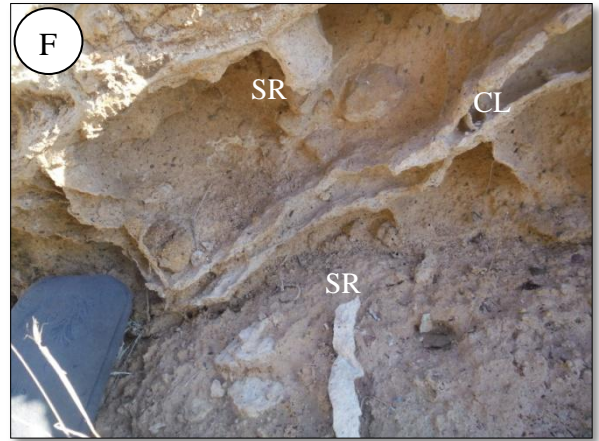
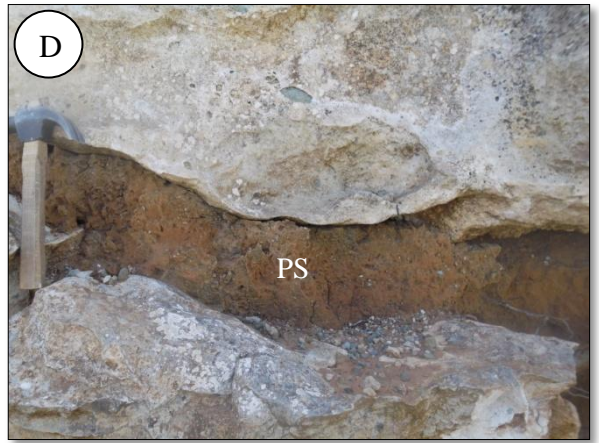
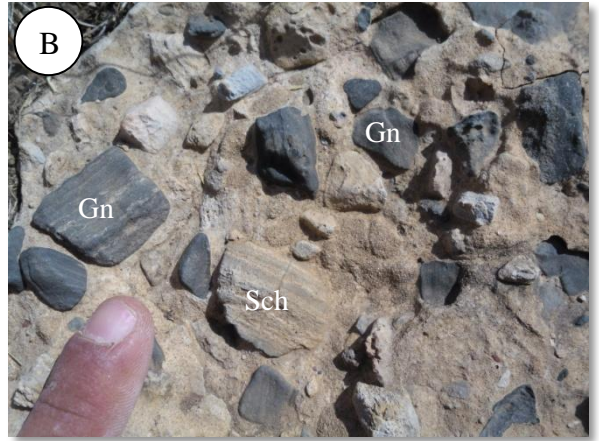
WRIGHT, V.P. (2007).- Calcrete. In: Nash, D.J., Mc Laren, S.J. (Eds.), *Geo-chemical Sediments and Landscapes. Blackwell, Oxford*, pp. 10–45.

YAALON, D. H. (1988) - Calcic horizon and calcrete in acidic soils and paleosols: progress in the last twenty two years - *Soil Science Society of American Agronomy Abstracts*.

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.

ZHOU, J., CHAFETZ, H. S. (2009).- Biogenic caliches in Texas: the role of organisms and effect of climate - *Sedimentary Geology*, 222, pp. 207 - 225.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES



Etude macroscopique et macrostructures

A : Bloc d'ophite (roche volcanique) implanté dans une masse carbonatée (calcrète).

B : Calcrète bréchique (faciès conglomératé) contient des fragments de roche de nature lithologique différente (GN ; gneiss, Sch ; schiste ...).

C : Calcrète à matériel de la roche hôte (Ophite ; roche verte volcanique).

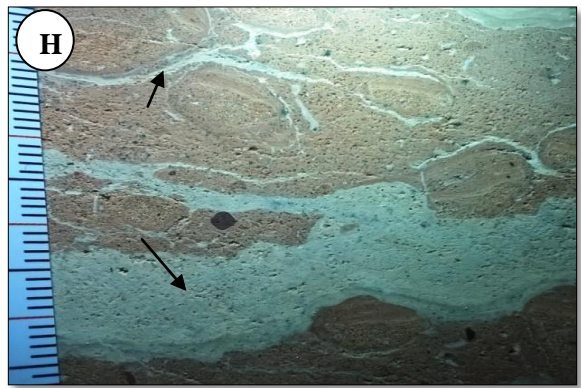
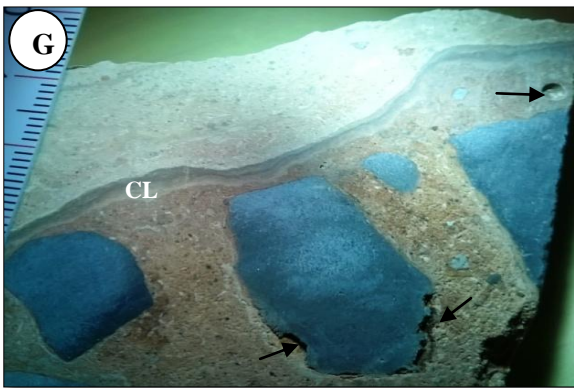
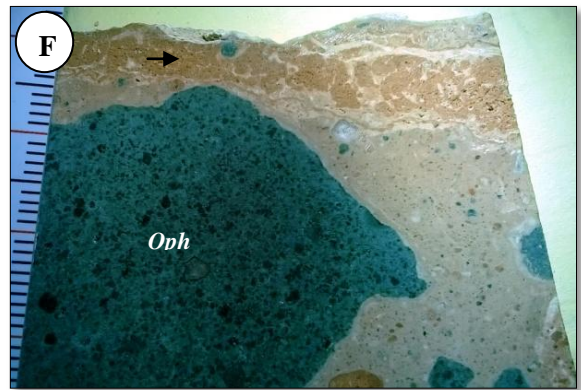
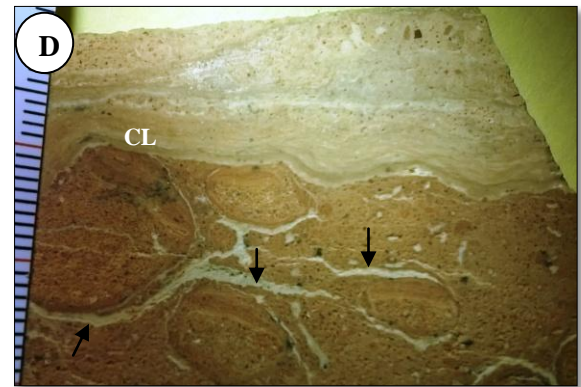
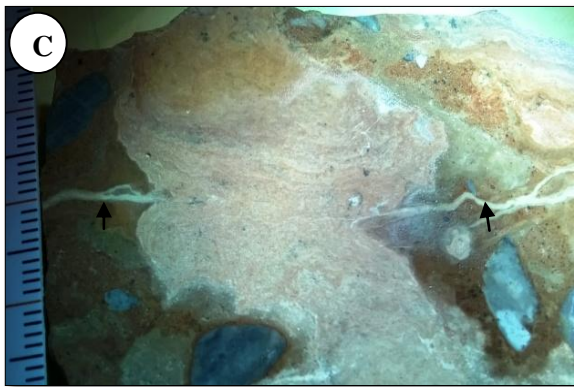
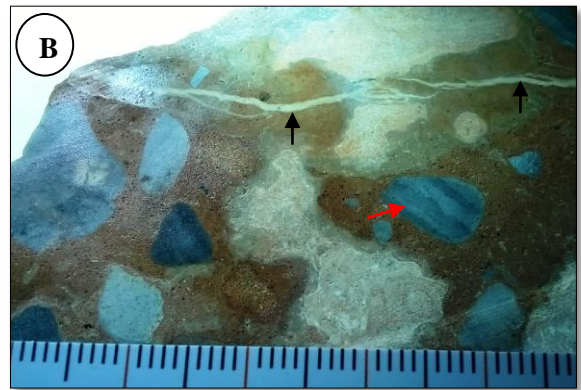
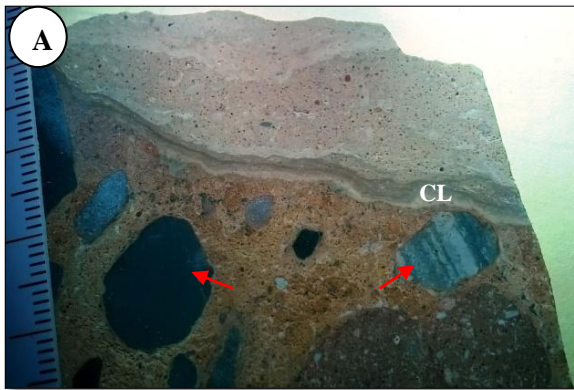
D : Paléosol enregistré à l'intérieur des horizons carbonaté.

E : Surface d'une calcrète subie une altération.

F : Calcrète à structure laminaire (CL) et structures racinaires ou bien calcrète rhizogénique (CR).

G : Calcrète *hardpan* très fracturés.

H : Calcrète à enregistrement d'activités biologiques et paléosols.



Etude macroscopique et macrostructures

A : Calcrêtes d'aspect conglomératique associées à des croûtes laminaires (CL).

B : Calcrêtes à traces d'activités biologiques (mousses) et fissurations (flèches noires) remplies par de la calcite (ciment sparitique ou microsparitique).

C : Calcrêtes à traces stromatolithiques (stromatolithe continentale).

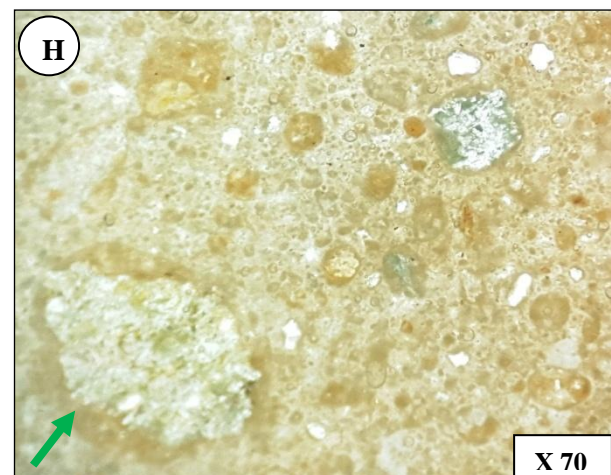
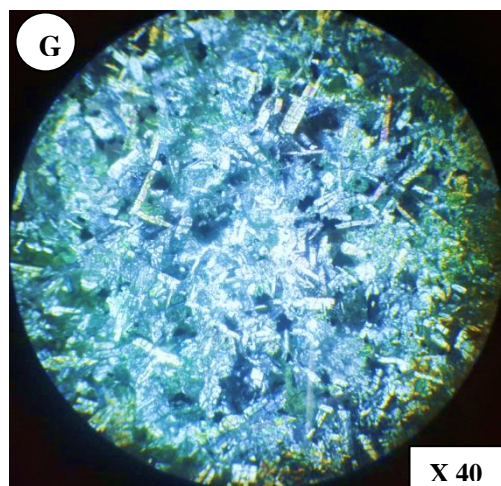
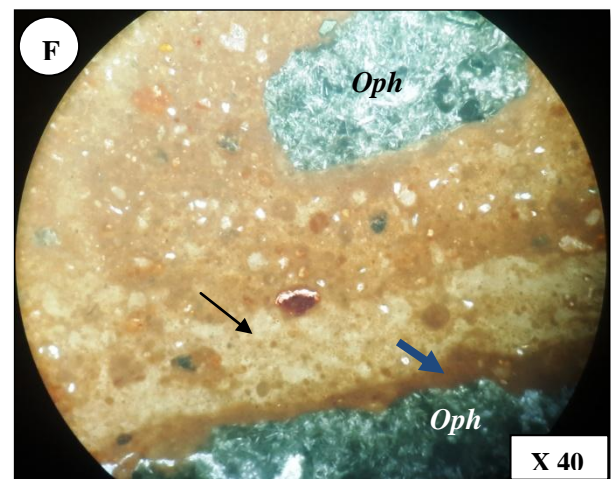
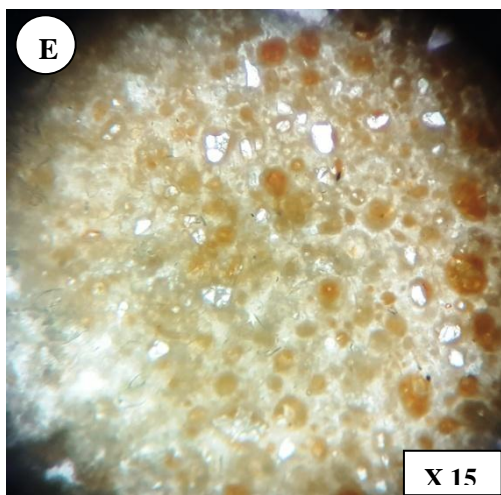
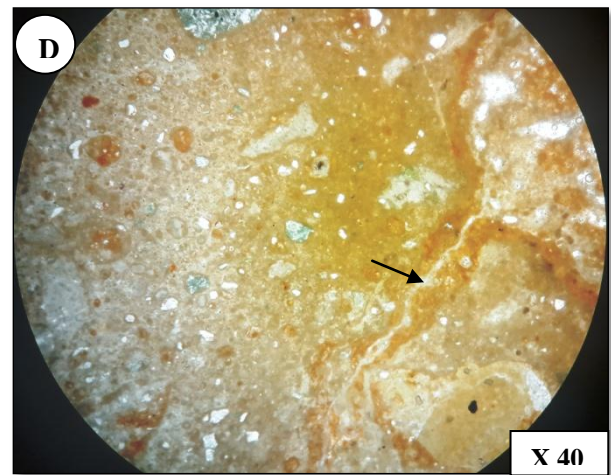
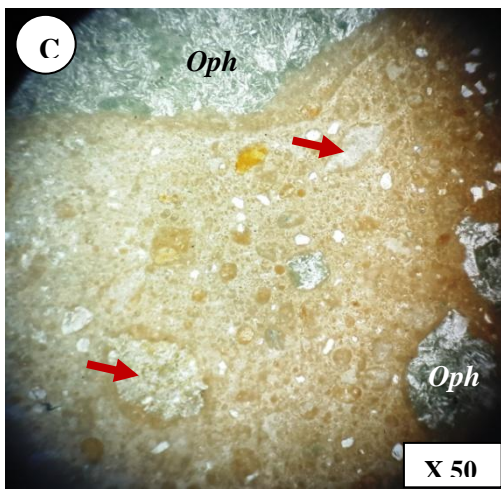
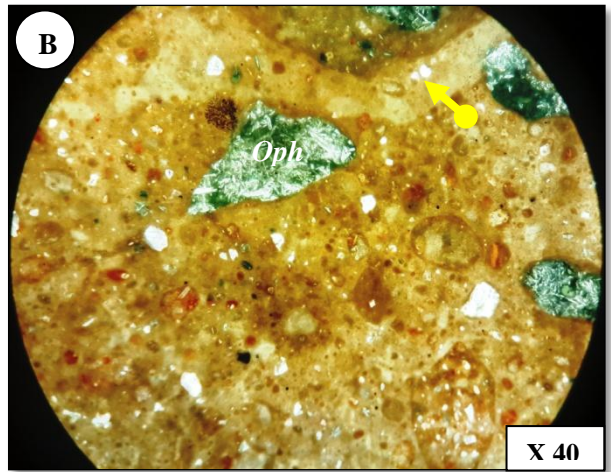
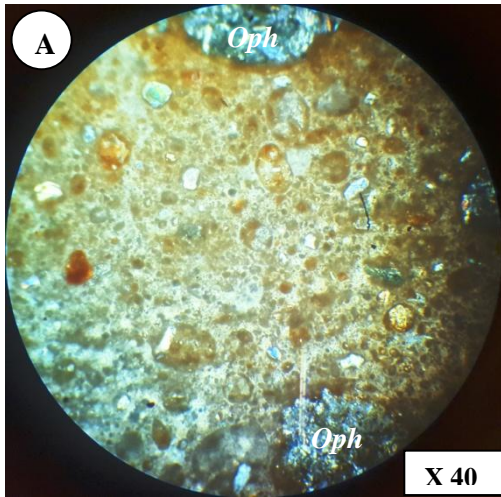
D : Calcrêtes nodulaires avec des fissurations autour des nodules achevées par des croûtes laminaires.

E : Calcrêtes pisolithiques et quelques fragments de roches volcaniques (P).

F : Fragments de roches vertes (ophites) de taille centimétrique et grains de quartz (flèche rouge) au sein d'une boue carbonatée (calcrêtes).

G : Traces de dissolution autour de fragments de roches étrangères (flèches blanches) générant une forte porosité.

H : Remplissage calcitique (sparite ou microsparite) au lieu des vides et racines.



Etude microscopique et microstructures

- A-** Clastes et grains de taille de sables noyées dans la micrite et traces de racine.
- B-** Intrusions de roches volcaniques (ophites) au sein d'une boue carbonatée (*Oph*).
- C-** Structure alvéolaire-septique associée à de grands filaments de micrite entrelacés. La porosité est remplie par de la calcite.
- D-** Fissuration droite remplie par de la calcite (flèche noire).
- E-** Péloïdes micritiques associées à des recristallisations de la sparite dans les pores.
- F-** Clastes de roches volcaniques montrant des revêtements micritiques (flèche bleue) et fissure remplie par de la calcite (flèche noire).
- G-** Structure doloritique d'une roche volcanique verte sous microscope (ophite).
- H-** Structure alvéolaire entourée par la micrite (flèche vert) et péloïdes.

