



HAL
open science

Les calcretes et dolocretes de la serie permo-triasique du Haut-Atlas central (Maroc)

Addelouahed Ben Mlih, Mohammed El Youssi, Mohamed Laadila, Abdeslam El Kochri

► **To cite this version:**

Addelouahed Ben Mlih, Mohammed El Youssi, Mohamed Laadila, Abdeslam El Kochri. Les calcretes et dolocretes de la serie permo-triasique du Haut-Atlas central (Maroc). Pangea infos, 2004, 41-42, pp.41-49. insu-00946963

HAL Id: insu-00946963

<https://insu.hal.science/insu-00946963>

Submitted on 14 Feb 2014

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

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

Les calcrètes et dolocrètes de la série permo-triasique du Haut-Atlas central (Maroc)

Calcretes and dolocrete of the Permo-Trias series of the Central High Atlas (Morocco)

Abdelouahed Ben Mlih, Mohammed El Youssi, Mohamed Laadila, Abdeslam El Kochri

Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département de Géologie, B.P. 1014, Rabat, Maroc.
E-mail : benmlih@fsr.ac.ma

Résumé

Dans le Haut-Atlas central (Maroc), le Permo-Trias est constitué d'une série rouge détritique. L'ensemble est subdivisé en six formations.

La formation F3 correspond à des épandages de dépôts alluviaux de nature gréso-conglomératique armés de plusieurs niveaux pédologiques, foyers d'une importante carbonatation diagénétique. Cette épigénie carbonatée a provoqué une forte réduction de la porosité.

La morphologie du faciès, la géométrie des corps sédimentaires et l'analyse de la minéralogie du micro-faciès de la formation F3, ont révélé la présence de deux types d'encroûtements carbonatés : l'un calcaire ou calcrète et l'autre dolomitique ou dolocrète. Ces encroûtements calcrètes et dolocrètes ont été attribués à un environnement pédogénétique d'une part et/ou aux circulations de nappes phréatiques sous couverture d'autre part.

Ce système de pénéplation témoigne d'une période de pédiplation associée localement à une accalmie tectonique à l'échelle régionale du Haut-Atlas central.

Mots clés : Maroc, Haut-Atlas, Permo-Trias, calcrètes, dolocrètes, épigénie.

Abstract

In the Central High Atlas (Morocco), the Permo-Trias comprises a red-bed detrital sequence, which is subdivided into six formations.

Formation F3 comprises extensive sandy-conglomeratic alluvial deposits with several soil horizons affected by an important carbonate diagenesis. This carbonate epigenesis has strongly reduced the porosity.

Facies morphology, geometry of sedimentary bodies and the analysis of the mineralogy of micro-facies of formation F3 have revealed the presence of two types of carbonate cement : one is limestone or calcrete and the other is dolomitic or dolocrete. These calcrete and dolocrete cements have been attributed to a pedogenetic environment and/or to circulating of groundwater.

This peneplanation system is evidence of a pediplanation period which is locally associated with a regional tectonic lull in the Central High Atlas.

Key words: Morocco, High Atlas, Permo-Trias, Calcretes, Dolocrete, Epigenesis.

1. INTRODUCTION

Les bassins permo-triasiques et triasiques du Haut-Atlas central (fig. 1) ont fait l'objet de nombreuses études à caractère tectono-sédimentaire (Proust, 1973; Mattis, 1977; Le Marrec, 1979; Biron, 1982; El Youssi, 1986; Beauchamp, 1988). Leur sédimentation de nature détritico-rouge reflète les conditions d'un environnement continental dynamique ouvert, à influence tidale vers le sommet.

1. INTRODUCTION

Permo-Triassic and Triassic Basins of the Central High Atlas (Fig. 1) have been the subject of numerous tectono-sedimentary studies (Proust, 1973; Mattis, 1977; Le Marrec, 1979; Biron, 1982; El Youssi, 1986; Beauchamp, 1988). Basinal deposition of red sediments reflects an open dynamic continental environment with a tidal influence in upper parts.

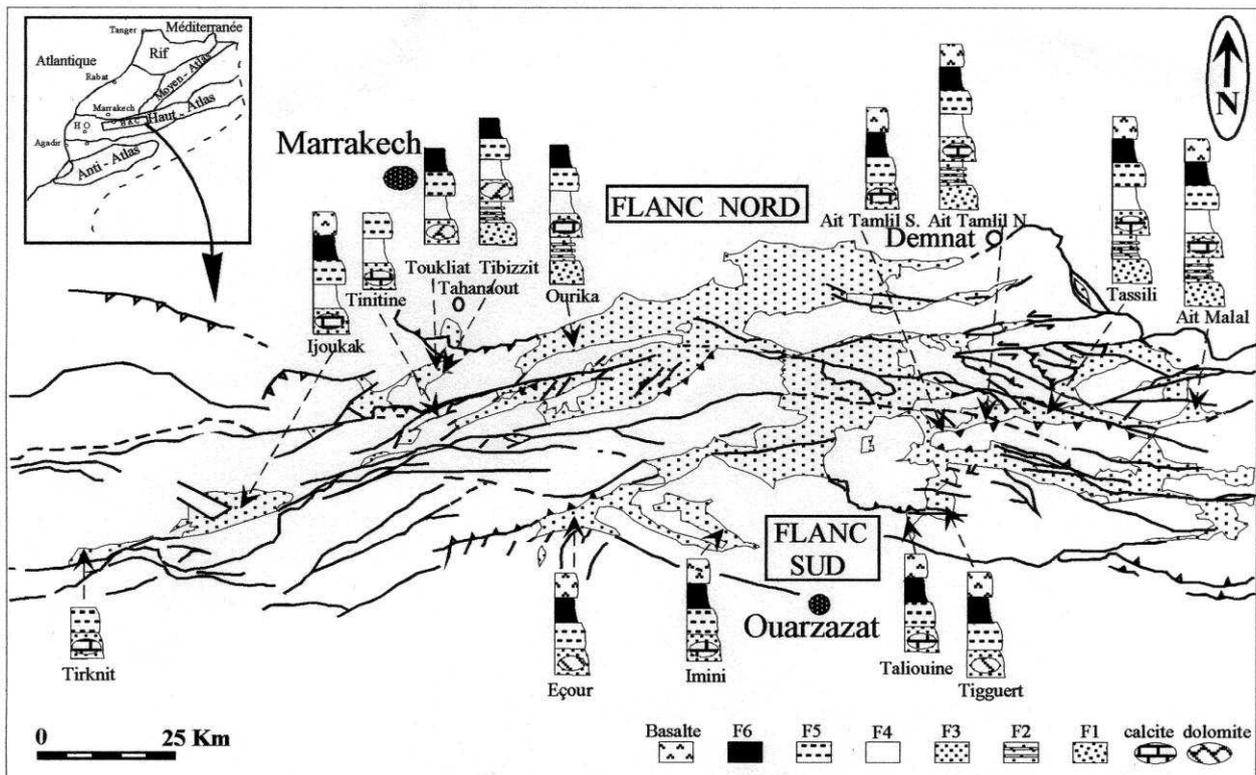


Fig. 1 – Répartition paléogéographique du Permien et du Trias dans le Haut-Atlas central. Lithofaciès et encroûtements. (L'échelle des épaisseurs n'est pas respectée).

La coupe synthétique présentée en figure 2 fait ressortir les subdivisions classiquement admises dans le Haut-Atlas (Biron, 1982; El Youssi, 1986).

Les formations F1 et F2 sont des dépôts de cônes alluviaux à épisodes chenalisants intermittents. Elles se limitent à de petits bassins intra-montagnes rapportés au Permien (Dutuit, 1976; Van Houten, 1976; Biron, 1982).

La formation F3 rappelle un système fluvial proximal en tresse à périodes d'émersion multiples, évoluant vers un milieu de décantation en F4.

La formation F5 qui les surmonte est datée par les spores et les pollens, du Carnien supérieur (Cousminer *et al.*, 1976; Manspeizer *et al.*, 1978; Le Marrec *et al.*, 1983; Doubinger *et al.*, 1985; Lorenz, 1988). Elle annonce un environnement fluvio-deltaïque typique où les dépôts sont organisés en barres gréseuses alternant avec des périodes de débordement de la plaine alluviale distale.

Le milieu devient ensuite mixte avec une formation F6 exclusivement silteuse à horizons salifères qui soulignent les incursions marines. La série est souvent coiffée par des épanchements de coulées doléritiques (Bertrand & Prioton, 1975; De Pachtère, 1983; Manspeizer, 1988).

The synthetic section presented in figure 2 shows the classic subdivisions in the High Atlas (Biron, 1982; El Youssi, 1986).

Formations F1 and F2 are alluvial cone deposits with intermittent episodes of channeling. They are limited to small Permian intramontane basins (Dutuit, 1976; Van Houten, 1976; Biron, 1982).

Formation F3 is a proximal fluvial braided river system with multiple emergence episodes, changing into a suspension sedimentation environment in formation F4.

*The overlying F5 is dated by spores and pollens of Late Carnian age (Cousminer *et al.*, 1976; Manspeizer *et al.*, 1978; Le Marrec *et al.*, 1983; Doubinger *et al.*, 1985; Lorenz, 1988). It shows a typical fluvio-deltaic environment where sand bar deposits alternate with overflow episodes of the distal alluvial plain.*

The environment subsequently became mixed during deposition of formation F6 which is silty with saliferous horizons marking marine incursions. The sequence is often capped by doleritic lava flows (Bertrand & Prioton, 1975; De Pachtère, 1983; Manspeizer, 1988).

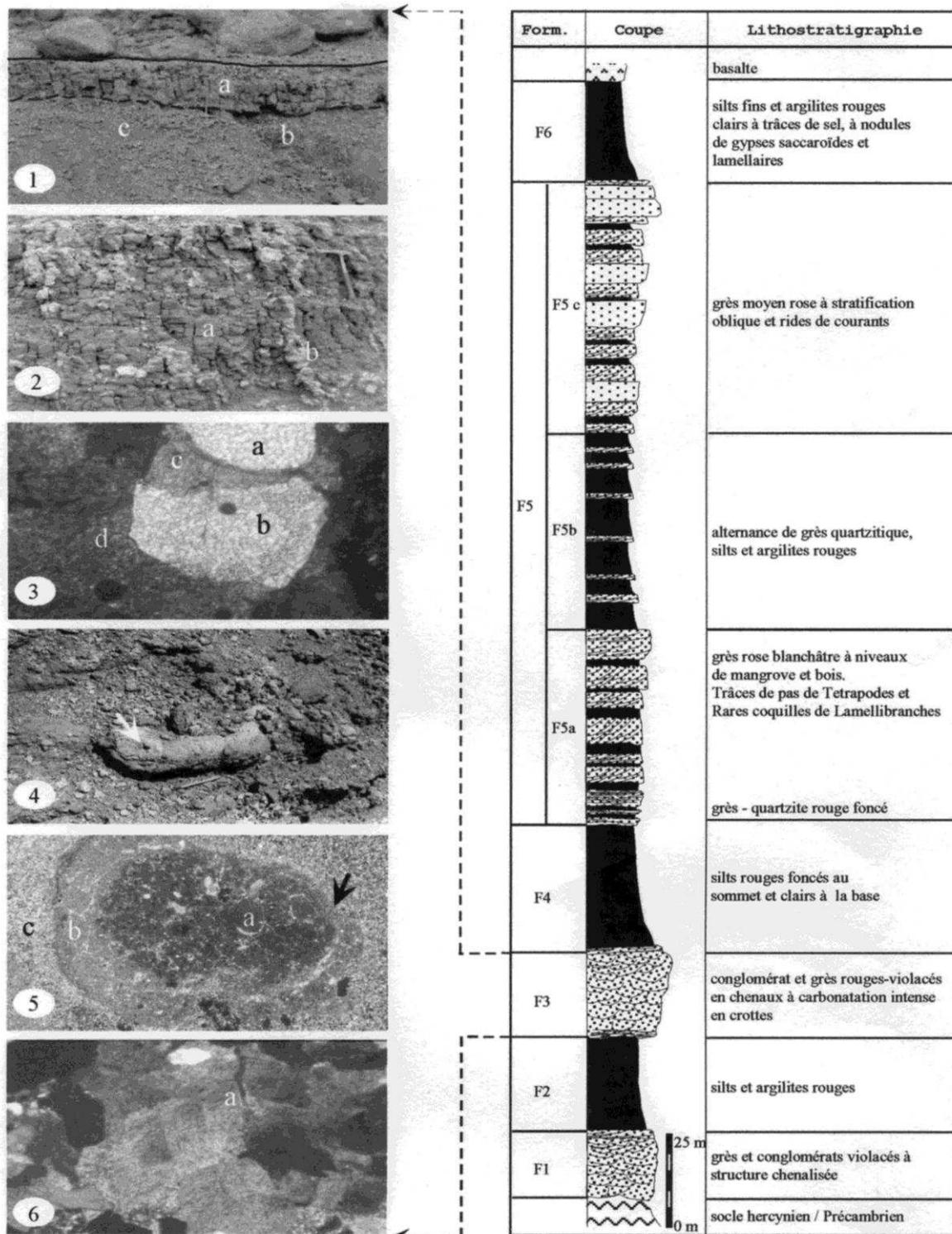


Fig. 2 – Coupe synthétique du Permien et du Trias dans le Haut-Atlas central (Maroc).

Photo 1 – Carbonatation différentielle dans la formation F3. a. pseudodalle prismatique; b. encroûtement en lentilles; c. encroûtement en nodules.

Photo 2 – Carbonatation diffuse. a. reliques du sédiment argileux original;

b. colonnette montrant une épigénie depuis les fentes de retrait vers le sédiment initial.

Photo 3 – Microfaciès à grains de quartz éclaté (a et b); c. carbonate de l'épigénèse corrodant le quartz au niveau de la fissuration; d. sédiment argileux original.

Photo 4 – Croûte calcaire sur racine ; l'intensité de l'épigénie augment de façon centrifuge (→).

Photo 5 – a. glébulle au centre, entouré d'une phase de carbonatation; b. l'ensemble est envahi par une dolomitisation secondaire; c. sédiment argileux original.

Photo 6 – a. dolomite "baroque" à face cristalline courbe.

2. PLACE DES ENCROUTEMENTS CARBONATES DANS LES SERIES LITHOLOGIQUES

La formation F3 constitue, dans de nombreuses localités du Haut-Atlas central, la base de cette série permotriassique, calée entre les formations dont le critère d'âge est signalé ci-dessus. Elle est caractérisée par des niveaux carbonatés de type croûte ou par une cimentation carbonatée des faciès détritiques.

L'intérêt de ces niveaux nous a conduits à visiter et à étudier plusieurs coupes à travers le Haut-Atlas central, l'Atlas de Marrakech et au sud de Tizi-n-Test (fig. 1). La formation F3 y est présente partout et garde une épaisseur sensiblement constante.

Dans cette formation F3, la carbonatation est plus importante au sommet qu'à la base. Les niveaux encroûtés à racines n'existent que sur le flanc sud et localement au flanc nord dans le Haut-Atlas central. Dans la région de Taliouine (flanc sud), il y a de trois à cinq niveaux à sols dans les coupes étudiées (fig. 1), cinq également du côté ouest, dans le bassin d'Eçour. Dans la région de Tahanaout (flanc nord), il y a trois niveaux dans la coupe de Tibizzit.

3. FACIES ET MICROFACIES

Beauchamp (1980) avait déjà soupçonné que la carbonatation n'était pas liée exclusivement à la présence de paléosols dans la formation F3. Or, justement, des travaux postérieurs (Cros & Freytet, 1985; El Youssi, 1986) soulignent la nécessité de bien distinguer entre les encroûtements dus à des sols et ceux dus à des nappes phréatiques. Nous nous sommes basés sur la définition des caractères de chacun de ces types par Truc *et al.* (1985). Les termes de "calcrètes" et "dolocrètes" peuvent convenir aussi bien aux encroûtements de type sol qu'à ceux de type nappe, contrairement aux définitions données par Spy-Anderson (1981) où ces deux termes sont réservés exclusivement aux encroûtements de sols.

31. Aspects des encroûtements carbonatés sur le terrain

Les encroûtements de type sol : ils sont localisés au toit de séquences répétitives au nombre de 3 à 5 selon les coupes, qui se composent du haut vers le bas :

- d'un niveau carbonaté massif qui peut être continu en pseudodalle (photo 1a), de l'ordre de 10 cm d'épaisseur, très rarement du mètre, riche en traces de racines qui peuvent parfois traverser tout le niveau. Les fentes de dessiccation sont nombreuses. Les structu-

2. LOCATION OF CARBONATE CEMENTS IN THE LITHOLOGICAL SUCCESSION

At numerous localities in the Central High Atlas formation F3 forms the base of the Permo-Triassic succession, wedged between formations for which age criteria are mentioned above. It is characterised by carbonate horizons (caliche) or by carbonate cementation of detrital facies.

Interest in these horizons has taken us to several sections across the Central High Atlas, the Atlas of Marrakech and south of Tizi-n-Test (Fig. 1). Formation F3 is present at all these locations and generally maintains a constant thickness.

Within formation F3, carbonatation is more significant towards the top than at the bottom. Cemented rooty horizons are present only on the southern flank and locally on the northern flank of the Central High Atlas. In the Taliouine region (southern flank), there are three to five soil horizons in the studied sections (Fig. 1), as well as five on the west side, in the Eçour basin. In the Tahanaout region (northern flank), there are three soil horizons in the Tibizzit section.

3. FACIES AND MICROFACIES

*Beauchamp (1980) has already suggested that the carbonatation was not exclusively related to the presence of paleosols in formation F3 and so subsequent studies (Cros & Freytet, 1985; El Youssi, 1986) have underlined the need to distinguish between cements formed due to soils and those due to groundwater. We are using the definition of each one of these types by Truc *et al.* (1985). The terms 'calcrete' and 'dolocrete' may be equally suitable for soil-type cements as well as for groundwater-type cements contrary to definitions given by Spy-Anderson (1981) where these two terms are exclusively reserved for soil cements.*

31. Description of carbonate cements in the field

Soil-type cements: *These are localised at the top of repetitive sequences and number 3 to 5 depending on the section. They comprise from top to bottom:*

- *a massive carbonate horizon locally as continued level (photo 1), 10 cm to rarely 1 metre in thickness, rich in root traces which occasionally cut the entire horizon. Desiccation cracks are numerous. Sedimentary structures of epigenic material remain*

res sédimentaires du matériel épigénisé restent relativement bien conservées.

- d'un niveau carbonaté à reliques du sédiment initial, en taches (photo 2a) ou à l'état de bancs entiers de 0,8 à 1 m d'épaisseur. Les reliques sont d'autant plus nombreuses que le faciès originel était plus grossier et moins argileux.
- d'un niveau qui se confond parfois au précédent, fait de colonnes segmentées en une file de nodules carbonatés, chacune de 10 à 20 cm de diamètre environ (photo 2b). Entre les colonnes, il y a des nodules isolés dans l'encaissant, de tailles variées (du mm au dm).
- d'un niveau d'une puissance de 2 à 3 m, où le sédiment originel devient dominant, avec seulement quelques nodules carbonatés réduits à l'état de granules, qui flottent dans l'encaissant silto-gréseux.
- d'un niveau purement détritique de même épaisseur que le précédent, silto-gréseux ou alors d'un autre encroûtement coiffant la séquence sous-jacente.

Les encroûtements de type nappe : ces encroûtements sont analogues aux précédents avec toutefois les différences suivantes :

- les traces de racines manquent totalement ;
- les colonnes sont absentes ou peu nettes ;
- le carbonate est diffus dans le sédiment encaissant, surtout dans les niveaux gréseux et conglomératiques. La carbonatation sous forme de nodules n'apparaît que si l'épigénie affecte la fraction argileuse, notamment dans les coulées boueuses et au sommet des fins de rythme ;
- les structures sédimentaires de l'encaissant épigénisé sont respectées contrairement aux observations de Vogt (1984) réalisées sur les encroûtements des sols actuels ;
- la porosité est pratiquement absente dans ces niveaux.

32. Caractères microscopiques communs aux encroûtements calcitiques et dolomitiques

Dans les sols : l'épigénie se révèle toujours isovolumique, processus d'encroûtement démontré par Millot *et al.* (1977). Le remplacement des éléments détritiques se fait dans l'ordre suivant :

- argiles de la matrice phylliteuse ;
- fragments de verre volcanique ;
- feldspaths ;
- quartz dont les grains sont corrodés, fissurés ou même éclatés (photo 3).

Les encroûtements carbonatés sont riches en microfissures courbes et ramifiées remplies secondairement de ciment fin. Dans les traces de racines, l'intensité de l'épigénie augmente de manière centrifuge, depuis la

relatively well preserved.

- *a carbonate horizon with patchy relicts of initial sediment (photo 2a) or whole relict strata of 0.8 to 1 m in thickness. Relicts are most numerous where the original facies was more coarse grained and less silty.*
- *a horizon which merges occasionally with the previous one, and formed of columns segmented into a row of carbonate nodules, each 10 to 20 cm in diameter (photo 2b). Between the columns, there are isolated nodules of variable sizes (from mm to dm) in the host.*
- *a horizon of 2 to 3 m in thickness, where original sediment becomes dominant, with only a few carbonate nodules which are reduced to granules floating in the silty sandy host.*
- *a purely detrital horizon with the same thickness as the previous one, silty-sand or some other cement capping the underlying sequence.*

Groundwater-type cements: *these cements are similar to the preceding ones, however, there are the following differences:*

- *total absence of root fossils;*
- *columns are absent or less sharp;*
- *carbonate is diffuse in the enclosing sediment, especially in sandy and conglomeratic horizons. Carbonate nodules appear only when epigenesis affects argillaceous rocks, notably in mudflow deposits and at the top of rhythmites;*
- *sedimentary structures of the epigenised host are conserved contrary to the observations of Vogt (1984) on cements of recent soils;*
- *porosity is practically absent in these horizons.*

32. Common microscopic characteristics of calcitic and dolomitic cements

In soils: *epigenesis is always isovolumic, a cementation characteristic demonstrated by Millot et al (1977). Replacement of detrital elements is in the following order:*

- *clays of the phyllitic matrix;*
- *volcanic glass fragments;*
- *feldspars;*
- *embayed, cracked or even shattered quartz grains (photo 3).*

Carbonate calcretes are rich in curved and branching micro-cracks which are filled with fine secondary cement. In root traces, the intensity of epigenesis increases in a centrifugal manner, from the

partie axiale vers la périphérie de la racine (photo 4). Dans les fentes de dessiccation le processus s'opère depuis les fentes vers le centre du sédiment (photo 2b). Les glébules sont toujours nombreuses (photo 5). Elles sont définies comme une unité au sein du fond matriciel que l'on distingue de celui-ci par une concentration plus grande en un quelconque constituant ou par une différence d'assemblage avec celui-ci (Brewer, 1972, in Spy-Anderson, 1981).

Dans les encroûtements de nappes : l'épigénie reste isovolumique et s'effectue dans le même ordre que précédemment. Les grains de quartz, peu fissurés, sont entourés d'auroles successives de dépôt de carbonate en gros cristaux. Cela indique une progression de l'épigénie par à-coups, au rythme du battement de la nappe phréatique.

Les glébules sont rares, voire absentes, tout comme les microfissures.

33. Particularités microscopiques des encroûtements calcitiques

Aucun prédécesseur dolomitique n'a été détecté. On aurait en effet pu penser à des dolocrètes ultérieurement calcitisés.

34. Particularités microscopiques des encroûtements dolomitiques

Il n'y a aucune trace d'un prédécesseur calcitique. Ce ne sont donc pas des encroûtements calcitiques ultérieurement dolomitisés mais des encroûtements dolomitiques, développés directement par épigénie de la roche originelle.

La porosité est totalement obturée par le ciment carbonaté.

Dans les sols dolocrètes : le calibre des cristaux de dolomite est très variable (du micron au millimètre). Il évoque une germination des cristaux en de nombreux points dans des conditions de cristallisation variables et instables. Cela correspondrait bien à des assèchements entre des périodes humides successives, comme il est normal dans un milieu aussi superficiel.

Nous avons observé d'autre part, et seulement dans ces sols, que les cristaux de dolomite sont interpénétrés, engrenés, donc recristallisés. C'est peut-être une autre conséquence de l'irrégularité de la circulation des solutions dans les sols.

Dans les encroûtements de nappe : le calibre des cristaux avoisine le mm et devient moins variable. Les conditions de cristallisation étaient donc plus stables

axial part towards the periphery of the root (photo 4). In desiccation cracks, the process operates from the cracks towards the centre of the sediment (photo 2b). Glaebules are always numerous (photo 5). They are defined as a mineral segregation within the soil matrix that may have a higher concentration of a soil constituent or may be a different assemblage altogether (Brewer, 1972, in Spy-Anderson, 1981).

In groundwater cements: *epigenesis is isovolumic and it is made in the same way as above. Quartz grains are slightly cracked and circled by successive aureoles of coarse carbonate crystals. This indicates an episodic progression of epigenesis caused by pulses of groundwater.*

Glaebules are rare, even absent, as are microfissures.

33. Microscopic descriptions of calcite cements

They could have been considered as subsequently calcitised dolocretes. But in fact no dolomitic predecessor has been detected.

34. Microscopic descriptions of dolomitic cements

There is not any trace of a calcitic predecessor. Consequently, they are not calcitic cements that were subsequently dolomitised but dolomitic cements developed by epigenesis of the original rock.

Porosity is totally obliterated by the carbonate cement.

In dolocrete soils: *the size of dolomite crystals is very variable (from micro to millimetre). It suggests crystal nucleation from many sites in variable and unstable crystallization conditions. This would correspond to dry periods between successive damp periods as is normal in such a surface environment.*

Nevertheless, we observed, only in these soils, that dolomite crystals are interpenetrated, meshed and so recrystallized. It might be another consequence of the irregularity of the fluid circulation in the soils.

In groundwater cements: *the size of crystals is about 1 mm and is less variable. Crystallization conditions were therefore more stable than in soils, which is*

que dans les sols, ce qui convient bien à un milieu baigné par une nappe. La dolomite est le plus souvent "en selles", encore dite "dolomite baroque". Ses clivages et ses faces cristallines sont courbes (photo 6). Il est important de constater que dans ce cas la dolomite se trouve limitée aux encroûtements de nappes, alors qu'en principe la dolomite baroque est signalée comme ne caractérisant pas des milieux précis (Radke & Mathis, 1980).

4. REPARTITION PALEOGEOGRAPHIQUE

Au terme de nombreuses investigations sur le terrain, grâce au lever de coupes sériées très rapprochées et à l'examen systématique de la minéralogie en laboratoire, on peut dès à présent affirmer que la répartition entre les encroûtements de nappes et ceux du sol se révèle très tranchée géographiquement, sans transition aucune (fig.3).

Les sols encroûtés ne sont localisés que sur les deux flancs (sud et nord) du Haut-Atlas central (fig. 1). Les encroûtements dolomitiques se limitent à certaines régions : Eçour, Taliouine et Tahanaout. Leurs contours exacts sont inconnus. Ils sont dessinés arbitrairement en formes paraboliques sur la figure 3. Il se trouve que la formation F3 est justement un peu plus épaisse dans ces aires qu'ailleurs, ce qui suggère une subsidence.

Lors de la formation des encroûtements, le paysage du Haut-Atlas était une pédiplaine légèrement inclinée vers le nord.

Dans sa partie amont seulement, se formaient, par endroits, des sols carbonatés, le plus souvent calcaires car le magnésium n'était piégé que dans des dépressions locales (sur le versant sud : Eçour, Taliouine ; sur le versant nord : Tahanaout) où les sols étaient dolomitiques.

to be expected in a groundwater-bathed environment. Dolomite is most often in the form known as 'baroque dolomite'. Its cleavage and crystalline faces are curved (photo 6). It is important to notice that in this case, dolomite is limited to groundwater cements, though baroque dolomite is not considered to characterise a precise environment (Radke & Mathis, 1980).

4. PALEOGEOGRAPHIC DISTRIBUTION

After many field investigations, the survey of close sections and systematic examination of mineralogy in the laboratory, we can now confirm that the geographical distribution of groundwater and soil cements is very clear-cut, without any transition (Fig. 3).

Soil cements are localised only on the flanks (north and south) of the Central High Atlas (Fig. 1). Dolomitic cements are limited to certain regions: Taliouine, Eçour and Tahanaout. Their exact limits are unknown but are drawn arbitrarily in curved-shapes on figure 3. It happens that formation F3 is slightly thicker in these areas than elsewhere, suggesting subsidence.

During formation of cements, the landscape of the High Atlas was a pediplain dipping gently towards the north.

Carbonate soils were forming locally only in its upstream part, and mostly as limestone since magnesium was trapped only in local depressions (on the south slope: Eçour, Taliouine; on the north slope: Tahanaout) where soils were dolomitic.

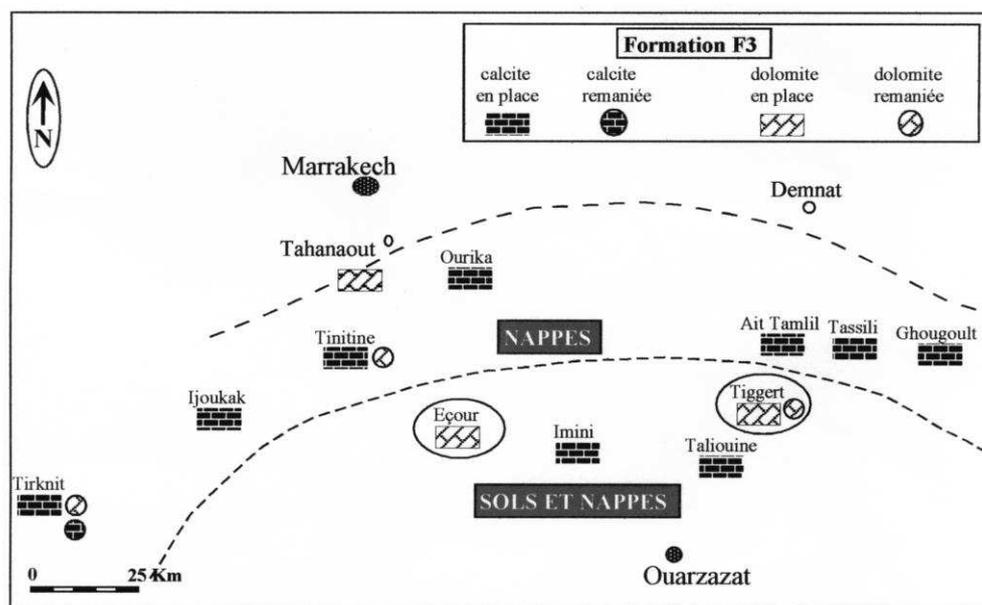


Fig. 3 – Répartition paléogéographique des encroûtements dans la formation F3 du Haut-Atlas central.

Par contre, les encroûtements de nappes se formaient sur toute la plaine d'alluvionnement, aussi bien à l'amont (versant sud du Haut-Atlas) qu'à l'aval (versant nord). Ils sont liés à la remontée progressive, de l'amont vers l'aval, du toit de la nappe qui tend à atteindre le niveau des sols, où l'on assiste parfois à des télescopages entre les deux types d'encroûtements. La dolomitisation liée aux nappes aquifères était restreinte, comme les dolocrètes, aux petits bassins d'Eçour, Taliouine et Tahanaout.

5. ORIGINE DES SOLUTIONS CARBONATEES

L'étude des directions et sens des courants, par des mesures effectuées sur les imbrications des galets, les litages obliques et en auge de certains bancs et les axes des chenaux de la formation F3, renseigne sur un écoulement provenant du sud et sud-est où le Paléozoïque carbonaté affleure largement. D'un point de vue général, ces observations se trouvent corroborées par les analyses des compositions isotopiques et l'interprétation de la genèse des calcrètes en rapport avec la source et l'alternance climatique saisonnière (Chiquet, 1999).

6. CONCLUSION

L'analyse de la minéralogie et de la morphologie du faciès et du micro-faciès dans la formation F3 a permis de mettre en évidence la présence de deux types d'encroûtement, l'un calcaire et l'autre dolomitique. Ces encroûtements ont été attribués à un environnement pédogénétique d'une part et/ou aux circulations de nappes phréatiques d'autre part.

Certains facteurs gouvernant la nature minéralogique et la répartition des encroûtements sont liés à :

- leur position par rapport à l'amont et à l'aval de la plaine d'épandage permo-triasique, à l'échelle régionale ;
- leur emplacement dans le paléorelief, sans aucune influence tectonique ;
- la nature et l'origine des solutions responsables des différents types d'encroûtement ;
- un climat caractérisé par une alternance de périodes humides de courte durée et de périodes sèches relativement longues.

Cette épigénie carbonatée est la cause d'une diminution notable de la porosité de la formation permo-triasique F3 du Haut-Atlas central, ce qui rend impropre le réservoir correspondant au piégeage éventuel des hydrocarbures dans cette zone.

In contrast, groundwater cements formed on the entire alluvial plain, in both the upstream (south slope of High Atlas) and downstream parts (north slope). They are related to the progressive rise of the top of the groundwater aquifer to soil level, from upstream to downstream. We occasionally witness both types of cement. Groundwater related dolomitisation was limited, as dolocretes, to the small basins of Eçour, Taliouine and Tahanaout.

5. ORIGIN OF CARBONATE FLUIDS

Study of current directions, by measuring imbrication of cobbles, cross and trough bedding of certain sand banks and channel axes of formation F3, suggests a flow from the south and south-east where Palaeozoic carbonate largely crops out. In general, these observations are corroborated by isotopic composition analysis and the interpretation of calcrete genesis as related to source and climatic and seasonal variation (Chiquet, 1999).

6. CONCLUSION

Analysis of mineralogy and morphology of facies and micro-facies in formation F3 has revealed the presence of two types of cement, one limestone and the other dolomitic. These cements have been attributed to a pedogenetic environment and/or to circulation of groundwater.

Some factors governing the mineralogical nature and distribution of cements are related to:

- *their position in relation to the upstream and downstream parts of the Permo-Triassic flood plain, at regional scale;*
- *their location in the paleorelief, without any tectonic influence;*
- *the nature and origin of fluids responsible for different types of cement;*
- *a climate characterised by alternating short-lived-damp periods and relatively long dry periods.*

This carbonate epigenesis is the cause of a notable decrease in porosity of Permo-Triassic formation F3 in the Central High Atlas, which makes the possible trapping of hydrocarbons in this zone unlikely.

Références bibliographiques

- Beauchamp J. (1980) – Les calcrètes permo-triasiques du Haut-Atlas. – 8^e R.A.S.T., Marseille, résumé p. 29.
- Beauchamp J. (1988) – Triassic sedimentation and rifting in the High Atlas (Morocco). Triassic-Jurassic Rifting: Continental Breakup and the Origin of the Atlantic Ocean and Passive Margins. – *In: Developments in geotectonics*, Manspeizer W., ed. – Elsevier, 22, p. 477-497.
- Bertrand M., Prioton J. M. (1975) – Les dolérites marocaines et l'ouverture de l'Atlantique. Etude pétrographique et géochimique. – Lyon, Univ. Lyon, 320 p.
- Brewer R. (1972) – Glossaire sommaire des termes micromorphologiques utilisés. Traduction française de J. Laruelle. – *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol*, Paris, 1-2, p. 91-92.
- Biron P.E. (1982) – Le Permo-Trias de la région de l'Ourika (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc) : Lithostratigraphie, sédimentologie, tectonique et minéralisations. – Th. 3^e cycle, Univ. Scientifique et Médicale de Grenoble, 170 p.
- Chiquet A. (1999) – Géochimie isotopique des calcrètes. – Th., Univ. Aix-en-Provence, France, 219 p.
- Cousminer H. L., Manspeizer W. (1976) – Triassic pollen data: Moroccan High Atlas and the incipient rifting of Pangea as Middle Carnien. – *Science*, 191, p. 94 -945.
- Cros P., Freydet P. (1985) – Traces d'émersion et de pédogenèse dans les formations triasiques des Alpes Méridionales (Italie, Autriche). Intérêt paléogéographique. – *Bull. Soc. Géol. France*, 8, t. I, n° 4, p. 481-490.
- De-Pachtère P. (1983) – Le volcanisme permien et fini-triasique dans le Haut-Atlas de Marrakech (Maroc). Approche pétrologique et géodynamique. – Univ. Scientifique et Médicale, Grenoble, France, 203.
- Doubinger J., Beauchamp J. (1985) – Description d'une palynoflore carnienne à la base des Grès de l'Oukaïmeden de la région d'Asni (Haut-Atlas) : implications paléogéographiques. – 5th Meet. IGCP, Marrakech.
- Dutuit J. M. (1976) – Introduction à l'étude paléontologique du Trias continental marocain. Description des premiers Stégocéphales recueillis dans le Couloir d'Argana. – *Mém. MNHN*, Paris, 36 (C), p. 1-253.
- El Youssi M. (1986) – Sédimentologie et paléogéographie du Permo-Trias du Haut-Atlas central (Maroc). – Th., Univ. Scientifique et Médicale, Grenoble, France, 195 p.
- Le Marrec A. (1979) – Lithostratigraphie du Permo-Trias du Haut-Atlas de Demnat, Maroc. – 7^e Réun. annuelle Sci. Terre, Univ. Claude Bernard, Lyon, France.
- Le Marrec A., Taugourdeau-Lanz J. (1983) – Nouvelles datations palynologiques du Trias supérieur du Haut-Atlas de Demnat (Maroc). – *Bull. Fac. Sci. Marrakech*, num. spec. (1 Sec. Sci. Terre), p. 52-60.
- Lorenz J. C. (1988) – Synthesis of late Paleozoic and Triassic red bed sedimentation in Morocco. – *In: The Atlantic System of Morocco studies on its geodynamic evolution*, Jacobshagen V.H. ed. – Lectures and notes in Earth-Sciences, Springer-Verlag, 15, p.139-168.
- Manspeizer W., Puffer J.H., Cousminer H.L. (1978) – Separation of Morocco and Eastern North America: a Triassic-Liassic stratigraphic record. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, p. 901-920.
- Manspeizer W. (1988) – Triassic-Jurassic rifting and opening of the Atlantic: an overview. – *In: Triassic-Jurassic Rifting: Continental Breakup and Origin of the Atlantic Ocean and Passive Margins*, Manspeizer W. ed.
- Mattis A. F. (1977) – Nonmarine triassic sedimentation, central high Atlas, Morocco. – *J. Sedim. Petrol.*, 47, p. 107-119.
- Millot G., Nahon D., Ruellan A., Tardy Y. (1977) – L'épiginie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays sub-aride Anti-Atlas, Maroc. – *Sci. Géol. (Bull.)*, Strasbourg, t. 30 (fasc. 3), p. 129-152.
- Proust F. (1973) – Etude stratigraphique, pétrographique et structurale du bloc oriental du Massif Ancien du Haut-Atlas (Maroc), résumé de thèse. – *Notes Serv. Géol. Maroc*, n° 34 (254), p. 15-53.
- Radke B. M., Mathis R. L. (1980) – On the formation and the occurrence of saddle dolomite. – *J. Sediment. Petrol.*, vol. 5, 4, p. 1149-1168.
- Spy-Anderson F. L. (1981) – Dolocrètes et nodules dolomitiques. Résultats de la dolomitisation directe en milieu continental de sédiments terrigènes de la "formation bariolée supérieure" (Keuper) de la région des Vans (Ardèche, Sud-Est de la France). – *Bull. BRGM*, sér. II, section I, n° 3 (5 fig., 1 pl.), p. 195-205.
- Truc G., Tria J.M., Sassi S., Paquet H., Millot G. (1985) – Caractères généraux de l'épiginie carbonatée de surface par l'altération météorique liée à la pédogenèse, et par l'altération sous couverture liée à la diagenèse. – *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 300 (sér. II, n° 7), p. 283-290.
- Van Houten F. B. (1976) – Late Variscan nonmarine deposits, NW Africa: implications for pre-rift North Atlantic reconstitutions. – *Am. J. Sci.*, 276, p. 671-693.
- 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.