

# Evolution sédimentologique et contrôle tectono-karstique du bassin de la dayet Afourgagh au cours du Plio-quaternaire (Moyen Atlas, Maroc)

Abdennasser BAALI & Bouazza FEDAN

Mots-clés : sédimentologie, néotectonique, karstification, Plio-quaternaire, dayet, Moyen Atlas, Maroc.

## ملخص

تطور رسابي وتدقيق حول تكتونية وكارست حوض ضاية أفوركاغ خلال البليورباغي (الأطلس المتوسط، المغرب). تم الكشف عن التاريخ البليورباغي لحوض ضاية أفوركاغ وذلك اثر دراسة متعددة التخصصات للمواد القارية بالأحواض البيجيلية. فقد مكنت الرسابة والتكتونية والكارست من طرح تصور تطوري من ثلاث مراحل. فالرسابة المفصلة للمواد النهرية والبحيرية سمحت بالكشف عن مناخات قديمة طوال البليورباغي، تتراوح من مناخ رطب وحار لمناخ أكثر جفافاً. وأبرزت الدراسة المرفونيبوية دوراً متمامياً للنيوتكتونية في عملية كرسنت الدلومي وبالتالي في التشكيل الكارستي لضاية أفوركاغ. تعرض حوض ضاية أفوركاغ خلال البليورباغي إلى ثلاث مراحل نيوتكتونية متجددة ذات انخلاع مياسر لحادث تزي نترتن. بينما يعتبر آخر نشاط لهذا الحادث والمسؤول عن تكوين ضاية أفوركاغ سابقاً للهولوسين.

## RESUME

A partir d'une étude multidisciplinaire des formations continentales des cuvettes intramontagneuses, l'histoire plio-quaternaire du bassin de la dayet Afourgagh a été reconstituée. La sédimentologie, la tectonique et la karstification ont permis d'établir un schéma d'évolution en trois stades. La sédimentologie détaillée des formations fluvio-lacustres a permis de dégager des paléoclimats durant le Plio-quaternaire, allant d'un climat humide et chaud vers un climat de plus en plus aride. L'étude morpho-structurale a révélé le rôle important de la néotectonique dans la karstification des dolomies du substrat et par conséquent dans la karstogenèse de la dayet Afourgagh. Pendant le Plio-quaternaire, le bassin de la dayet Afourgagh a été soumis à trois phases néotectoniques liées aux rejeux en décrochement sénestre de l'accident de Tizin'tretien. Le dernier rejeu de celui-ci responsable de la formation de la dayet Afourgagh est anté-holocène.

## ABSTRACT

**Sedimentary evolution and tectono-karstic control of the dayet Afourgagh basin (Middle Atlas, Morocco).** Reconstitution of the plio-quaternary evolution of the dayet Afourgagh basin from pluridisciplinary study of the continental formations within the intramontane basins. Sedimentology, tectonic and karstification allow to establish a evolutive model with three stage. The detailed sedimentology of the fluvio-lacustrine superficial formations has allowed recognition the palaeoclimates of plio-quaternary, from the humid and warmer climate to have been more dryer. The morpho-structural study has showed the neotectonic considerable role in the substratum dolomitic karstogenesis of the dayet Afourgagh. During the Plio-quaternary the dayet Afourgagh basin has been submitted to three neotectonic phases linked to the Tizin'tretien fault recurrent faulting in sinistral strike-slip fault. The last recurrent faulting responsible the dayet Afourgagh formation is ante-holocene dating.

## INTRODUCTION

Les dayets au Maroc constituent un système lacustre particulier et peuvent être asséchées pendant les périodes sèches. Dans la chaîne moyen-atlasique, elles se développent davantage dans la zone la plus humide et la plus élevée (> 1200 m), exposée aux précipitations venant de l'Atlantique. Elles se sont généralement formées dans les calcaires et dolomies de la couverture mésozoïque du Moyen Atlas. Le climat est le facteur le plus important qui régit leur répartition dans le Moyen Atlas (BAALI, 1990). Certaines dayets ont fait l'objet de divers travaux : analyse palynologique des sédiments lacustres au Col de Zad

(REILLE, 1976), étude lithostratigraphique et palynologique avec quelques datations sur 20 m d'épaisseur de sédiments lacustres de Tiglmamine (LAMB & al. 1989) et études des sédiments récents sous les plans d'eau de plusieurs dayets (RIPPEY, 1982 ; FLOWER & al., 1984 ; FOSTER & al., 1986). Des données sur le contexte géomorphologique et structural des dayets du Moyen Atlas ont été fournies par MARTIN (1981), FEDAN (1988) et CARRIER (1990). La présente étude a été menée dans le but de comprendre l'origine et le fonctionnement de ces dépressions lacustres en tant qu'écosystème et plus particulièrement la dayet Afourgagh.

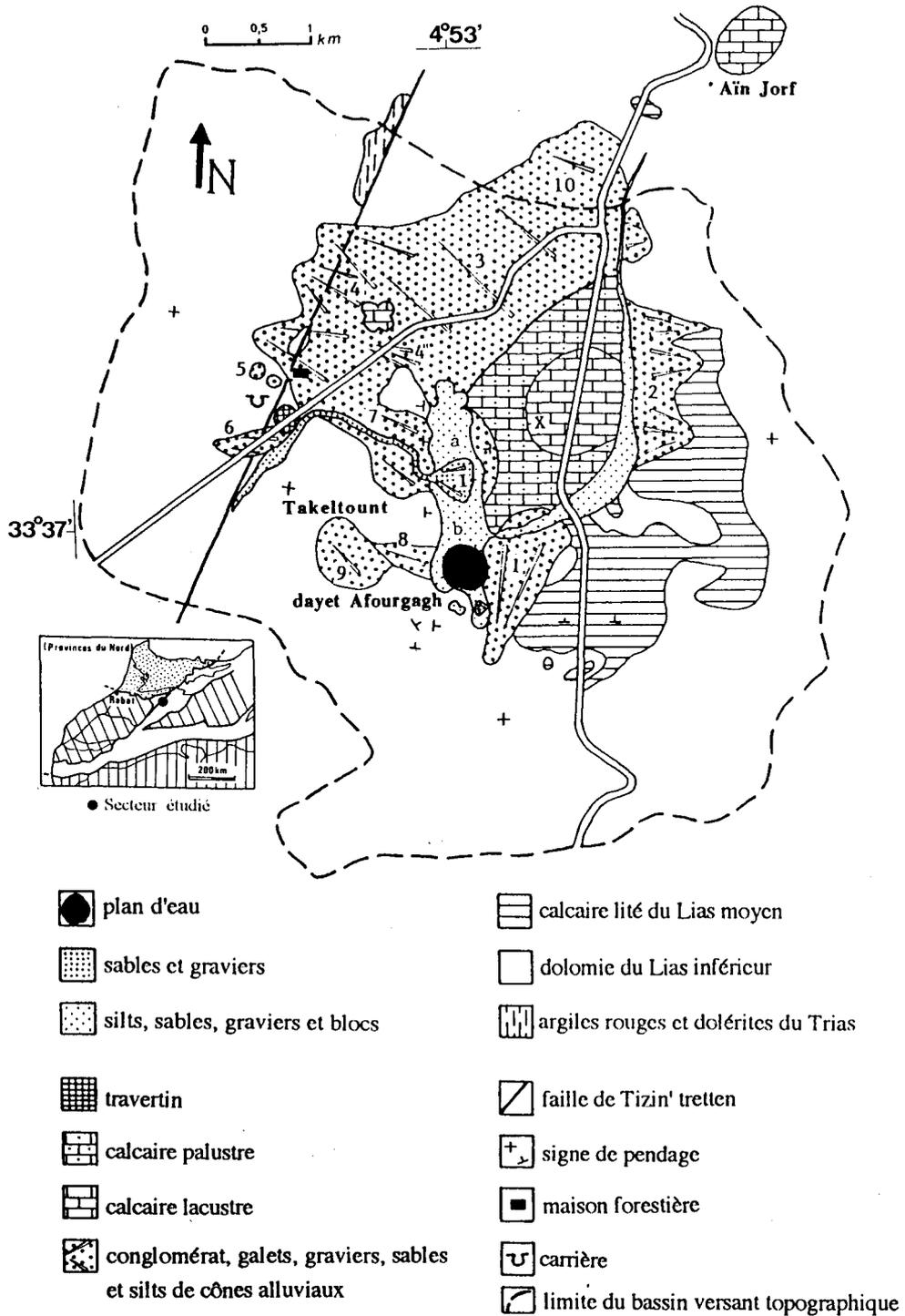


Figure 1 : Carte lithologique du bassin de la dayet Afourgagh (1, 2, 3 ... ; I, a, b, x..., voir texte).

Le Moyen Atlas, où se situe la dayet Afourgagh, est subdivisé par l'accident nord-moyen-atlasique (N40°) en Moyen Atlas plissé et Causse moyen-atlasique (COLO, 1961). Le Causse moyen-atlasique formé d'une couverture carbonatée d'âge jurassique est traversé par l'accident de Tizin'tretien (N40°). Il montre une série de plateaux étagés distincts appelés causses. Ce Causse moyen-atlasique a enregistré une activité tectonique depuis le Mésozoïque (MARTIN, 1981; FEDAN, 1988; CHARRIER, 1990). Cependant la néotectonique, qui revêt une grande importance, reste dans sa majorité encore méconnue. L'une des preuves sont les nombreuses éruptions volcaniques liées aux rejeux en distension de certains accidents (MARTIN, 1981 ; HARMAND & MOUKADIRI, 1986 ; AÏT BRAHIM & *al.*, 1987). Les principales déformations engendrées dans les formations géologiques depuis le Pliocène sont variées : plis, flexures, gauchissements, failles ou décrochements (MARTIN, 1981 et CHARRIER, 1990). Les formes karstiques dans le Causse moyen-atlasique sont de deux types: formes de surfaces et souterraines (MARTIN, 1981; Inventaire Spéléologique du Maroc, 1981).

La dayet Afourgagh se situe à l'Est de la zone la plus humide du Moyen Atlas à 4°53' de longitude ouest et 33°37' de latitude nord. Elle occupe la moitié sud d'une grande dépression (12 km de longueur et 2 à 4 km de largeur) allongée parallèlement à l'accident de Tizin'tretien (N40°), dans un étage bioclimatique subhumide à hiver froid. Le substrat de son bassin versant est constitué essentiellement de dolomies et calcaires du Lias et d'un pointement du Trias formé d'argiles rouges et de basaltes doléritiques (Fig. 1).

### SEDIMENTOLOGIE ET MINERALOGIE

L'étude sédimentologique de plusieurs coupes géologiques levées dans le remplissage du bassin de la dayet, a permis de dégager trois grandes formations fluvio-lacustres formées dans des bassins sédimentaires différents.

#### DÉPÔTS CALCAIRES DE L'OUVALA

Au Nord du bassin versant de la dayet Afourgagh, existe un ouvala formé de quatre dolines coalescentes (Fig. 1). Dans les versants de cet ouvala affleurent des calcaires lacustres massifs sur une épaisseur de 10 m. Ces calcaires sont intercalés entre les dolomies liasiques du substrat et les dépôts conglomératiques à gréseux des

cônes alluviaux (4) plio-quadernaires (MARTIN, 1981). De couleur grise à jaunâtre et de faciès variés, ils contiennent des Gastéropodes, des vermicules, des tiges végétales (encroûtements cylindriques), des Ostracodes et des revêtements algaires. Vers le Nord de cet affleurement, ils changent de faciès et deviennent travertineux avec des intercalations de lentilles sableuses à éléments détritiques grossiers dispersés.

Du point de vue pétrographie, ces calcaires sont micritiques à microsparitiques à lithoclastes de dolomies et grains de quartz et dolomite, taches d'oxydes de fer et de manganèse, à bioclastes (Gastéropodes, Ostracodes ...) et à oncolithes.

Les résultats d'analyses par diffraction des R.X du faciès à vermicules montrent une composition minéralogique dominée par la calcite suivie du quartz et de la kaolinite relativement dominante dans la fraction argileuse (éch. 73, Tab. I).

Les caractéristiques de ces calcaires traduisent un milieu de dépôt lacustre légèrement réducteur (MENILLET, 1974), calme et ne dépassant pas une profondeur de 5 à 10 m (MENILLET, 1974; FREYTET, 1984 ; CASANOVA, 1987). Ce bassin sédimentaire a été alimenté par un affluent venant du N (présence de dépôts détritiques fins parfois travertineux et grossiers) et par les eaux de ruissellement. Les caractéristiques pétrographiques des dépôts traduisent une évolution sédimentologique sous un climat chaud et humide.

#### DÉPÔTS DE LA TERRASSE LACUSTRE ET DES CÔNES ALLUVIAUX

La deuxième formation occupe la grande dépression centrale et les versants périphériques de l'actuel bassin. Elle se présente sous forme de terrasse au milieu du bassin (x, Fig. 1) et de cônes alluviaux sur les versants (notés de 1 à 10).

#### DÉPÔTS DÉTRITIQUES ET CALCAIRES DE LA TERRASSE

La surface de la terrasse lacustre qui occupe la grande dépression montre une dénivellation de 10 m par rapport à celle de la dayet affaissée et de 30 à 40 m par rapport au sommet des calcaires massifs surélevés de l'ouvala. Les coupes géologiques levées dans la terrasse montrent sept faciès sédimentologiques à dominance détritique (Fig. 2) :

1 - dépôts grossiers formés de couches de galets, graviers et sables dolomitiques marquées par des revêtements d'oxydes de fer et de manganèse liés à la zone d'activité maximale de battement de la nappe phréatique (KAEMMERER & REVEL, 1989). A l'Ouest de la terrasse lacustre, ils constituent la partie dominante des sédiments lacustres. Ces dépôts correspondent à des dépôts fluviaux chenalisés (FRIEDMAN & SANDERS, 1978; REINECK & SINGH, 1986) en aval du cône alluvial 7;

2 - argiles et silts brun rougeâtre reposant à l'Ouest sur les dépôts grossiers (faciès 1) et forment la base des dépôts lacustres de la terrasse. Les silts se rencontrent essentiellement à la périphérie alors que les argiles se rencontrent dans la partie centrale de la terrasse. Les argiles grisâtres intercalées dans les argiles rougeâtres renferment des éléments dolomitiques dispersés et contiennent des Ostracodes au Nord.

Les analyses par diffraction des R.X des sédiments silteux montrent une fraction fine composée d'illite et de kaolinite en présence de chlorite et de smectites (éch. 21, Tab.I). La roche totale est constituée essentiellement de dolomite avec peu de quartz et de calcite.

La coloration rougeâtre et la présence de kaolinite traduisent sans doute le remaniement d'un sol fersiallitique bien développé à cette époque sur le bassin versant (DUCHAUFOR & SOUCHIER, 1977 ; PEDRO, 1979 ; FREYTET & MOISSONET, 1983 ) ;

3 - silts et sables jaunâtres reposant sur les argiles et silts brun rougeâtre (faciès 2) dans les parties centrale et occidentale de la terrasse lacustre. Ils présentent une induration variable probablement liée au développement de la calcite (éch.87, Tab.I). Ces sédiments sont composés de dolomite avec peu de quartz et de feldspath (éch.86 et 87, Tab. I). La fraction fine est composée principalement d'illite et de kaolinite;

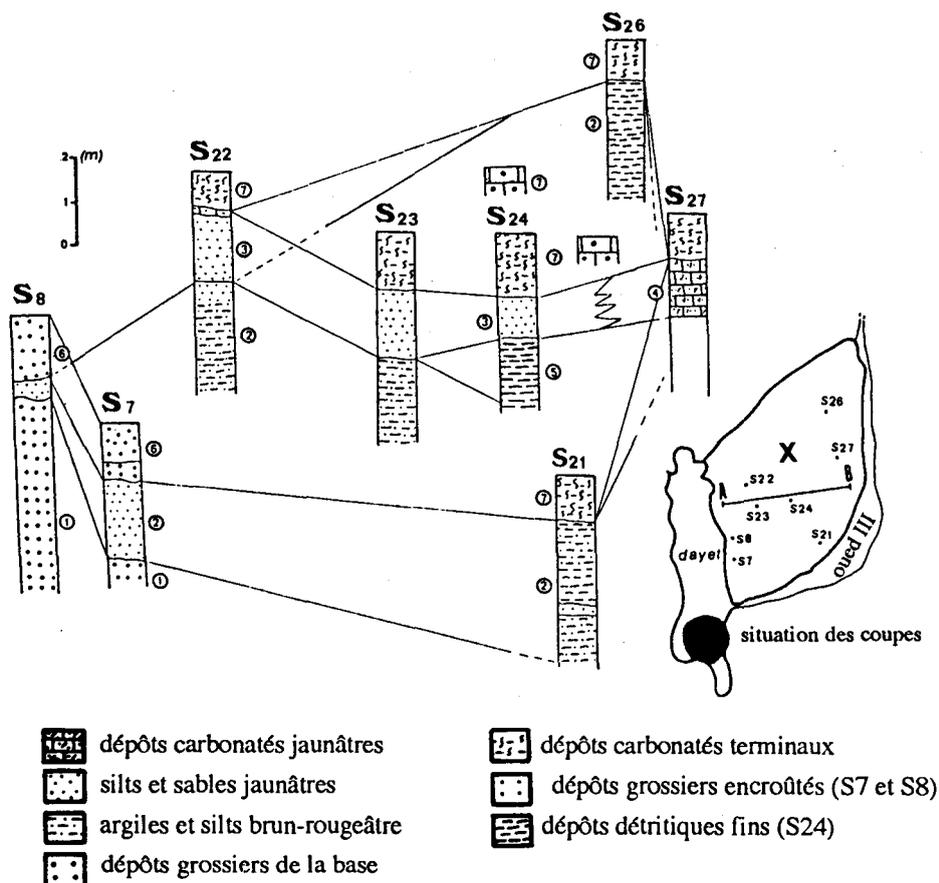


Figure 2 : Situation des coupes et nature de remplissage formant la terrasse lacustre dans le bassin de la dayet Afourgagh.

4 - dépôts carbonatés jaunâtres reposant, eux aussi, directement sur les argiles brun rougeâtre (faciès 2), à l'Est de la terrasse lacustre. Ils sont à la fois détritiques et chimiques passant latéralement aux silts et sables jaunâtres (faciès 3). Ils présentent des moules creux de radicelles abondantes.

Ces faciès paraissent être contemporains des silts et

sables jaunâtres du faciès 3. Ils sont moins argileux et altérés, plus dolomitiques que les précédents, et sont issus des roches mères du bassin versant dont la couverture pédologique est antérieurement érodée. La présence de carbonates dans le faciès 4, à l'Est, peut être liée à la proximité des affleurements de calcaires liasiques du substrat;

5 - dépôts détritiques fins intercalés, au centre de la

Tableau I: Composition minéralogique des principaux faciès sédimentologiques du bassin de la dayet Afourgagh.

Fraction argileuse									Roche totale			
N° éch	Ch.	Sm.	I/Ch.	IL	Ka.	Qz	Fe.	Go.	Qz	Do.	Ca.	Fe.
21	*	tr		**	**	**	*		0,5	7	0,5	2
58										9	0,5	0,5
72	tr	tr		tr	tr	tr	tr		0,5	1,5	8	
73	tr	tr	tr	tr	*	*	tr		0,5		9	
82	*	*	tr	*	***	*	*		2,5	6	1	0,5
83	*	*	tr	***	***	*			1,5	8		0,5
84	*	tr		**	**	*	tr		0,5	9		0,5
85	*	**	tr	***	***	*	tr		0,5	8,5		1
86	tr	tr	tr	*	*	tr				9		1
87	*	tr	tr	tr	**	*	tr	*	1	6	2	1
88	*	tr		*	**	*	tr		0,5	4,5	4,5	0,5

Légende : Ch. : chlorite ; Sm. : smectites ; I/Ch : interstratifiées Illite / Chlorite ; Il. : illite ; Ka. : kaolinite ; Qz : quartz ; Fe. : feldspath ; Go. : goethite ; Do. : dolomite ; Ca. : calcite. - tr : trace ; \* : peu abondant ; \*\* : moyen ; \*\*\* : abondant. (Les teneurs des minéraux de la roche totale sont en dixième).

terrasse lacustre, entre les argiles brun rougeâtre (faciès 2) de la base et les silts et sables jaunâtres (faciès 3). Ils se présentent sous forme de couches décimétriques formées de silts et d'argiles de couleurs variées (marron, beige, café au lait et orange) et renfermant des lits sableux jaunâtres. Ces dépôts fins sont caractérisés par la dominance de l'illite et la kaolinite en présence de la chlorite. Les smectites sont assez représentées dans les faciès les plus fins, alors que la kaolinite domine seule dans les faciès sableux. La roche totale est surtout dominée par la dolomite avec un peu de quartz et de feldspath (éch.82, 83, 84 et 85, Tab. I).

La stratification subhorizontale de ces couches, sans indices d'émersion, indique une assez grande profondeur d'eau limitant les phénomènes de bioturbation et permettant une probable stratification des eaux (STURM & MATTER, 1978). Les couleurs variées de ces couches peuvent être liées à l'origine et la nature des sédiments et aussi à la nature chimique de l'eau;

6 - dépôts grossiers (galets et graviers dolomitiques) encroûtés couvrant les silts brun rougeâtre (faciès 2) à l'Ouest de la terrasse lacustre;

7 - dépôts carbonatés terminaux en surface de la terrasse lacustre (Fig. 1). Une formation de silts et sables

carbonatés jaunes à bruns contenant des croûtes zonaires, des poupées carbonatées, des Mollusques d'eau douce et des lits crayeux (éch. 88, Tab. I), est la plus répandue.

'Au NW et SW, une calcarénite à grains dolomitiques à structure colonnaire domine. Des croûtes tuffeuses (VOGT, 1984) blanchâtres épaisses de 10 à 30 cm se sont développées, au Sud. Au milieu, les dépôts détritiques de la terrasse lacustre (faciès 2, 3, 4 et 5) sont recouverts par un calcaire lacustre micritique à micro-paritique de couleurs variées (gris-verdâtre, jaune, beige) à Gastéropodes, traces de bioturbation, fentes de dessiccation et formes de dissolution. Une croûte laminaire marron à noirâtre (oxydes de fer et de manganèse) recouvre la surface des calcaires. Les calcaires contiennent de la dolomite, du quartz et des argiles en traces (éch.72, Tab. I).

Tous ces faciès sédimentaires de la terrasse lacustre sont dominés par un détritisme dolomitique qui s'ordonne suivant une granularité décroissante de la bordure vers le centre de la terrasse lacustre (Fig. 3). Cependant certains sont enrichis et consolidés par un ciment calcitique. Les calcaires lacustres situés dans la partie centrale, marquent l'arrêt de la forte progression des matériaux

détritiques et la concentration des eaux dans un bassin peu profond favorable à la précipitation de la calcite (FREYTET, 1984; REINECK & SINGH, 1986). Les dépôts carbonatés périphériques correspondent à des sédiments déposés dans un environnement palustre soumis à des émergences et submersions fréquentes en présence d'une ceinture végétale localisée (FREYTET, 1984; PLAZIAT & *al.*, 1987).

#### DÉPÔTS DÉTRITIQUES DE CÔNES ALLUVIAUX

Les dépôts des cônes alluviaux seront cités brièvement parce qu'ils ont fait l'objet de la seconde note (BAALI & *al.*, 1997).

Des points de vues morphologique et stratigraphique, ces dépôts de cônes de déjection sur les versants du bassin passent latéralement aux dépôts lacustres de la terrasse décrits ci-dessus (Fig. 1). Ils sont essentiellement constitués de matériaux conglomeratiques à gréseux à ciment silto-gréseux. Les matériaux sont issus essentiellement des dolomies, exceptés les cônes 1, 2 et 10 où les

composants peuvent aussi être calcaires ou doléritiques. Ces dépôts présentent plusieurs faciès agencés de façon variable au sein de chaque cône :

- 1- conglomérat à éléments jointifs et ciment silto-gréseux
- 2- conglomérat à éléments non jointifs et ciment silto-gréseux;
- 3- silts gréseux à graviers épars;
- 4- silts gréseux à encroûtement laminaire;
- 5- conglomérat à matrice calcaire précipitée;
- 6- dépôts meubles à graviers, sables et silts;
- 7- argiles et silts à croûtes intercalées;
- 8- dépôts à structure colonnaire.

La répartition lithologique de ces faciès dans les cônes alluviaux du bassin fait apparaître quatre groupes de cônes distincts. Certains traduisent des écoulements spasmodiques de type coulée boueuse (mud flow) ou coulée boueuse à blocs ("debris flow") et d'autres traduisent une dynamique d'eau courante plus ou moins pérenne, sous un climat semi-aride.

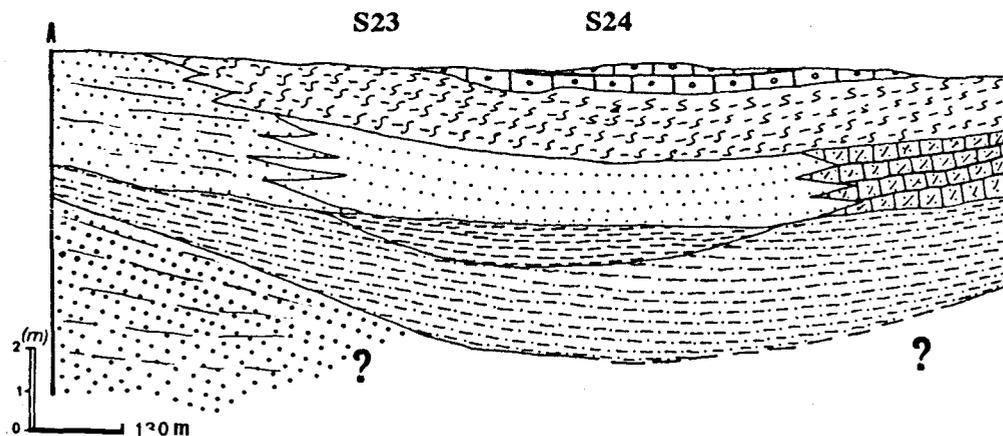


Figure 3 : Coupe géologique dans les dépôts de la terrasse lacustre (situation et légende, voir Fig. 2).

#### DÉPÔTS DÉTRITIQUES DE LA DAYET AFOURGAGH

En contrebas de la terrasse lacustre, la dayet Afourgagh est allongée entre celle-ci et les cônes de déjection occidentaux (a et b, Fig. 1). Le lac Afourgagh occupe son extrémité sud. Dans la dayet, des oueds débouchent en construisant en surface des cônes de déjection récents dont le principal est le cône I, au milieu.

Plusieurs coupes géologiques ont été levées et montrent une formation détritique dolomitique à deux termes superposés. Le terme inférieur est formé de sables et de silts jaunâtres à Ostracodes, Bivalves, Gastéropodes et Chara. Il renferme des niveaux de silts riches en matière organique, de tourbe et de sables grossiers laminés et des dépôts grossiers de chenaux sous le cône récent I. Le terme supérieur est constitué de sables et silts argileux bruns

dépourvus de fossiles. Cependant, il passe latéralement au voisinage du lac, au Sud, à des silts argileux carbonatés à Gastéropodes. Les deux termes ont des compositions minéralogiques presque analogues dominées par la dolomite et l'illite. La calcite en faible quantité apparaît dans le deuxième terme faiblement induré (BAALI, 1990).

Une datation au C14 a été faite sur des coquilles de Gastéropodes très abondantes dans un niveau sableux du terme inférieur, à 1,5 m de profondeur. Cette datation a donné un âge de 10180 + 120 ans B.P. (LYON-5679) qui correspond à la limite Pléistocène supérieur-Holocène. Elle a permis ainsi de déduire le taux moyen du remplissage sédimentaire de la dayet qui est de 0,25 mm/an. Ce taux, qui s'est élevé récemment, est de l'ordre de 1,3 à 1,7 cm/an dans une zone du lac Afourgagh, située plus loin des principales arrivées détritiques (FLOWER & al., 1989) qui peut être la conséquence d'une aridification climatique et/ou de l'action de l'homme. Cette dernière se manifeste par défrichement de la forêt et culture des sols.

Les deux termes montrent que la sédimentation s'est effectuée dans un bassin lacustre plus ou moins profond, alimenté principalement par l'Oued I qui a construit un delta sous lacustre de type "fan delta" (NEMEC & STEEL, 1988). Ce bassin a été progressivement comblé en repoussant le plan d'eau vers la partie profonde au Sud et les arrivées détritiques de l'Oued I construisent, en surface, le cône de déjection I. L'épaisseur du remplissage de la dayet est non considérable mais dépasse 7 m d'épaisseur, ce qui permettrait d'attribuer un âge fin Pléistocène supérieur aux sédiments de la base, en tenant compte de l'âge limite Pléistocène supérieur-Holocène obtenu à 2,5 m de profondeur des sédiments et du taux sédimentaire moyen.

D'après ces données, il ressort clairement que la genèse de la dayet, effectivement antérieure à son remplissage sédimentaire, s'était effectuée à la fin du Pléistocène supérieur.

### KARSTIFICATION

Le substrat des formations superficielles est formé de dolomies du Lias inférieur et de calcaires lités du Lias moyen qui ne recouvrent que la partie sud-est du bassin versant (Fig. 1). Les formes karstiques ne se sont développées que dans les dolomies du substrat malgré que la dolomite est réputée être peu soluble (NICOD, 1972; AUBOIN & al., 1975; THRAILKLL, 1977; MARTIN, 1981). Celle-ci constitue presque la totalité de la dolomie du bassin en présence d'une faible proportion de calcite (éch. 58, Tab. I).

Les observations au microscope optique polarisant ont montré que la dissolution se fait principalement entre les cristaux de dolomite du faciès granulaire et qu'une dédolomitisation en micrite existe. En effet, ces deux phénomènes expliquent bien les différents aspects des dolomies rencontrés à la surface du bassin versant : dolomie en boules, dolomie sableuse et pulvérulente et dolomie en relief ruiniforme.

Les conditions climatiques actuelles sont favorables à la karstification. Le climat est humide (600 à 700 mm/an) et froid en hiver (NICOD, 1972; JOHNSON & STIELGLITZ, 1990) avec possibilité de neige temporaire sur les reliefs dépassant 1500 m d'altitude. De plus, ce secteur a connu au cours du Quaternaire des conditions climatiques plus froides et humides qu'actuellement (MARTIN, 1981) avec des précipitations de neige plus abondantes favorisant la dissolution des dolomies (JOHNSON & STIELGLITZ, 1990).

Les formes karstiques de surface se sont développées aussi bien dans les dolomies que dans les formations sédimentaires superficielles : dépôts conglomératiques à gréseux des cônes alluviaux, calcaires lacustres de l'ouvala et dépôts détritiques et calcaires de la terrasse lacustre. Toutes ces formes appartiennent à la même génération formée pendant la dernière phase karstique qui a eu lieu dans le bassin. Dans ce bassin, le karst n'est pas représenté seulement par les formes de surface, mais il existe des formes souterraines de petite dimension : grottes, fissures béantes et porches.

Doline et ouvala sont deux principales formes karstiques de surface. Les dolines sont nombreuses et réparties à l'Ouest et au Sud de la dayet. La dayet dont le contour multilobé est, elle-même, un ouvala formé de la juxtaposition de nombreuses dolines coalescentes. Un deuxième ouvala, formé de quatre dolines coalescentes deux à deux, s'est développé dans les dolomies du Lias et sa couverture plio-quaternaire formée de calcaires lacustres massifs décrits ci-dessus et de dépôts conglomératiques à gréseux du cône 4 (Fig. 1).

Les formes karstiques de surface sont relativement rares dans le causse d'Amekla où se situe le bassin de la dayet Afourgagh. Dans ce bassin, l'abondance des formes karstiques de surface affectant principalement les dolomies donne à celui-ci une particularité pour être étudié. Jusqu'ici les phénomènes, autres que climatiques, responsables de cette particularité ne peuvent être autres que la fracturation intense et le broyage des dolomies du substrat et les mouvements hydrologiques en relation avec la nappe phréatique. Ces derniers se manifestent dans l'alimentation de la nappe phréatique du bassin en

eau de précipitations et en eau souterraine. L'alimentation en eau souterraine des zones surélevées situées particulièrement à l'Ouest et au Sud, est favorisée par l'affaissement de plus en plus accentué du fond lacustre du bassin.

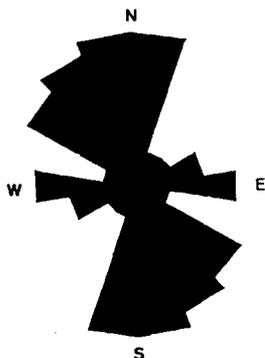


Figure 4 : Rosace de fréquence des directions d'alignement des formes karstiques (doline et ouvala) dans le bassin de la dayet Afourgagh.

La bonne interprétation de la genèse de ces formes karstiques nécessite leur étude dans un cadre tectonique actuel (HERAK, 1990). De ce fait, une analyse statistique de l'allongement et de l'alignement des formes karstiques (doline et ouvala) a été réalisée. Les directions d'allongement des formes karstiques se répartissent dans les secteurs de directions  $N20^{\circ}$ - $N60^{\circ}$  et  $N140^{\circ}$ - $N180^{\circ}$  et leurs directions d'alignements se répartissent dans plusieurs secteurs (Fig. 4) :  $N00^{\circ}$ - $N20^{\circ}$ ;  $N60^{\circ}$ - $N80^{\circ}$ ;  $N80^{\circ}$  -  $N100^{\circ}$ ;  $N120^{\circ}$ - $N140^{\circ}$ ;  $N140$  -  $N160^{\circ}$  et  $N160^{\circ}$  -  $N180^{\circ}$ . Une concordance entre les directions d'allongement et les directions d'alignement des formes karstiques apparaît ainsi dans le secteur de directions  $N140^{\circ}$ - $N180^{\circ}$ . On verra l'importance de cette concordance après l'analyse à la fois karstique et tectonique du bassin versant.

## TECTONIQUE

Dans le Causse moyen-atlasique, l'accident de Tizin'tretien qui passe dans la partie ouest du bassin de la dayet Afourgagh a joué en décrochement sénestre pendant le Plio-quatenaire (MARTIN, 1981 ; CHARRIERE, 1990). Cependant dans le bassin de la dayet Afourgagh, l'étude sédimentologique a révélé la présence de trois bassins sédimentaires lacustres chronologiquement successifs et présentant une migration vers le Sud.

Malgré l'absence de tectoglyphes, dans les dolomies et calcaires du Lias, qui montrent la nature des rejeux tectoniques des failles, des dolomies stratifiées et bréchifiées sont plissées au Sud-Ouest, au niveau de la carrière (Fig. 1). Elles sont l'expression d'une zone à plissement d'entraînement (axe des plis:  $N90^{\circ}$  -  $N100^{\circ}$ ) (VIALON & al., 1991) qui manifeste le(s) jeu(x) en décrochement sénestre de l'accident de Tizin'tretien. Le principal rejeu ne peut être qu'antérieur à la deuxième phase lacustre liée à la terrasse puisque le plissement n'est pas de cet ampleur dans les cônes alluviaux avoisinants (5 et 6, Fig. 1). Ces derniers sont affectés par des failles normales et des plissements de très faible ampleur (BAALI & al., 1997).

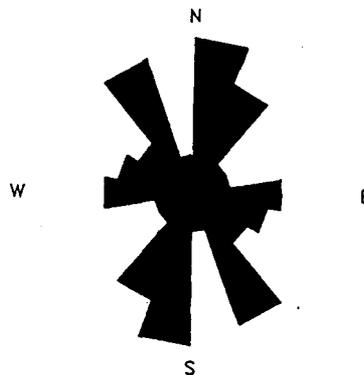


Figure 5: Rosace de fréquence des directions de fractures dans le bassin de la dayet Afourgagh.

De nombreuses failles normales de direction  $N160^{\circ}$  à  $N180^{\circ}$  affectent les dépôts alluviaux et lacustres de la deuxième phase sédimentaire. Certaines bordent de part et d'autre la dayet Afourgagh, grand ouvala avec des contours multilobés. D'autres sont observées sur les photographies aériennes du bassin.

Ces nombreuses données et aussi la fracturation intense du substrat et des formations superficielles permettant une étude statistique (Fig. 5), demandent une explication cohérente dans un contexte régional. De ce fait, une étude morpho-structurale, basée sur les relations entre les principales directions de fracturation des roches et la forme du relief avoisinant, a été menée. Cette étude constitue un moyen pour proposer un schéma structural argumenté à partir de ces nombreuses observations (FREYTET & al., 1986).

La méthode suivie consiste à mesurer les directions des fractures dans les formations superficielles plio-qua-

ternaires et les dolomies et calcaires du Lias et à porter les rosaces des directions de mesures de chaque station sur la carte orographique du bassin, en premier lieu. En deuxième lieu, des failles sont tracées au voisinage de chaque station parallèlement à la direction prépondérante et aux courbes de niveau. Cependant, lorsque les courbes de niveau changent de direction d'autres failles suivant une direction d'ordre secondaire, exprimées sur le rosace ou observées sur le terrain et/ou les photographies aériennes, sont tracées. Dans les cas impossibles, des failles supposées sont tracées suivant les ruptures de pente ou reliant les reliefs positifs (buttes) et négatifs (dépressions) lorsqu'ils sont alignés.

Les résultats obtenus montrent que la dayet Afourgagh (a et b, Fig. 6) fait partie d'une zone déprimée

entre la faille de Tizin'tretten et son homologue à l'Est. Cette zone est bordée de failles normales de direction comprise entre  $N140^\circ$  et  $N160^\circ$ . Dans le bassin, d'autres failles de direction  $N00-20^\circ$ ,  $N40-60^\circ$  et  $N80-100^\circ$  existent (Fig. 5) et correspondent respectivement aux fractures R, P et R' du système de RIEDEL dans un décrochement sénestre. Les failles de direction  $N140^\circ$  à  $N160^\circ$  qui bordent la zone déprimée où se situe la dayet, sont de type T (Fig. 6).

Toutes ces failles affectent principalement les formations superficielles (dépôts de cônes alluviaux et lacustres) liées à la terrasse lacustre.

A partir de cette analyse morpho-structurale de la dernière phase tectonique engendrant la dayet Afourgagh, les failles normales subméridiennes seraient

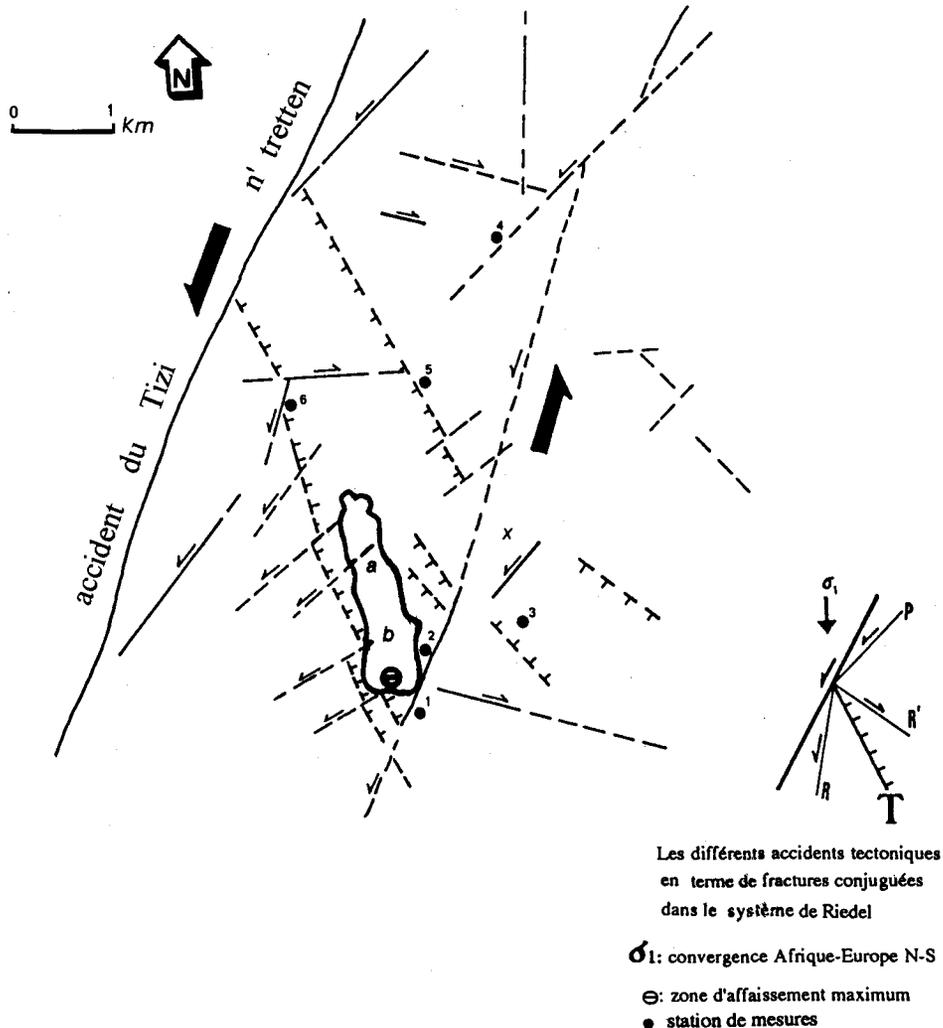


Figure 6 : Schéma morphostructural du bassin de la dayet Afourgagh.

des failles de distension localisée induites par le rejeu décrochant sénestre de l'accident de Tizin'tretien, dans un régime tectonique compressif.

La zone à plissement d'entraînement dans les dolomies serait la conséquence des rejeux décrochants sénestres antérieurs aux deux dernières phases sédimentaires de la terrasse lacustre et la dayet. Le grand bassin lacustre de la terrasse de forme losangique et de direction subméridienne, peut correspondre à une ancienne extension dans le même régime tectonique mais avec une assez grande vigueur.

Le premier bassin lacustre où se sont déposés les cal-

caires de l'ouvala correspond à une zone affaissée d'extension étroite. Ce bassin a probablement pris naissance suite à un rejeu décrochant sénestre de faible vigueur de l'accident de Tizin'tretien.

Trois rejeux tectoniques de l'accident de Tizin'tretien ont été mis en évidence. Ils se sont exprimés par des failles ayant affecté le substrat et/ou les formations superficielles et donné chacun naissance à un bassin sédimentaire. La dimension de chaque bassin est étroitement liée à l'ampleur du rejeu de l'accident de Tizin'tretien en décrochement. Le deuxième rejeu apparaît le plus intense.

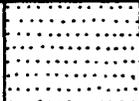
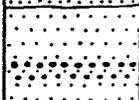
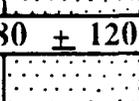
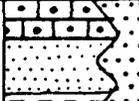
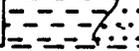
Repères chronologiques	Bassin de la dayet Afourgagh			localisation
	faciès			
Holocène	silts et sables		terme supérieur	dayet (3)
	silts sableux		terme inférieur	
Pléistocène supérieur	et graviers		10180 ± 120 B.P	
	?		?	
	calcaires silts et sables jaunâtres		conglomérats des cônes alluviaux	terrasse lacustre (2)
	silts et argiles rougeâtres		?	?
Pléistocène moyen et inférieur	?		?	
	calcaires		conglomérats des cônes alluviaux	ouvala (1)
Pliocène	?		?	

Figure 7 : Log synthétique des différentes formations sédimentaires du bassin de la dayet Afourgagh.

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Le remplissage sédimentaire du bassin de la dayet Afourgagh se répartit en trois formations fluvio-lacustres emboîtées et chronologiquement successives. Il est à dominante) détritique et présente deux termes calcaires et deux hiatus sédimentaires (Fig. 7). La dernière formation détritique de la dayet s'est mise en place pendant la fin du Pléistocène supérieur et l'Holocène. Les calcaires lacustres sont mis en place sous un climat méditerranéen à subtropical, chaud à saisons contrastées humides et sèches (MILLOT, 1967). L'humidité était nécessaire pour la solubilisation des carbonates au sein des sols et substrat. Les périodes sèches ont engendré l'abaissement périodique du niveau d'eau exprimé par la variété des faciès sédimentaires des calcaires lacustres de l'ouvala. On ne peut pas préciser à quelles périodes du Pliocène ou Pléistocène ancien à moyen ces conditions ont régné. Après une période non enregistrée dans la sédimentation, les dépôts rougeâtres (argiles et silts) de la base de la terrasse lacustre traduisent l'érosion des sols rouges sur les versants. Ces sols ont été formés antérieurement sous un climat probablement assez chaud et humide avec un couvert végétal. L'érosion de ces sols marque l'accroissement de l'aridité ayant éclairci la végétation. Cet état s'est poursuivi et peut être s'est aggravé à la fin du Pléistocène supérieur et pendant l'Holocène. Les calcaires anté-holocènes de la terrasse lacustre peuvent être le résultat des conditions lacustres locales, maintenues par les couches fines imperméables sous-jacentes, sous un climat relativement aride.

Les conditions climatiques actuelles et les périodes humides du Quaternaire (MARTIN, 1981) favorables à la dissolution des carbonates n'expliquent pas, à elles-seules, l'abondance des formes karstiques dans le bassin de la dayet Afourgagh. Cependant, l'intense fracturation et le broyage des dolomies sous l'effet de la tectonique et la circulation des eaux souterraines à action mécanique prépondérante peuvent être la cause principale favorisant la karstogenèse dans ce bassin. En effet, les résultats obtenus par analyses statistiques des directions d'alignements des formes karstiques et des directions de fractures, représentées sous forme de rosaces de fréquence, présentent une analogie frappante dans plusieurs secteurs de directions. Ces secteurs sont notamment : N140° à N160° ; N00° à N20° et N80° à N100° qui correspondent respectivement aux fractures P, R et R' du système

de RIEDEL (Fig. 4 et 5). Les directions N20° à N60° d'allongements des formes karstiques ne peuvent indiquer que l'orientation de la faille principale de Tizin'tretten (N20° à N40°) et peut être les fractures de type P. La concordance entre les directions d'alignements et d'allongements des formes karstiques dans le secteur N140° à N180° montre l'importance de l'influence des fractures T sur la karstogenèse par rapport aux autres fractures du système de RIEDEL. De ce fait la néotectonique apparaît comme un facteur générateur des formes karstiques dans un environnement dolomitique, sans oublier les phénomènes hydrologiques. Cette dernière phase karstique analysée serait antérieure à l'Holocène et pourrait correspondre à celle du Soltanien dans la région de Safi signalée par WEISROCK & LUNSK (1987), mais de grande vigueur vue l'influence de la tectonique, de l'altitude et de la latitude.

Dans le Moyen Atlas des rejeux néotectoniques de l'accident de Tizin'tretten (N40°) qui passe dans le bassin de la dayet Afourgagh ont été signalés dans plusieurs travaux (MARTIN, 1981 ; HARMAND & MOUKADIRI, 1986 ; CHARRIERE, 1990). Dans le bassin de la dayet Afourgagh, l'activité néotectonique a été enregistrée principalement dans les dépôts fluvio-lacustres relatifs à l'ouvala et à la terrasse lacustre. Elle s'échelonne en trois phases intensément liées à l'accident de Tizin'tretten qui a rejoué en décrochement sénestre. Elle s'accompagne de jeux en failles normales et en décrochements dextres ou sénestres de failles secondaires ayant des directions obliques (fractures de RIEDEL). Cette fracturation a déterminé des dépressions de forme losangique avec une composante verticale totale de l'ordre de 200 à 300 m. Il semble donc que l'évolution morphologique du bassin ait été plutôt marquée par la tectonique dans les épisodes anciens et que la part de la karstogenèse ait augmentée avec le temps.

Dans le contexte régional, les résultats obtenus sont compatibles avec ceux obtenus par AIT BRAHIM & CHOTIN (1984) et HARMAND & MOUKADIRI (1986) et les données sismiques (HATZFELD & al., 1977). Cependant, ils constituent une première approche en trois phases tectono-karstiques et sédimentologiques pendant le Plio-quaternaire. Ce régime tectonique est en accord avec la direction du raccourcissement dû à la convergence Europe-Afrique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIT BRAHIM L. et CHOTIN P. (1984). - Mise en évidence d'un changement de direction de compression dans l'avant-pays rifain (Maroc) au cours du Tertiaire et du Quaternaire. *Bull. Soc. géol. France*, 61, pp. 915-942.
- AIT BRAHIM L., CHOTIN P., ROSANOV M., RAMDANI M. et TADILI B. (1987). - Précision du schéma sismotectonique du Maroc : relations entre les structures néotectoniques méridiennes et la répartition de la séismicité au Maroc nord. *Bull. Sc. Terre*, Rabat, n° 3, pp. 39-53.
- AUBOUIN J., BROUSSE R. et LEHMAN J.P. (1975). - *Pétrologie*. Bordas, Paris. Précis de Géologie 1, 717p.
- BAALI A. (1990). - *Evolution tectono-karstique et sédimentologique du bassin des dayets Afourgagh et Agoulmam (Moyen Atlas, Maroc)*. Diplôme de spécialité de 3ème cycle, Fac. Sci. Dhar El Mehraz, Fès.
- BAALI A., GOURARI L. et FEDAN B. (1996). - Types et processus de mise en place des cônes de déjection dans le bassin de la dayet Afourgagh (Moyen Atlas, Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 20, pp. 47-57.
- CASANOVA J. (1987). - Limnologie des stromatolites en milieu continental (transition eaux douces -eaux salées). *Trav. du CERLAT*, 1, pp. 145 -164.
- CHARRIERE A. (1990). - *Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intracontinentale : le Moyen Atlas au Sud-est de Fès (Maroc)*. Thèse Doc. Etat, Toulouse-III, 589p.
- COLO G. (1961). - Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mém. du Service géologique, Maroc*, N° 139, 226p.
- DUCHAUFOR P. et SOUCHIER B. (1977). - *Pédologie I : pédologénèse et classification*. Masson, Paris, 477p.
- FEDAN B. (1988). - *Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements: le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque*. Thèse Sc., Rabat, 338p.
- FLOWER R.J., DEARING J.A. et NAWAS R. (1984). - Sediment supply and accumulation in a small Moroccan lake: an historical perspective. *Hydrobiol.*, 112, pp. 81-92.
- FLOWER R.J., STEVENSON A.C., DEARING J. A., FOSTER I. L., AIREY A., RIPPEY B., WILSON J.P.F. et APPLEBY P.G. (1989). - Catchment disturbance inferred from paleolimnological studies of three contrasted sub-humid environments in morocco. *Journal of Paleolimnology*, 1: pp. 293-322.
- FOSTER I.D.L., DEARING J. A., AIREY A., FLOWER R.J. et RIPPEY B. (1986). - Sediment sources in a Moroccan lake-catchment: a case study using magnetic measurements. *J. Water Resources*, 5, pp. 320-334.
- FREYTET P. et MOISSENET E. (1983). - Présence de restes algaires identifiables dans des croûtes calcaires plio-quaternaires du NE de l'Espagne. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 296, série II, pp.1563-1566.
- FREYTET P. (1984). - Les sédiments lacustres carbonatés et leurs transformations par émergence et pédogénèse. Importance de leur identification pour les reconstitutions paléogéographiques. *Bull. Centres. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 8, 1, pp.223-247, Pau, France.
- FREYTET P., LEROUGE G., LORENZ C. et LORENZ J. (1986). - Intérêt de l'étude pluridisciplinaire d'une région : stratigraphie, géologie structurale, géomorphologie, néotectonique, tétédétection du Sud du bassin de Paris. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*. Vol. 23, N° 2, pp. 3-15.
- FRIEDMAN G.M. et SANDERS J.E. (1978). - *Principles of sedimentology*. John Wiley et Sons New York.
- HARMAND C. et MOUKADIRI A. (1986). - Synchronisme entre tectonique compressive et volcanisme alcalin : exemple de la province quaternaire du Moyen Atlas (Maroc). *Bull. Soc. géol. France*, (8), t.II, n°4, pp. 595-603.
- HATZFELD D. et BENSARI D. (1977). - Grands profils sismiques dans la région de l'arc de Gibraltar. *Bull. Soc. géol. France*, (7), t.XIX, n° 4, pp. 749-756.
- HERAK M. (1990). - Geotectonics, Karst Morphology, and Environmental Problems. *Environ. Geol. Water. Sci.*, Vol. 15, N° 1, pp. 59-60.
- MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT, DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE (1981). - *Inventaire speleologique du Maroc*. Rabat, 233p.
- JOHNSON S. B. et STIEGLITZ R. D. (1990). - Karst futures of a glaciated dolomite peninsula, Door County, Wisconsin. *Geomorphology*, 4, pp. 37-54.
- KAEMMERER M. et REVEL J.C. (1989). - Signification des précipitations d'origine biologique de fer et de manganèse dans les alluvions quaternaires du Sebou (Maroc). *Bulletin de l'A.F.E.Q.*, 40, 4, 213-218.
- LAMB H. F. , EICHER U. et SWITSUR V. R. (1989). - An 18.000 year record of vegetation, lake-level and climatic change from Tigalmamine, Middle Atlas, Morocco. *Journal of Biogeography*. 16, pp. 65-74.
- MARTIN J. (1981). - Le Moyen Atlas central. Etude géomorphologique. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*. n°258 bis; 445p.
- MENILLET F. (1974). - *Etude pétrographique et sédimentologique des calcaires d'Etampes et de Beauce. Formation dulçaquicoles du Stampien supérieur à l'Aquitainien dans le bassin de Paris*. Thèse de 3ème cycle, Paris.
- MILLOT G. (1967). - Signification des études récentes sur les roches argileuses dans l'interprétation des séries sédimentaires. *Sedimentology*, 8, pp. 259-280.
- NEMEC W. et STEEL R.J. (1988). - *What is a fan delta and how do we recognize it ? in Fan deltas: sedimentology and tectonic setting*. Nemece et Steel eds, Blackie and Son.
- NICOD J. (1972). - *Pays et paysages du calcaire*. PUF, Paris, 244p.
- PEDRO G. (1979). - Les conditions de formation des constituants secondaires. In: *Pédologie 2, Constituants et propriétés du sol*, (M. Bonneau, B. Souchier. éd.), Masson, Paris, pp. 58-72.

- PLAZIAT J.C., FREYTET P. et MAREC P. (1987). - Sédimentation molassique et paléopédogenèse en Languedoc. 81p : in Association des Sédimentologues Français.
- REILLE M. (1976). - Analyse pollinique de sédiments post-glaciaires dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas marocains: premiers résultats. *Ecol. Méditer.* 2: pp. 153-167.
- REINECK H.E. et SINGH I.B. (1986). - *Depositional sedimentary environments*. Springer Verlag, New-York. 549p.
- RIPPEY B. (1982). - Sedimentology record of rain fall variations in sub-humid lake. *Nature*, 296, pp.434-436.
- STURM M. et MATTER A. (1978). - Turbidites and varves in lake Brienz (Switzerland): deposition of clastic detritus by density currents. *Spec. Pub. Int. Ass. Sediment.*, 2, pp. 147-168.
- THRAILKILL J. (1977). - Relative solubility of limestones and dolomite. In : Tolson and F. Doyle (Editors), *Karst Hydrogeology : Proc. 12th Int. Congr. (International Association of Hydrogeologists)*, Huntsville, Alabama, Mémoire, 12 Univ. of Alabama Press.
- VIALON P., RUHLAND M. et GROLIER J. (1991). - *Eléments de tectonique analytique*. Edit. Masson, Paris, 118p.
- VOGT T. (1984). - Problèmes de genèse des croûtes calcaires quaternaires. *Bull. Centre of Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine* 8,1, pp. 209-226, Pau, France.
- WEISROCK A. et LUNSKI S. (1987). - Le karst post-pliocène de la région de Safi (Maroc atlantique). *Karstologia*, N° 9, 1er semestre, pp. 31-36.

**Adresses des auteurs :**

Abdenasser BAALI

Université Mohamed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences. Département de Géologie  
Dhar El Mehrz B.P. 1796 - Atlas - FES - Maroc

Bouazza FEDAN

Université Mohamed V - Agdal  
Institut Scientifique. Département de Géologie  
B.P. 703 - Rabat-Agdal - Maroc