

Die fazielle und paläogeographische Entwicklung der infrakambrischen bis ordovizischen Sedimente im Mittleren Antiatlas um Agdz (S-Marokko)

VON WERNER BUGGISCH, Darmstadt, CLEMENS MARZELA, Berlin, und PHIL HÜGEL, Darmstadt *)

Mit 21 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Die Entwicklung des Adoudounien (Infrakambrium) und Géorgien (Unterkambrium) ist im Mittleren Antiatlas durch einen Wechsel von marinen und kontinentalen Sedimenten gekennzeichnet. Wildbachablagerungen an der Basis und an den Beckenrändern werden von marin-marginalen stromatolithischen Karbonaten abgelöst. Ignimbrite belegen wiederholte terrestrische Sedimentation.

Mit fluviatilen Sanden und wiederum Stromatolithen und lagunären Karbonaten (mit ersten Trilobiten!) setzt ein zweiter transgressiver Großzyklus ein, der an der Wende Infra-/Unter-Kambrium einen ersten Höhepunkt erreicht. Durch regressive Kleinzyklen charakterisierte Abfolgen leiten zu Sandsteinen über, die als Ablagerungen eines Deltas gedeutet werden.

Vom Mittelkambrium bis Ordovizium dominiert marine Schelfsedimentation.

Abstract

The formations of Adoudounien (Infra Cambrian) and Géorgien (Lower Cambrian) of the middle Anti-Atlas are characterized by an alternation of marine and continental sediments. Torrent conglomerates at the base and the margins of the basin took turns to marine-marginal stromatolitic carbonates. Ignimbrites prove repeated terrestrial sedimentation.

A second transgressiv megasequence begins with fluviatil sands and goes on with stromatolites and lagoon carbonates (first Trilobites). This transgression reaches his first culmination at the Infra-/Lower-Cambrian boundary. Typical regressive cycles form a transition to sandstones, which are interpreted as sediments of a delta.

Marine shelf environment dominates from Middle Cambrian to Ordovician beds.

Résumé

Dans le moyen Anti-Atlas, l'évolution de l'Adoudounien et du Géorgien est caractérisée par un changement des sédiments marins et continentaux. Les dépôts des torrents à la base et dans la bordure du bassin font place à des carbonates marins marginaux stromatolithiques. Les ignimbrites marquent le retour fréquent à la sédimentation terrestre.

Une deuxième mégaséquence transgressive débute avec des sables fluviatiles, des stromatolithes et des carbonates lagunaires (premiers trilobites). La transgression atteint une première phase culminante à la transition de l'Adoudounien au Géorgien. Des séquences caractérisées par de petits cycles régressifs conduisent à des grès qui pourraient être interprétés comme des sédiments deltaïques.

A partir du Cambrien moyen jusqu'à l'Ordovicien prédomine un milieu de plate-forme externe.

*) Anschrift der Autoren: Dr. W. BUGGISCH, P. HÜGEL, Institut für Geologie und Paläontologie, Technische Hochschule Darmstadt, Schnittspahnstraße 9, D-6100 Darmstadt; C. MARZELA, Institut für Geologie, Freie Universität, 1 Berlin 33, Altensteinerstr. 34 a.

Краткое содержание

В свитах Adoudounien — Инфракембрий — и Géorgien — нижний кембрий — на севере Антиатласа ясно представлена смена морских и материковых осадков. Отложения строматолитных потоков — селя — на основании и по краям бассейна сменяются морскими карбонатами краевых строматолитов.

Второй значительный трансгрессионный цикл, достигший своего кульминационного пункта на рубеже инфракембрий-нижний кембрий, характеризуется флювиальными песками, строматолитами и карбонатами лагун с первыми трилобитами. Незначительные регрессии привели к образованию свит песчаника, которые рассматривают, как отложения дельты.

В этом районе в период от среднего кембрия до ордовика накопление морских осадков идет в условиях шельфа.

Einleitung

Über metamorphem Präkambrium transgredieren im Antiatlas diskordant infrikambrische Klastika, die mit Flachwasserkarbonaten alternieren. Die infra- bis unterkambrischen Sedimente erreichen im W Antiatlas etwa 5 000 m Mächtigkeit und keilen nach E aus. Im Untersuchungsgebiet (Abb. 1) verzahnen sich marine und kontinentale Schichten, die hier zusammen noch etwa 350—800 m mächtig sind. Vom Mittelkambrium bis Ordovizium (Llandeilo) folgen ca. 2 200 m Litoral- und Schelfsedimente. Aufgrund genauer Profilaufnahmen und mikrofazieller und geochemischer Analysen wird die paläogeographische Entwicklung im Raum um Agdz (SE Quarzate) im folgenden dargestellt.

Arbeitsteilung und -methode: MARZELA kartierte die Region des Sattels Bou el Baroud (Infra- bis Unterkambrium, Abb. 1), HÜGEL bearbeitete die mittelkambrische bis ordovizische Schichtenfolge an der N-Flanke des Sattels und in der Mulde des Jebel Kissane — jeweils im Rahmen ihrer Diplomarbeiten unter Anleitung von BUGGISCHE, der auch die Profile in den Arealen I—V (Abb. 1) aufgenommen hat.

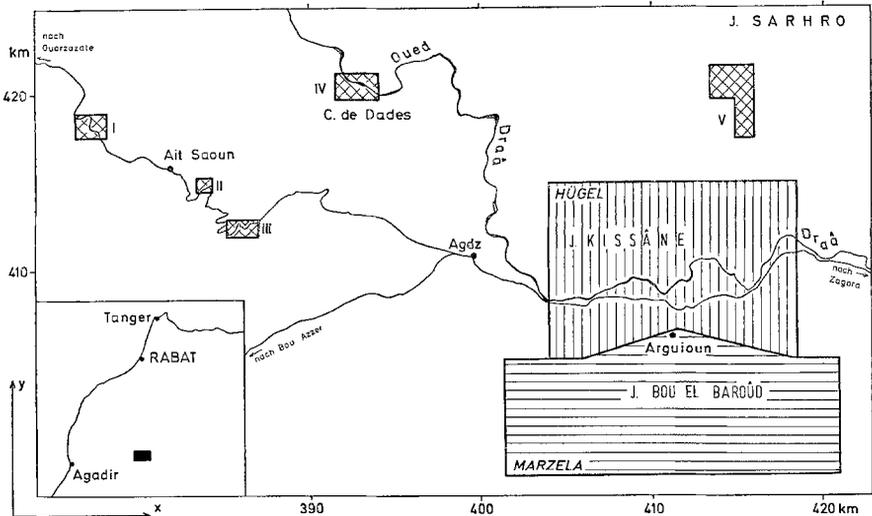


Abb. 1. Lage der Arbeitsgebiete und Profile.

Oréovicien

Acadien-Géorgien

Adouzonien

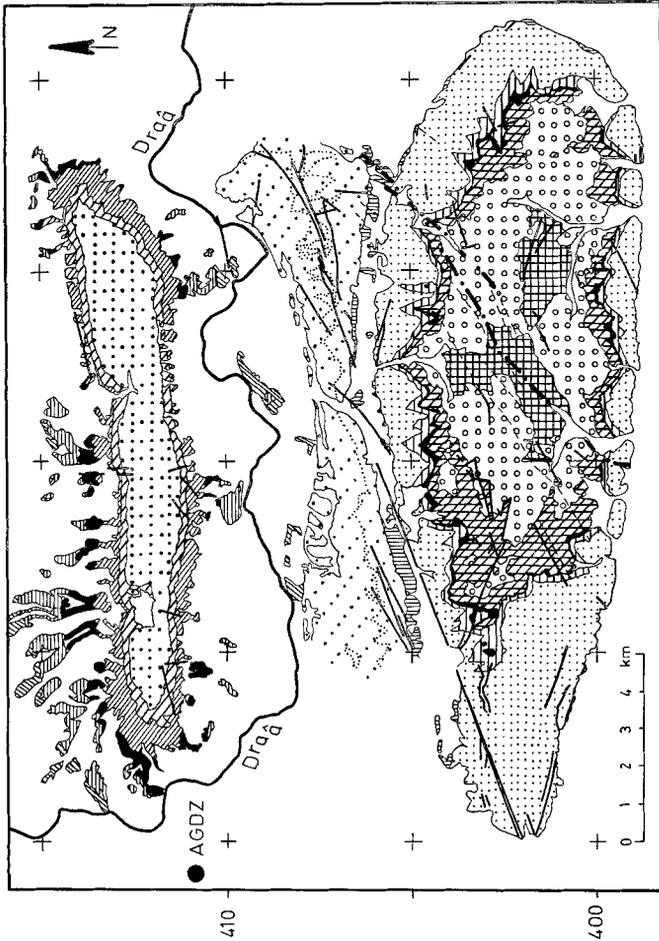
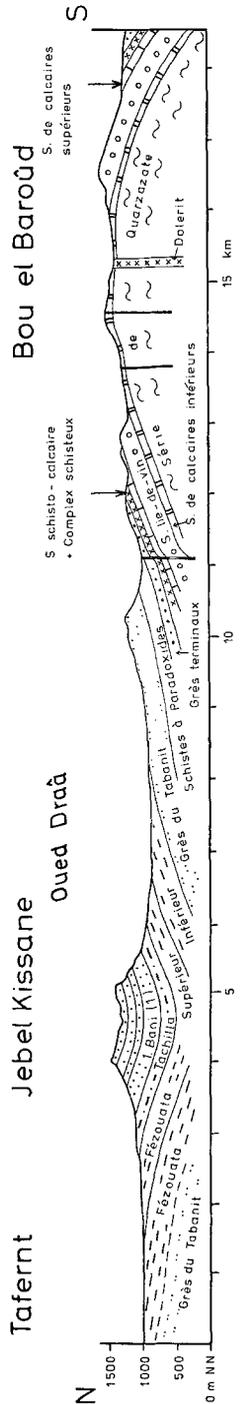


Abb. 2. Geologische Karte des Jebel Bou el Baroûd und des Jebel Kissâne östlich Agdz (AntiAtlas).

Abb. 3. Geologisches Profil durch den Bou el Baroûd und Jebel Kissâne.



Methodisch wurde nach dem von BUGGISCH (1978, Tab. 1) gegebenen Arbeits- und Analysenschema verfahren. Die in Abb. 23 und 29 dargestellten Analysendaten geben jeweils Mittelwerte für mehrere Einzelproben an, die im Profil dicht aufeinanderfolgen.

Geologischer Bau

Das Gebiet des Antiatlases wurde bereits im Präkambrium an den Westafrikanischen Schild angegliedert. Während des Altpaläozoikums wurde dieses Randgebiet häufig überflutet und mit mächtigen Sedimenten eingedeckt (CHOUBERT 1952, 1963). Im Zuge der variszischen Gebirgsbildung kam es zu mehr oder weniger intensiver Faltung des Deckgebirges und zur Aufwölbung des präkambrischen Sockels; Bruchtektonik im Grundgebirge führte zu weitspanniger Verbeulung im Deckgebirge (LEBLANC 1972).

Den größeren Rahmen des bearbeiteten Gebietes bilden die Präkambrium-Aufbrüche des Jebel Sarhro im N und von Bou Azzer — El Graara im SW und S. Dazwischen liegen die Brachyantiklinale des Jebel Bou el Baroûd, in der die Schichten des Präkambriums gerade noch nicht von der Erosion freigelegt sind, so daß die Schichtenfolge vom tiefen Infrakambrium bis zum Mittelkambrium reicht, die breite Talniederung der Draâ (Feija externe) und die anschließende Synklinale des Jebel Kissâne, in deren Kern als jüngstes die Quarzite des I. Bani (Llandeilo) anstehen (Abb. 2, 3). An der N-Flanke dieser Mulde bzw. S-Flanke des Infrakambriumaufbruches des Jebel Sarhro ist die infrakambrische Transgression über dem Präkambrium III erschlossen. Trotz der nur schwachen Deformation der Schichten erreicht die Amplitude der Faltung in dem kartierten Gebiet eine Größenordnung von 2 300 m (Abb. 3, 4).

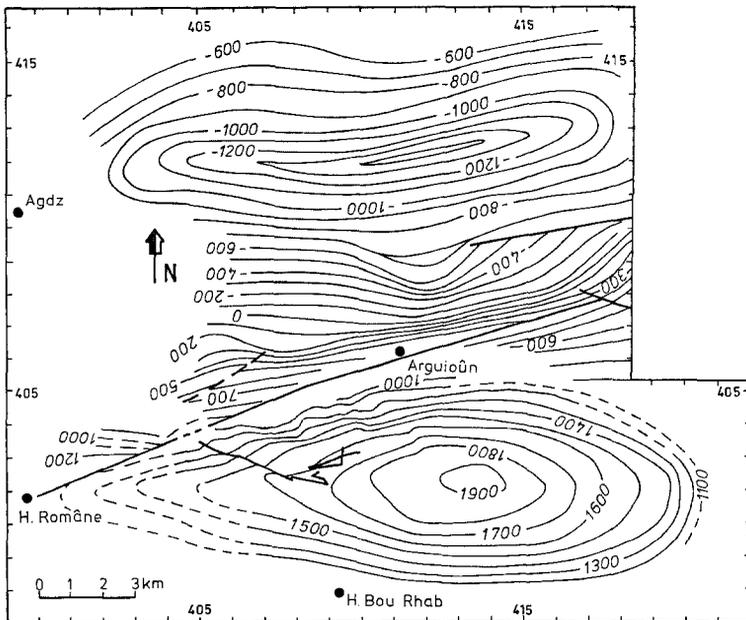


Abb. 4. Tiefenlinienkarte der Grenze Infra-/Unterkambrium (Série des calcaires supérieurs/Calcaires de base).

Stratigraphie

Die von CHOUBERT (1943, 1952 und 1963) und DESTOMBES (1962, 1963 und 1970) vorgelegte lithologische Gliederung konnte in den S-Profilen bestätigt werden (Tab. 1). Weitere mögliche Unterteilungen haben sicher nur lokalen Charakter.

Die Calcaires inférieurs — an der Basis mit Konglomeraten und Tuffen bzw. Tuffiten (= A) — liegen diskordant über den Vulkaniten der Série d'Ouarzazate. In den Profilen am Rande des Jebel Sarhro sind die Karbonate der Calcaires in-

	DESTOMBES 1962, 63, 70 CHOUBERT 1943, 1952, 1963	Gliederung und Mächtigkeit diese Arbeit	
Ashgill	Deuxième Bani	S	N
	Ktaoua supérieur		
Caradoc	Ktaoua inférieur		
Llandeilo	Premier Bani	600 m	
Llanvirn	Tachilla	160	
Arenig	Zini	300	
	Fézouata supérieur		
Tremadoc	Fézouata inférieur	400	
Acadien =Mittelkamb.	Grès du Tabanit	515	
	Schistes à Paradoxides	250	
Géorgien = Unter- Kambrium	Brèche à Micmacca Niveau d'Ourmast	30	20
	Grès terminaux	180	50-40
	Complex schisteux	35	75
	Série schisto-calcaire	40	
	Calcaires de base	20	
Adoudounien =Infra- Kambrium	Série des calcaires supérieurs	105	65
	Série lie-de-vin Grès Tikirt	C 12 B 225 A 50	100-60
	Série des calcaires inférieurs	B 110m	90 m
	Série de base	A ?	
Präkambrium	Série d'Ouarzazate		

Tabelle 1. Stratigraphische Gliederung des Infrakambrium bis Ordovizium im AntiAtlas.

férieurs (= B) durch Klastite ersetzt, so daß eine Abgrenzung gegen die folgende Serie nur ungefähr angegeben werden kann.

Die Série lie-de-vin konnte im S dreigeteilt werden: (A) in eine Ton/Silt-Abfolge, (B) in mächtige Sandsteine — die Grès Tikirt — und (C) wiederum tonig-siltige Sedimente.

Die darauffolgenden Calcaires supérieurs sind im ganzen Untersuchungsgebiet mit nur noch geringen Mächtigkeitsdifferenzierungen verbreitet. Über einer scharfen Grenze folgen im S schwarze bituminöse Kalke — die Calcaires de base —, dagegen ist diese Grenzziehung im N nicht so eindeutig möglich.

Wechselfolgen von Mergeln, Ton/Siltsteinen und Dolomiten (Série schisto-calcaire) und von Ton- und Siltsteinen (Complex schisteux) leiten zu den mächtigen Sandschüttungen der Grès terminaux über. Diese Feinsandsteinserie mit einer konglomeratführenden Zone am Top wird von feinkörnigen Klastika des Niveau d'Ourmast abgelöst, in dessen höherem Teil weit verbreitete Kalke, die Brèche à Micmacca, eingeschaltet sind.

Tribolitenführende, talbildende (Feija interne) Tonsteine, die Schistes à Paradoxides — durch Farbzonierungen weiter unterteilbar — und die kammbildenden, in 5 überwiegend quarzitisch feinsandige Partien und 4 Silt/Feinsandstein Wechselfolgen gegliederten Grès du Tabanit (= kleiner Bani) folgen.

Die weiten Niederungen der Draâ (Feija externe) werden von den Tonsteinen der Fézouata inférieur und supérieur eingenommen, die sich im E des Arbeitsgebietes durch eine Fe-schüssige Zone, im übrigen durch einen, von der Ferne gesehen, scharfen, aus der Nähe jedoch undeutlichen Farbumschlag von bläulich-grün nach gelbgrün gegeneinander abgrenzen lassen. Sandsteine und Quarzite der Zini-Formation, die zeitlich mit dem Amorikanischen Quarzit verglichen werden kann (DESTOMBES 1971), fehlen bzw. werden durch die Tonsteine der Fézouata supérieur vertreten.

Eine Fe-schüssige Zone markiert den Beginn der Ton- und Siltsteine der Tachilla, die von quarzitischem Silt/Sandsteinen des I. Bani überlagert werden. Die Quarzite des I. Bani sind in der Region Agdz — Zagora das morphologisch beherrschende Element. Zwei 60 und 110 m mächtige Quarziteinschaltungen in den unreinen Silt/Feinsandsteinen erlauben eine weitere Unterteilung des Schichtkomplexes in 4 Einheiten, deren oberste als jüngstes paläozoisches Schichtglied des Arbeitsgebietes den Doppelkamm des Jebel Kissâne bildet.

Faunen und Floren wurden im tieferen Abschnitt des Adoudounien (Calcaires inférieurs) — außer den gesteinsbildenden Stromatolithen — nicht gefunden. Biostratigraphisch wird die Grenze der hier konkordanten Abfolge des Adoudounien (Infrakambrium) und des Géorgien (Unterkambrium) mit dem Einsatz der ersten Archaeocyathinen und Trilobiten gezogen. Diese Grenzziehung ist stark umstritten (PRUVOST 1951, CHOUBERT 1952 und 1958, HUPÉ 1952, 1958 und 1960, CHOUBERT & DEBRENNE 1964, DAILY 1972, BOUDDA & CHOUBERT 1972, CHOUBERT et al. 1973); nach CHOUBERT (1963) sollte das Unterkambrium mit den Calcaires de base einsetzen, in denen Trilobiten im Dünnschliff häufig beobachtet werden können. Neue Trilobitenfunde in älteren Serien (Calcaires supérieurs) entfachen die Diskussion aber immer wieder aufs neue.

Die Schichten des mittleren Géorgien (Série schisto-calcaire und Complex schisteux) können nach HUPÉ (1952) weiter in sechs Trilobitenzonen gegliedert werden.

Die Grenze zum Mittelkambrium (Acadien) liegt in Tonsteinen wenige m über der Brèche à Micmacca und wird dort gezogen, wo Paradoxides (*Acadoparadoxides*) zum ersten Mal, vergesellschaftet mit den letzten Protolenidae, auftritt.

Die Grès du Tabanit werden nach dem Auftreten von Trilobiten und Brachiopoden auch Grès à Conocoryphe und Grès à Lingula genannt. Mit dem Fund von *Bailiella levyi* konnte HINDERMEYER (aus CHOUBERT 1963) unteres Mittelkambrium bis in die höchsten Partien der Grès du Tabanit nachweisen.

Zwischen sicher nachgewiesenem unterem Mittelkambrium und durch *Diclytonema flabelliforme* belegtem mittlerem Tremadoc (DESTOMBES & WILLEFERT 1959) liegen einige Zehnermeter bisher nicht mit Fossilien einstuftbarer Sand- und Siltsteine. Ob sich in dieser konkordanten Abfolge ein kondensiertes Profil des höheren Mittelkambriums bis tieferen Ordovizium dokumentiert oder ob eine weitgehende Regression und erneute Ingression über das Gebiet hinwegging, ohne sedimentologisch nachweisbare Merkmale zu hinterlassen, kann in dem kleinen bearbeiteten Beobachtungsraum nicht geklärt werden. Nach DESTOMBES (frdl. mündl. Mitteilung) belegt die großräumige Kartenaufnahme, daß das Dach der Grès du Tabanit durch die Meeresstransgression im Tremadoc sukzessiv gekappt worden ist.

Die Schichten des Ordovizium wurden von DESTOMBES nach dem in Tab. 1 gegebenen Schema gegliedert und mit Trilobiten und Graptolithen datiert. Das von uns aufgesammelte Fossilmaterial wurde Herrn Destombes (Rabat) überlassen. Graptolithenfragmente aus Tonsteinen etwa 40—10 m unter der Obergrenze des Fézouata supérieur, die von Frau Willefert freundlicherweise als *Tetragraptus* vel *Didymograptus* sp. bestimmt wurden, sprechen für eine Einstufung in das mittlere Arenig und bestätigen die bestehende Gliederung.

Diskordant durch den Faltenbau schlägt ein wenige m bis 120 m mächtiger Dolerit, der zu dem großen dyke de dolérite gehört, der fast den ganzen Antiatlas quert und vom Jebel Sarhro nach Fom Zouid und weiter nach SW reicht. Nach K/Ar-Bestimmungen (LEBLANC 1973) ergibt sich ein Alter von 160 ± 10 Mio. Jahren, also etwa mittlerer Jura. Aus plattentektonischer Sicht (KANES et al. 1973 und HURLEY et al. 1974) könnte die Doleritintrusion in Dehnungsspalten mit der Öffnung des Atlantiks im Zusammenhang stehen. An den Dolerit gebundene Vererzungen sollen in einer anderen Arbeit behandelt werden (MARZELA & TUFAR, in Vorbereitung).

Dezimeter bis 2 m mächtige Barytgänge enthalten im Mittel ca. 7 000 ppm Sr^{++} (1,5 % $SrSO_4$). Diese für Gangbaryte recht niedrigen Werte deuten auf telethermale Ausscheidung hin.

Die Faziesentwicklung in der Zeit Adoudounien

Die Schichtenfolge des Adoudounien (Série des calcaires inférieurs A) beginnt mit schlecht aufgearbeiteten Konglomeraten aus vulkanischen Komponenten, mit roten — z. T. verschweißten — lithischen Tuffen, seltener Glastuffen, mit Lapillituffen und Tuffiten.

Die klastischen und pyroklastischen Komponenten stammen aus andesitischen bis rhyolitischen Schmelzen (vulkanische Gläser, Hochquarze mit Resorptionsschläuchen, Orthoklase, Plagioklase mit An-Gehalten < 50 %).

Aufsätze

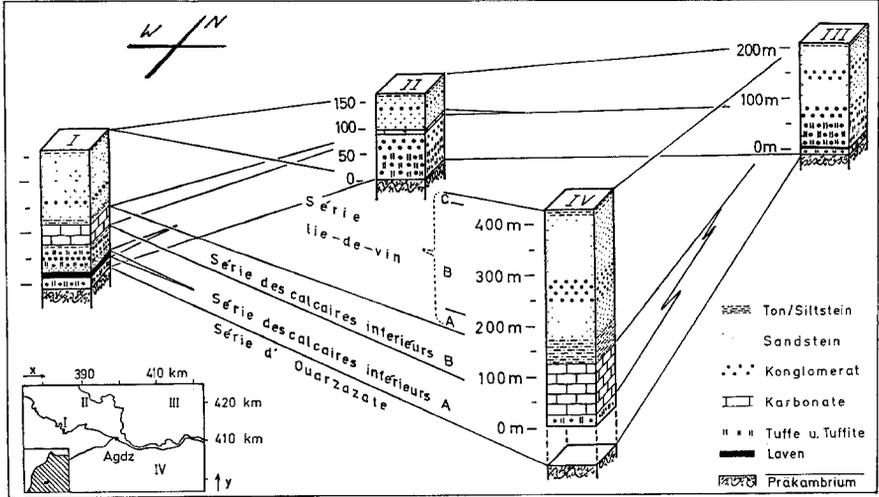


Abb. 5. Profilsäulen vom Präkambrium bis zu den Schichten der Série lie-de-vin um Agdz.

Auch die Zusammensetzung der Schwermineralfraktion mit fast ausschließlich idiomorphen bis angerundeten Zirkonen neben Apatit und sehr viel Erz fügt sich in dieses Bild ein. Die Tuffite können gradiert oder schräggeschichtet sein und im cm-Bereich mit Ton/Siltlagen wechseln. Vereinzelt werden Tongerölle und Ripfelmarken beobachtet.

In diese basalen Klastite sind in den Profilen S Jebel Sarhro 7 m mächtige andesitische Laven und bei Ait Saoun 18 m dichte, z. T. blasenreiche Andesite mit angedeuteter Pillow-Ausbildung eingeschaltet.

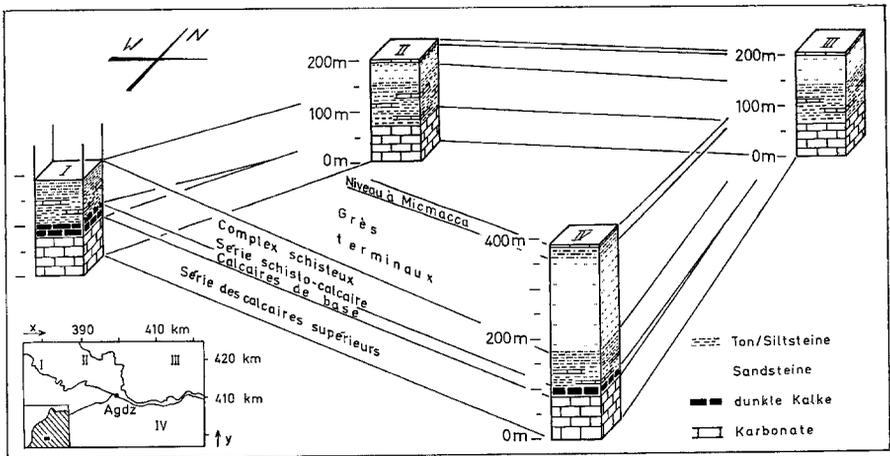


Abb. 6. Profilsäulen von der Série des calcaires supérieurs bis zu den Grès terminaux.

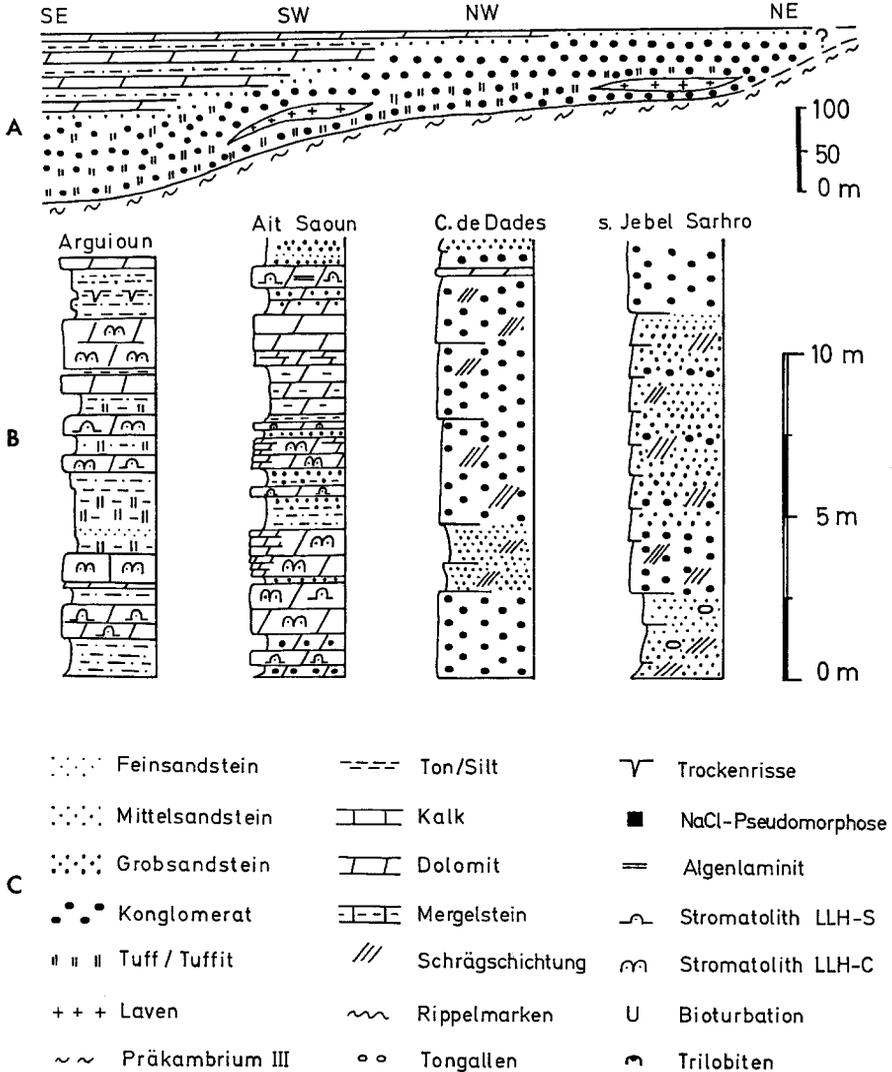


Abb. 7. (A) Schematischer Fazieschnitt durch die Schichten der Série des calcaires inférieurs (ca. 100fach überhöht). (B) Detailausschnitte aus den Calcaires inférieurs B. (C) Legende (auch für Abb. 9, 10, 13, 15 u. 17).

Die Série des calcaires inférieurs B beginnt im Profil Arguioun mit einer roten Wechselfolge aus stromatolithischen Dolomiten mit Tuffiten. Rote und grüne Tuffe, z. T. verschweißt, und Tuffite schließen sich an. Auf diese fast rein pyroklastische Serie folgen schließlich graue und rötliche Stromatolithe im Wechsel mit Tuffiten und Ton/Siltsteinen, in denen Flaserschichtung vereinzelt Tongallen und Trockenrisse beobachtet werden. Außer in den plagioklasführenden überwie-

gend pyroklastischen Sedimenten dominieren Orthoklase unter den Feldspäten. Die Schwermineralfraktion wird neben viel Erz überwiegend aus Zirkonen — selten idiomorph, oft angerundet oder gut gerundet — und im tieferen Profilabschnitt häufig aus idiomorphen, authigenen Turmalinen aufgebaut.

Die Karbonate bestehen überwiegend aus dolomitisierten, sparitischen bis mikrosparitischen „laminated boundstones“ (Stromatolithe). Die Dolomite enthalten — bankweise unterschiedlich — einen geringen Ca-Überschuß ($Ca_{54-60}Mg_{46-40}$). Dies ist ebenso wie die Erhaltung von Strukturen als Hinweis auf mindestens teilweise frühdiagenetische Dolomitisierung zu werten. Die Laminierung der Stromatolithe ist auf drei Ursachen zurückzuführen:

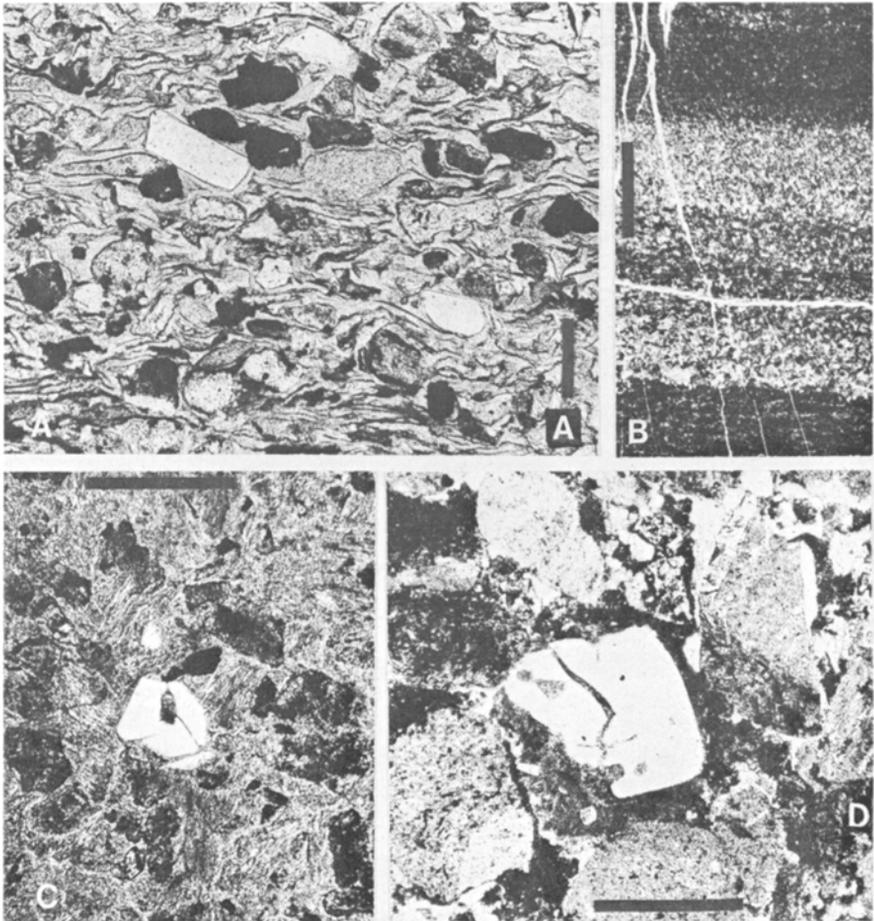


Abb. 8. Typische Gesteine der Série des calcaires inférieurs A: Verschweißte, glasige Tuffe mit Feldspat (A) und resorbierten Quarzen (C) als Einsprenglinge. Grადierter Tuff zwischen Ton/Siltsteinen (B) und tuffitisches Konglomerat aus vulkanischen Komponenten (D). Maßstab: Balkenlänge für A = 0,1 mm; für B, C und D = 1 mm.

- 1) Ein Wechsel von Dolomikrospariten bis -mikriten mit Dolospariten zeichnet primäre Wachstumsgefüge nach.
- 2) Unterschiedliche Mengen von terrigenen bzw. vulkanogenen Komponenten werden durch die Karbonatlagen gebunden.
- 3) Fenstergefüge sind lagig angeordnet.

Die Fenstergefüge sind selten mit mikrostalaktischem Kalkfaserzement (?), häufig mit frühdiagenetischem Chalzedon und mit einem drusigen Kalzit B oder Quarz zementiert. Die starke Silifizierung (cherts, Quarz in den Intergranularräumen) wird vermutlich durch ein hohes SiO_2 -Angebot aus vulkanischen Gläsern begünstigt.

Unter den Stromatolithen werden ebene und konvexe Formen beobachtet, die sensu LOGAN et al. (1964) überwiegend als LLH-Typen (lateral linked hemispheroids; — S Untertyp = spaced, — C Untertyp = close) anzusprechen sind. Der Radius der einzelnen Kuppelquerschnitte liegt im Mittel bei 2 bis 10 cm; häufig sind die Kuppeln in einer Richtung gelängt, wobei die Längsachsen der Stromatolithe in der Region des Bou el Baroud eine deutliche ESE-WNW und bei Ait Saoun eine E-W Orientierung zeigen.

Gelegentlich sind Mikrosparite mit Peloiden und Dolintrasparite aus aufgearbeiteten Stromatolithen eingeschaltet.

Nach N keilen die Karbonatbänke der Série des calcaires inférieurs (B) aus und werden faziell von klastischen Sedimenten vertreten, die ohne Hiatus aus den basalen Klastiten hervorgehen. Im Verzahnungsgebiet bei Ait Saoun werden Algenmatten ständig von grobklastischen Schüttungen eingedeckt und überwachsen dann wiederum den Detritus.

Silikoklastite der Série lie-de-vin lösen bei Arguiou die Karbonatsedimentation ab. Rote, ca. 50 m mächtige, an der Basis noch mergelige und flaser-geschichtete Silte und Silt/Feinsand/Grobsand-Wechselfolgen leiten zu den 225 m mächtigen Sandschüttungen der Grès Tikirt über. Diese beginnen mit m-gebankten roten, vorwiegend feinkörnigen Sandsteinen, die für die gesamte Abfolge der Grès Tikirt charakteristisch sind. In die mittelmäßig bis gut sortierten ($So = \sqrt{Q_{75}/Q_{25}} = 1,3$ bis 1,5) Feinsandsteine mit einer mittleren Korngröße um 0,07 mm sind gelegentlich grobsandige Mittelsande und Konglomerate eingeschaltet, die lateral rasch auskeilen.

Die feldspatführenden Sandsteine mit Gesteinsbruchstücken bestehen überwiegend aus aufgearbeiteten sauren Vulkaniten (Quarze mit Resorptionsschläuchen; Mikroklin; Perthit; vulk. Gesteinsbruchstücke, in gröberen Lagen bis 50 %). Röntgendiffraktometeraufnahmen zeigen als Tonmineralien in den Basis- und Top-schichten (Lie-de-vin A und C) neben Serizit und Chlorit auch Kaolinit und Mixed-layer Mineralien. In den Grès Tikirt selbst tritt die Tonfraktion stark zurück. Sie besteht überwiegend aus Serizit und weniger aus Chlorit. Detritische Serizite werden im Dünnschliff untergeordnet, Biotite selten beobachtet.

Neben viel Erz wird die Schwermineralfraktion überwiegend von Zirkon, Rutil, detritischem Turmalin und Chlorit aufgebaut. Vereinzelt kommt im mittleren Teil der Grès Tikirt noch Granat hinzu. Die Zirkone sind im tieferen Profilabschnitt häufig idiomorph, höher meist angerundet bis gut gerundet. Gerundete blaue, braune und grüne Turmaline zeigen oft Anwachssäume aus kleinen farblosen Kristallen.

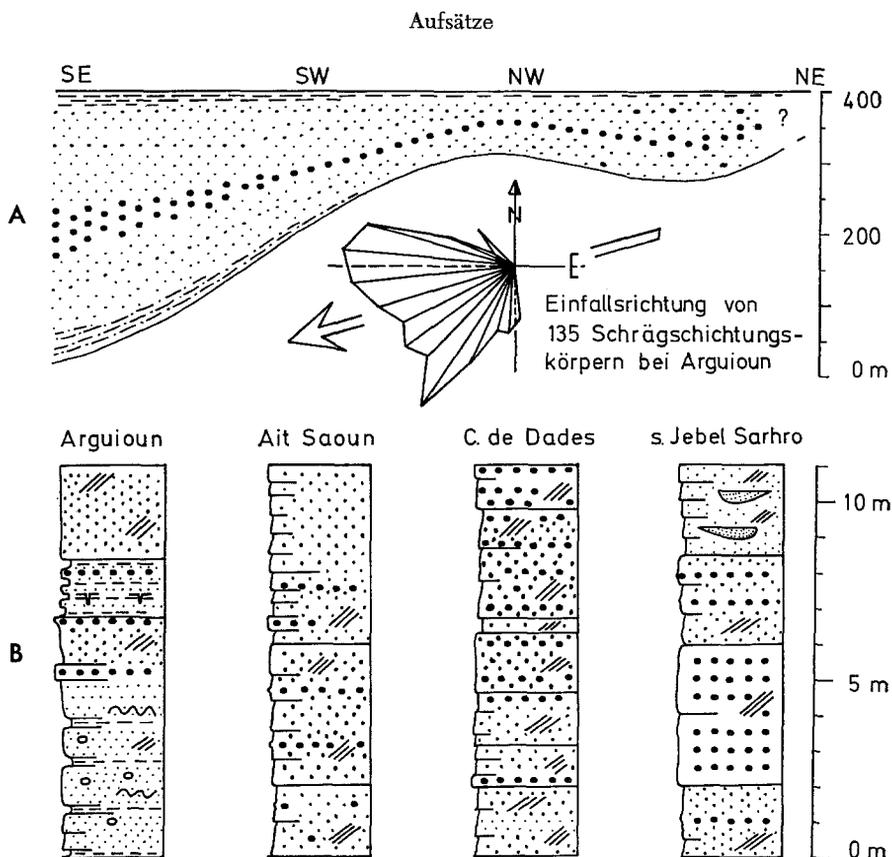


Abb. 9. A: Schematisches Profil durch die Schichten der Série lie-de-vin (ca. 100fach überhöht, Legende siehe Abb. 7.). B: charakteristische Profilausschnitte aus dem mittleren Teil der Grès Tikirt.

Mobilisate aus der Drucklösung haben auch bei Quarzen und Feldspäten zu homoachsialen Zementen geführt und verleihen dem Gestein einen quarzitischen Charakter.

In der gesamten Schichtenfolge werden Trockenrisse und Tongerölle gefunden. Flute- und load-casts sind dagegen auf den unteren Teil der Serie beschränkt. Schrägschichtungskörper fallen generell nach W bis SW ein (Abb. 9). Eine große Formenvielfalt weisen die Rippelmarken auf: symmetrische und asymmetrische Oszillationsrippeln, Strömungsrippeln (?), häufig undulierende Käme, komplexe, z. T. interferierende Rippelsysteme.

Nach N nimmt die Mächtigkeit der Grès Tikirt in den Profilen ab, wobei größere Klastika gegenüber den Feinsandsteinen stärker hervortreten, ohne daß sich der Charakter der Schichtenfolge grundsätzlich ändert.

Wechselfolgen von Ton-, Silt-, Feinsandsteinen und stromatolithischen Karbonaten kennzeichnen die Série des calcaires supérieurs.

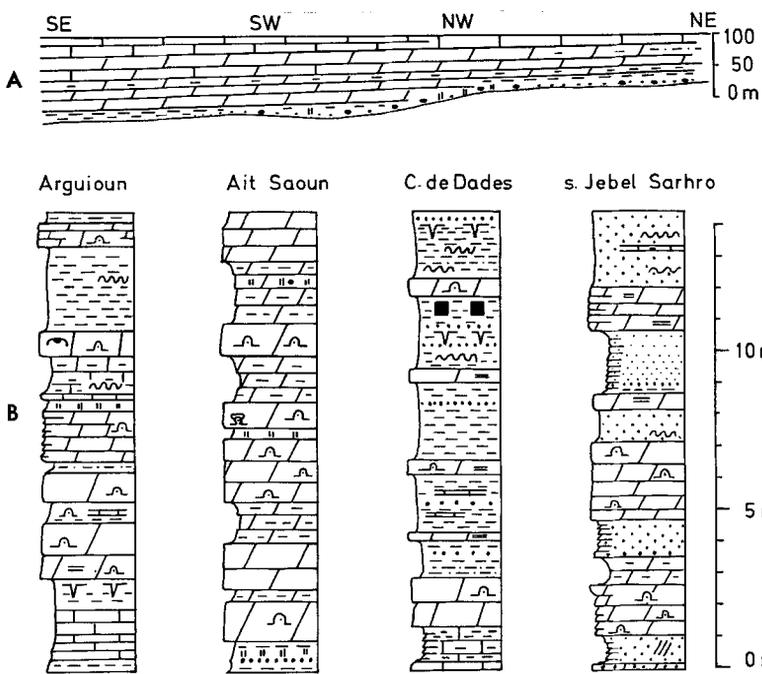


Abb. 10. A: Schematisches Profil durch die Schichten der Série des calcaires supérieurs und der calcaires de base (ca. 100fach überhöht). B: Profilausschnitte aus den calcaires supérieurs. Legende siehe Abb. 7.

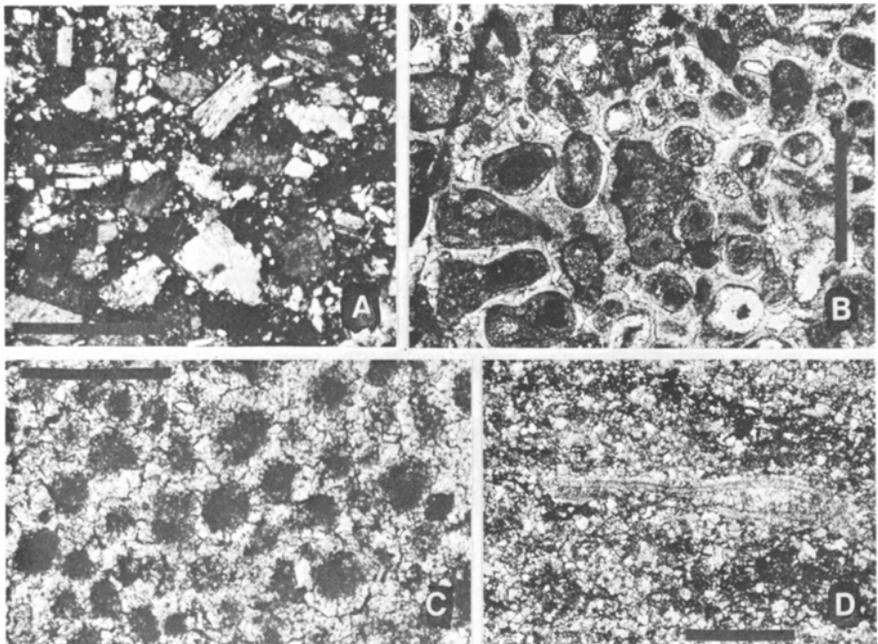


Abb. 11. Typische Sedimente aus der Série des calcaires supérieurs: (A) Kristalltuff (X Pol.); (B) Lumps z. T. umkrustet, und Ooide in Sparit aus Kalkfaserzement und drusigem Zement; (C) Peloid-Dolosparit; (D) Mikrosparit mit Trilobiten! Maßstab: Balkenlänge = 1 mm.

Die Karbonate bestehen im tieferen Teil überwiegend aus früh- bis spätdiagenetischen Dolomiten ($\text{Ca}_{53-55}\text{Mg}_{47-45}$), die bei erhöhter Salinität (Gips- und NaCl-Pseudomorphosen) gebildet worden sind. In mittleren und höheren Profilabschnitten wird zunehmend auch Kalzit gemessen. Unmittelbar unter tribolitenführenden Kalken im höchsten Teil dokumentieren $\text{Ca}_{56-58}\text{Mg}_{44-42}$ Dolomite abnehmende Salinität und erhöhten Meerwasserzufluß.

Unter den Stromatolithen dominieren Laminite und LLH-S-Typen, während LLH-C-Stromatolithe nahezu fehlen. Daneben werden jedoch auch andere, nicht nach dem Schema von LOGAN et al. (1974) klassifizierbare, Conophyton-ähnliche Formen beobachtet. Orientierte Stromatolithe fehlen im Gegensatz zu der Série des calcaires inférieurs im Gebiet des Bou el Baroud; dafür konnte im Profil S Jebel Sarhro eine bevorzugte ENE-SWS-Orientierung ($50-140^\circ$, meist $60-70^\circ$) der ausgelängten LLH-S Stromatolithe gemessen werden.

Die Stromatolithe wechseln bankweise, teils innerhalb einer Bank und zwischen den einzelnen Laminae mit Peloid-Dolomikrosparen, in denen schon im mittleren Teil des Profils in Dünnschliffen vereinzelt Tribolitenquerschnitte gefunden werden (siehe Stratigraphie: Grenze Infra-/Unter-Kambrium). Stärkere Aufarbeitung der Algenmatten wird durch Intradolomikrospare belegt. Karbonatische Extraklaste fehlen, dagegen sind silikatische Einschüttungen häufig.

Die silikoklastischen Sedimente bestehen aus Ton-, Silt- und Feinsandsteinen, die bankweise oder auch in cm-Bereich wechseln. Asymmetrische und symmetrische Wellenrippeln, interferierende Rippelsysteme und Rhomboederrippeln, kleindimensionale Schrägschichtung, Flaserschichtung und Tongallen, umgelagerte Mikrite (Algenmatten) und im tieferen Teil Trockenrisse und selten Steinsalz pseudomorphosen machen das sedimentologische Inventar der Série des calcaires supérieurs aus.

Als Komponenten werden überwiegend vulkanische Quarze — oft mit erkennbaren Resorptionsschläuchen —, Feldspäte und selten Gesteinsbruchstücke (intermediäre bis saure Vulkanite und Gläser) im Dünnschliff bestimmt. Die Feldspäte bestehen im tieferen Teil fast ausschließlich aus Orthoklasen, im mittleren und höheren Teil kommen verstärkt Plagioklase hinzu. Die Schwermineralfraktion wird überwiegend von idiomorphen und gerundeten Zirkonen und Rutil aufgebaut. Detritischer Turmalin ist selten, dafür wird authigener Turmalin sowohl in der Schwermineralfraktion als auch im Dünnschliff beobachtet.

Im unteren Profildrittel treten als markante Horizonte zwei z. T. verschweißte feldspatreiche Kristalltuffe auf, die relativ sauren Magmen entstammen (An $< 30\%$). Auch in höheren Profilabschnitten werden immer wieder idiomorphe Feldspäte in tuffitischen Lagen gefunden.

Während in den älteren Serien die Mächtigkeit vom Profil Arguioun bis zu den Profilen am Südrand des Jebel Sarhro bei starker Faziesänderung um das 2- bis 5fache abnimmt, ändern sich Mächtigkeit und Fazies der Série des calcaires supérieurs im bearbeiteten Raum nur noch wenig. Ein höherer Anteil an Silikoklastika mit nach N zunehmender Korngröße deutet auf das Fortbestehen eines nördlich gelegenen Liefergebietes hin, in dem überwiegend intermediäre bis saure Vulkanite abgetragen werden.

Géorgien

In den Profilen Arguioun und Ait Saoun können im Hangenden der Série calcaires supérieurs die Calcaires de base abgetrennt werden. Dieses etwa 20 m mächtige Schichtglied beginnt mit schwarzen, Thrombolith-führenden Kalken, an die sich eine Wechselfolge von grünen und roten Mergeln, Silt- und Feinsandsteinen, grauen Dolomiten und dunkelgraue bituminöse Kalksteine anschließt. Authigene Feldspäte und untergeordnet Quarze bilden den Lösungsrückstand der basalen Karbonatbank. Weitergewachsene blaßgrüne Turmaline um einen dunkelgrünen detritischen Kern (Abb. 12) finden sich neben Zirkon in der Schwermineeralfraktion. In den Karbonaten werden Trilobitenreste — z. T. schillartig ange-reichert — radialfasrige Ooide, Pelloide, Intraklaste (Mikrite), wenig transportierte

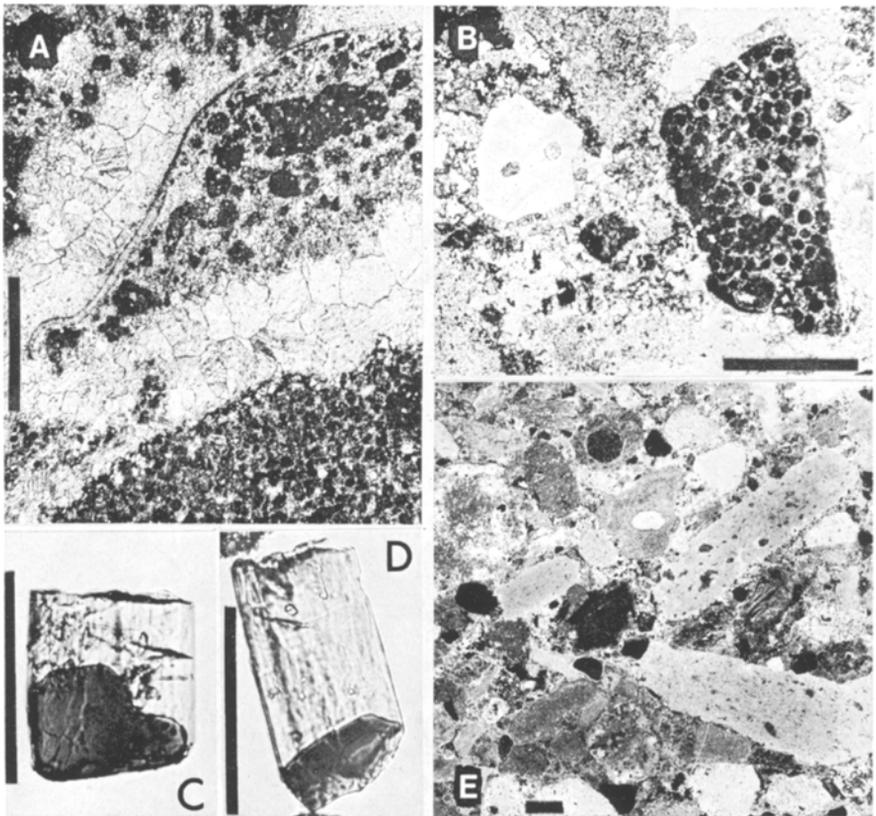


Abb. 12. Typische Sedimente und Komponenten der Calcaires de base: A Intrapelsparit mit Trilobiten; B Sparit mit karbonatischen (Oolith aus kleinen radialfasrigen Ooiden) und vulkanogenen (resorbierter Quarz) Extraklasten; C und D um dunkelgrünen detritischen Turmalin weitergewachsene hellgrüne Turmaline; E Konglomerat aus vulkanogenem Detritus, Ooiden aus Fe-Chlorit und aufgearbeiteten Algenmatten mit birds eyes (negativ). Maßstab für A, B, E Balkenlänge = 1 mm, für C, D Balkenlänge = 0,1 mm.

Aufsätze

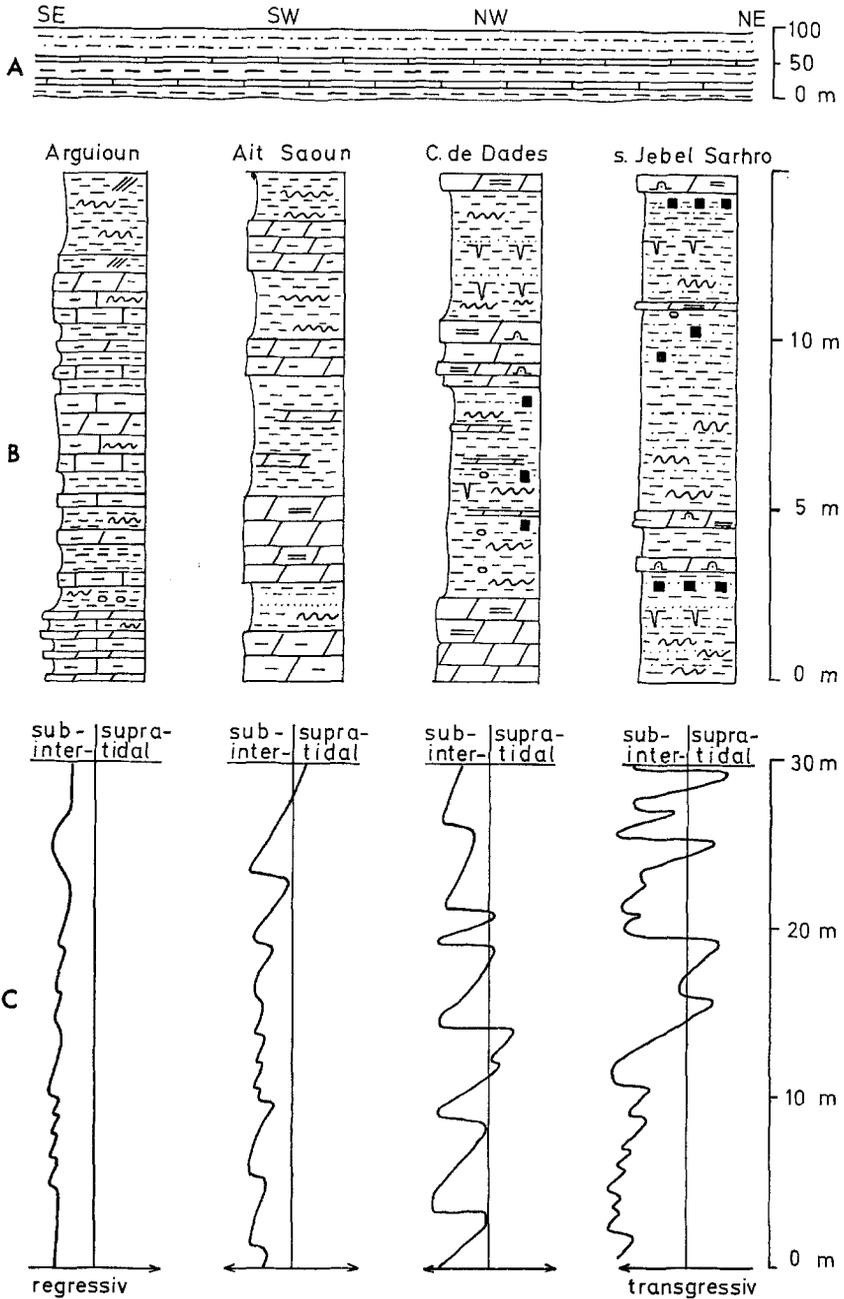


Abb. 13. Schematisches Faziesprofil durch die Série schisto-calcaire und den Complexe schisteux. B Ausschnitte aus Detailprofilen; C fazielle Interpretation der Detailprofile (schisto-calcaire). Legende siehe Abb. 7.

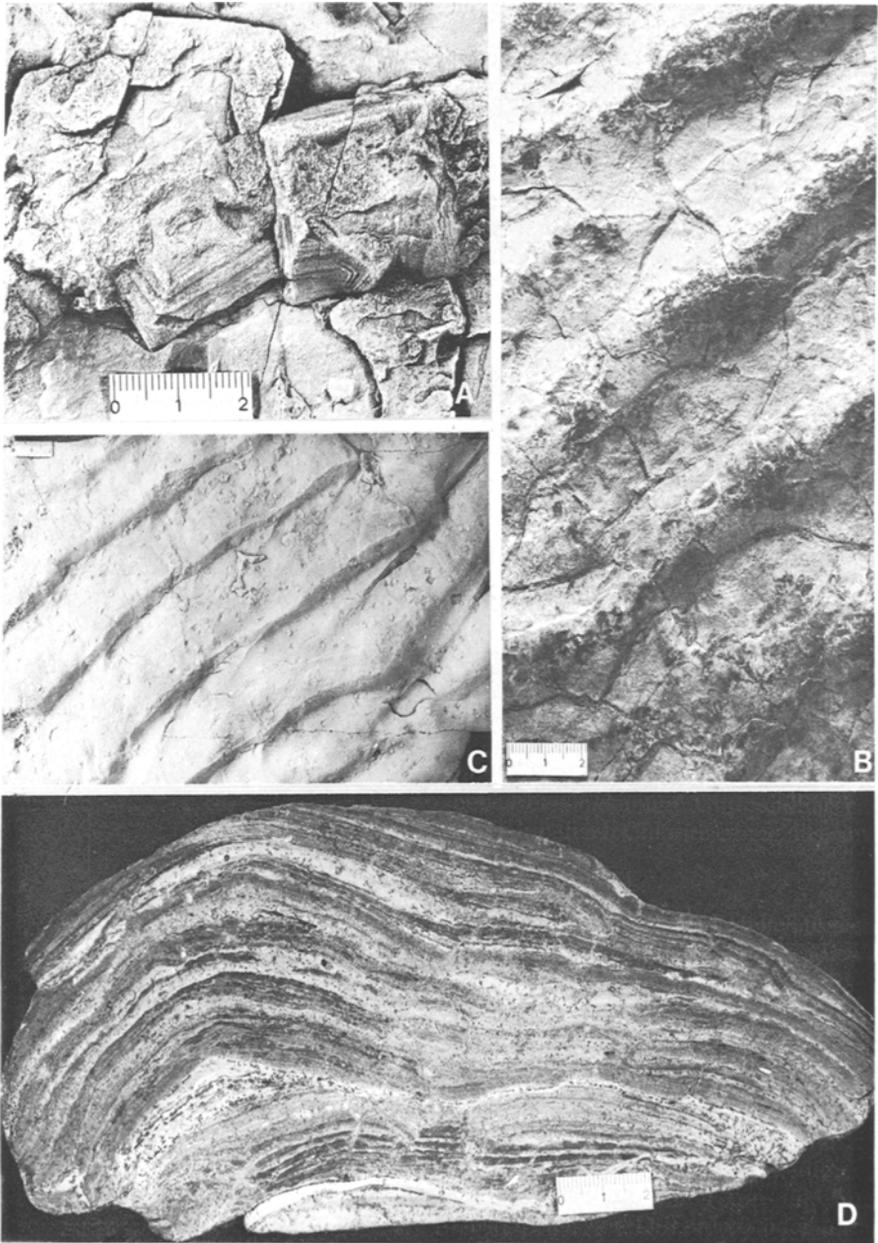


Abb. 14. Typische Sedimentstrukturen aus der Série schisto-calcaire: (A) Steinsalz-Pseudomorphosen; (B) Rippelmarken mit Ton in den Rippeltälern, der von Trockenrissen durchzogen wird; (C) Asymmetrische Oszillationsrippeln; (D) LLH-Stromatolith. Maßstab: 2 cm.

Extraklaste (Oolithe) und terrigene Komponenten (überwiegend aufgearbeitete Vulkanite) beobachtet.

AITKEN (1967) stellt die Thrombolithe in die tiefste Niedrigwasser-Zone. Eine „relativ tiefe“ Stellung der Thrombolithe im Vergleich zu den anderen Stromatolithen stünde im Einklang mit der Beobachtung, daß im westlichen AntiAtlas (s. Taroudant) dieser Typ auch schon während der Série des calcaires supérieurs häufig auftritt (SCHMITT & MONNINGER 1977).

Die radialfasrigen Ooide schwimmen in einem Dolosparit. Sie sind z. T. randlich mikritisiert und von Dolimithomboedern durchsetzt. Spätdiagenetisch werden die Ooide aufgelöst und durch drusigen Kalzit ersetzt, wobei die mikritisierten Ränder und die gesproßten Dolomite erhalten bleiben.

Radialfasrige Ooide — soweit sie nicht sekundär entstanden sind — werden nach einer Zusammenstellung in FLÜGEL (1978) bevorzugt in evaporitischem bis hypersalinarem Milieu bei schwacher Wasserbewegung gebildet. Frühdiagenetische Verfestigung wird durch das Auftreten der Oolithe als Lithoklaste in den Calcaires de base belegt.

Dünnbankige graue, rote und grüne Ton- und Mergelsteine und kleindimensionale schrägschichtete Siltsteine mit Rippelmarken charakterisieren die Série schisto-calcaire. Neben Zirkon und Rutil ist detritischer Turmalin häufig in der Schwermineralfraktion. Feinsande, Dolomite und Kalke treten im Profil Arguioun stark zurück, Stromatolithe fehlen fast ganz. Die nördlichen Profile am S Rand des Jebel Sarhro sind dagegen durch Einschaltungen von Feinsandsteinen und sehr gut ausgebildete Laminite und LLH-S Stromatolithe (ESE-WNW Orientierung) in zyklischer Abfolge gekennzeichnet.

Im Idealfall wird ein Zyklus folgendermaßen aufgebaut:

- 4.) Silt/Feinsandsteine mit NaCl-Pseudomorphosen
- 3.) Ton/Silt bis Feinsandsteine mit Trockenrissen
- 2.) Schrägschichtete mergelige Ton/Silt- bis Feinsandsteine mit Rippelmarken
- 1.) Stromatolithbank, oft mit Aufarbeitung am Top.

Die Mächtigkeit eines solchen Zyklus schwankt von 2 bis 10 m (im Mittel ca. 5 m). Als Ursache für die zyklische Sedimentation wird eine ungleichmäßige Absenkung des Ablagerungsraumes angesehen. Eine stärkere Absenkung öffnet dem Meer den Zutritt, und es kommt zur Bildung von Algenmatten und Stromatolithen. Häufige Aufarbeitung am Top der Karbonatbänke und kleindimensionale Schrägschichtung asymmetrische Oszillationsrippeln und komplexe Rippelsysteme in den folgenden Mergeln und Siltsteinen weisen auf Sedimentation in bewegtem Flachwasser hin. Abfließendes Wasser hinterließ feinklastische Sedimente in den Rippeltälern, die beim Trockenfallen von Schwundrissen durchsetzt wurden, die bevorzugt den Rippeltälern folgen und auf die Rippelkämme hin ausdünnen. Verstärkte Eindunstung im Supratidal-Bereich führte schließlich im Sediment zur Ausscheidung von cm-großen Steinsalzkristallen, die uns heute als Pseudomorphosen erhalten sind. Nach rascher Absenkung und Transgression setzt mit einer Stromatolithbank ein neuer regressiver Zyklus ein.

Etwa 30 m rote feinschichtige Silt- und Feinsandsteine (Complex schisteux) mit Rippelmarken, Schrägschichtung, Trockenrissen und Tongallen leiten zu einer 30 bis 180 m mächtigen Wechselfolge aus dünnen (4 bis 40 cm) Ton-/Silt-

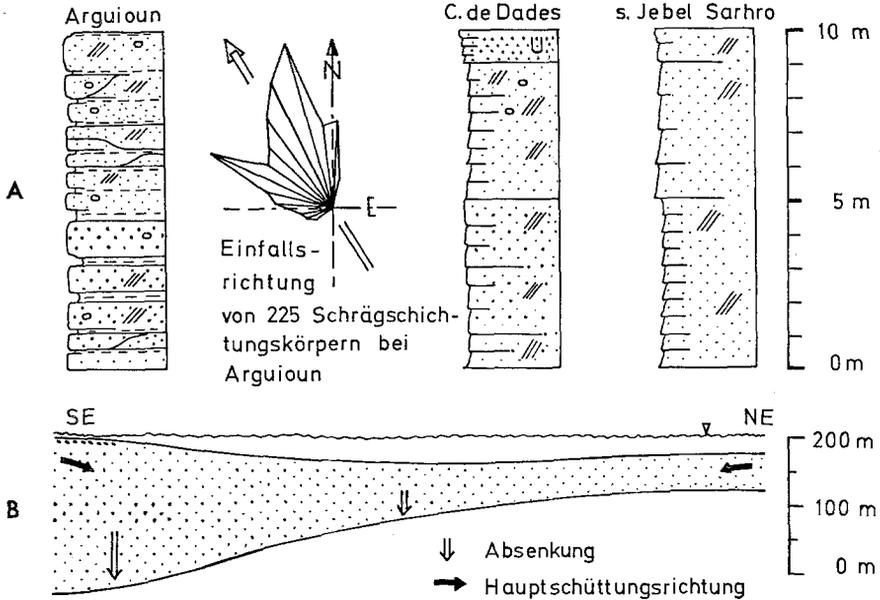


Abb. 15. Schematisches Faziesprofil durch die Grès terminaux (ca. 100fach überhöht, Legende siehe Abb. 7) (B). Ausschnitte aus Detailprofilen und Schrägschichtungsmessungen bei Arguioum (A).

lagen und dickbankigen roten Feinsandsteinen, den Grès terminaux, über.

Im S werden in den unteren Partien der Grès terminaux oft auskeilende Bänke, Rippelmarken und selten Trockenrisse beobachtet. Schrägschichtung ist in den feinkörnigen Sandsteinen häufig, die Schüttungskörper fallen im Profil Arguioum durchweg nach NE ein (Abb. 15); am S-Rand des Jebel Sarhro wird dagegen vorwiegend NE-SW-Transport gemessen. Die Mächtigkeit der Grès terminaux nimmt im Arbeitsgebiet von S nach N deutlich ab, ohne daß damit eine Kornvergrößerung wie in den älteren Klastika verbunden ist.

Die im tieferen Teil feldspatreichen, im höheren Profilabschnitt feldspatführenden Feinsandsteine (ϕ im Mittel 0,05 bis 0,11 mm) sind gut bis sehr gut sortiert ($So = 1,2$ bis $1,37$). Im Dünmschliff zeigen die meisten Quarze und Feldspäte orientierte Anwachsäume, besonders das häufige Weiterwachsen von mehrfach verzwilligten Plagioklasen fällt ins Auge. Während in den Grès Tikirt Orthoklase den Feldspatanteil ausmachen, haben Änderungen des Liefergebietes (und/oder geringere Verwitterung im Ablagerungsraum) zu einer Plagioklas-Vormacht in den Grès terminaux geführt — ein Umschwung, der bereits in der Série des calcaires supérieurs deutlich wird (Abb. 17).

Graue Konglomerate, vorwiegend aus Quarzen und aufgearbeiteten Vulkaniten, mit Megarippeln bilden im S die Basis des Niveau d'Ourmast. Darüber folgen grüne Ton/Siltsteine und teilweise schwarze Feinsandsteine mit umgelagerten Archaeocyathinen (Abb. 16).



Abb. 16. A: Trilobiten- und Archaeocyathinen-Schill der Brèche à Micmacca. B und C: Archaeocyathine im Sandstein des Niveau d'Ourmast. Der primäre Intergranularraum des Sandsteins ist von orientiert weitergewachsenen Quarzen und Feldspäten zementiert. Die ursprüngliche Kalkschale des Archaeocyathinen ist unter Beibehaltung der Form vollständig von quarzistischem Zement verdrängt worden (B: X Pol.). Maßstab: Balkenlänge \approx 1 mm.

Ein bis 2 m mächtiger, in mehrere Bänke aufspaltender brekziöser Kalkhorizont mit Trilobiten- und Archaeocyathinenschill — die *Brèche à Micmacca* — ist im höchsten Teil des Niveau d'Ourmast eingeschaltet.

Deutung der faziellen und paläogeographischen Entwicklung vom Adoudounien und Géorgien

Die sehr schlecht sortierten (So = 2,8 bis 3,1) groben Konglomerate der Basischichten des Adoudounien mit mittleren Korngrößen von 10 cm (max. 100 cm) dürften in Wildbächen transportiert worden sein; ebenso weisen Schrägschichtungen und vereinzelte Sedimentstrukturen sowie Pillow-Laven auf aquatisches Milieu hin. Die Ignimbrite und ein Teil der Andesite sind dagegen sicher terrestrische Bildungen. Insgesamt ist die basale Schichtenfolge kontinental abgelagert worden.

Mit den ersten Stromatolithbänken beginnt im S des Arbeitsgebietes der Umschwung von kontinentaler zu mariner Sedimentation. Die frühdiagenetische Dolomitisierung ist auf erhöhte Salinität zurückzuführen. Hohes Bor-Angebot hat das Wachstum authigener Turmaline begünstigt. Zemente und Schwundrisse weisen auf trockenfallenden Gezeitenbereich hin. Ignimbrite im tieferen Teil belegen kontinentale Bedingungen. Insgesamt ist die Schichtenfolge der Série des calcaires inférieurs (B) bei Arguioun in marin-marginalen Milieu abgelagert worden. Das auf- und ablaufende Wasser bewegte sich hier nach der Orientierung der Stromatolithe (vgl. HOFMANN 1967) bevorzugt in E-W-Richtung, was auf einen lokalen N-S Verlauf der Küste schließen läßt. Aber auch im N wird das Sedimentationsgebiet der Karbonate von Klastika begrenzt, die fluviatilen Ursprungs sind und die kontinentale Entwicklung der Basisschichten des Adoudounien fortsetzen.

Die Sedimentstrukturen der Grès Tikirt zeigen, daß die Sande und Kiese in sehr flachem Wasser abgelagert worden und immer wieder trockengefallen sind. Kaolinit und Montmorillonit, geringe Karbonatgehalte, selten Rindenkörner (coated grains) und Fe-Ooide in den tiefsten und höchsten Teilen der Série lie-de-vin weisen auf festländische Verwitterung und gelegentlichen marinen Einfluß hin. Die Hauptmenge der Sande dürfte jedoch limnisch-fluvatiler Natur sein. In dem nach Strömungsmessungen im NE gelegenen, nahen Liefergebiet wurden in erster Linie saure Vulkanite, besonders im mittleren Teil der Grès Tikirt aber auch Metamorphite (Granat) abgetragen.

Mit Beginn der Série des calcaires supérieurs drang das Meer erneut von W vor. Stromatolithe und Sedimentstrukturen deuten ein flachmarines übersalzenees Milieu an, Schwundrisse und Ignimbrite beweisen gelegentliches Trockenfallen. Zunehmend normalmarine Flachwasserbedingungen werden durch Ca/Mg Verhältnisse, Karbonatfazies und vereinzelte Trilobitenreste dokumentiert. Die basalen Teile der Série des calcaires supérieurs dürften daher im höheren Intertidal bis Supratidal, gelegentlich vielleicht auch kontinental abgelagert worden sein. Bei fortschreitender Transgression ist für die Sedimente aus dem höheren Teil der Abfolge mit intertidalem bis subtidalem Milieu zu rechnen.

Mit den Calcaires de base hat die Transgression zu Beginn des Unterkambriums einen ersten Höhepunkt erreicht. Gelegentlich hypersalinar, oft jedoch normalmarine (Trilobiten) Sedimentation in schwach (Peloide, Radialoide) bis stark (Intraklaste, Lithoklaste) bewegtem Flachwasser mit deutlichem terrigenem Einfluß macht ein tief intertidales bis subtidales Milieu für diese Serie wahrscheinlich.

Die Mächtigkeitsunterschiede der Série schisto-calcaire sind zwischen den einzelnen bearbeiteten Profilen nur noch unbedeutend. In der Faziesverteilung paust sich jedoch immer noch die alte paläogeographische Konfiguration durch: sub- bis intertidale Sedimentation in den Südprofilen (Arguioun und Ait Saoun), Zyklen von inter- bis supratidalem Milieu in den nördlichen Profilen (am Südrand des Jebel Sarhro).

Die Ablagerungsbedingungen der Grès terminaux können nicht sicher gedeutet werden. Gegenüber älteren Sandsteinen relativ hoher Reifegrad, lithologische Einheitlichkeit im Untersuchungsgebiet, Schüttungsmessungen und Schwermineralien deuten auf ein nicht zu nahes, im SE gelegenes Liefergebiet hin, in dem überwiegend intermediäre bis saure Magmatite, aber auch verstärkt Metamorphite abgetragen wurden. Während in den Sedimenten des Complexe schisteux und auch

Aufsätze

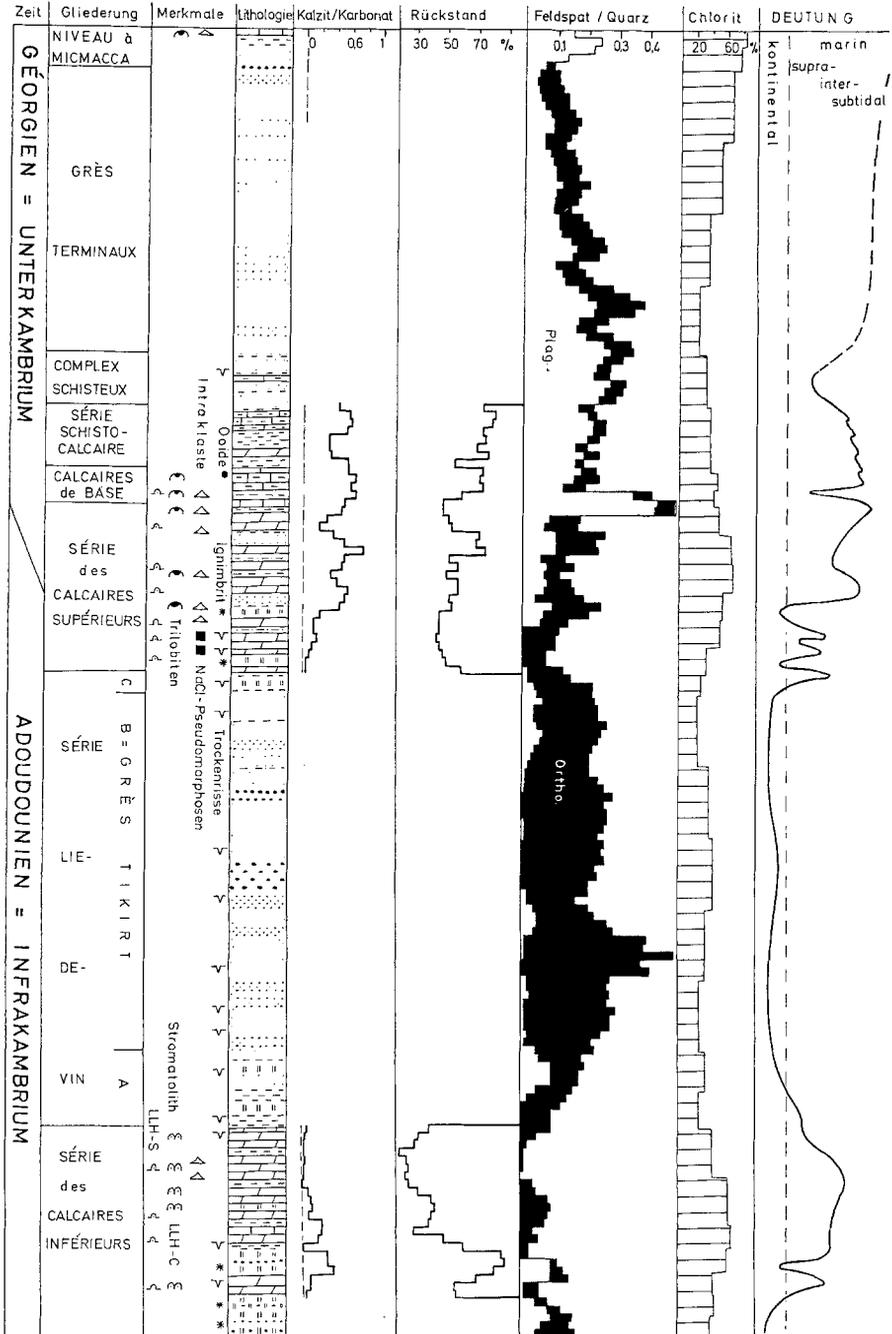


Abb. 17. Die paläogeographische und fazielle Entwicklung im Infra- und Unter-Kambrium (mit analytischen Daten). Höhe der Profilsäule ca. 800 m.

in den tiefsten Partien der Grès terminaux Sedimentstrukturen auf sehr flaches Wasser und gelegentliches Trockenfallen hinweisen, fehlen in den höheren Teilen der Grès terminaux faziell eindeutig interpretierbare Merkmale. Authigenes Wachstum von Plagioklasen und Turmalinen sowie zunehmende Chloritgehalte in der Tonfraktion machen jedoch marines Ablagerungsmilieu wahrscheinlich. Die Entwicklung eines aus SE geschütteten Deltas — intertidal an der Basis und vollmarin im höheren Teil und in den nördlichen Profilen — könnte mit dem Sedimentationsbild der Grès terminaux im Einklang stehen.

Mit dem Niveau d'Ourmast erfolgt endgültig ein Sedimentationsumschwung (BUDDA et al. 1974) zu vollmariner Schelfsedimentation, die im wesentlichen (außer Oberkambrium, siehe Stratigraphie) bis ins Ordovizium anhält.

Die fazielle Stellung der Stromatolithe

Lange Zeit galten Stromatolithe als typische Bildungen des Intertidalbereiches. Dagegen wurde die Vielfalt der möglichen Entstehungsräume von MONTY (1977) zusammenfassend dargestellt. Allgemein ist daher bei der faziellen Interpretation Vorsicht geboten. Sedimentstrukturen der unter- und überlagernden Sedimente sowie Verzahnungen ermöglichen aber für die Stromatolithe aus dem Infra- und Unterkambrium des mittleren Antiatlas eine recht gut abgesicherte Aussage über den Bildungsraum der Stromatolithe:

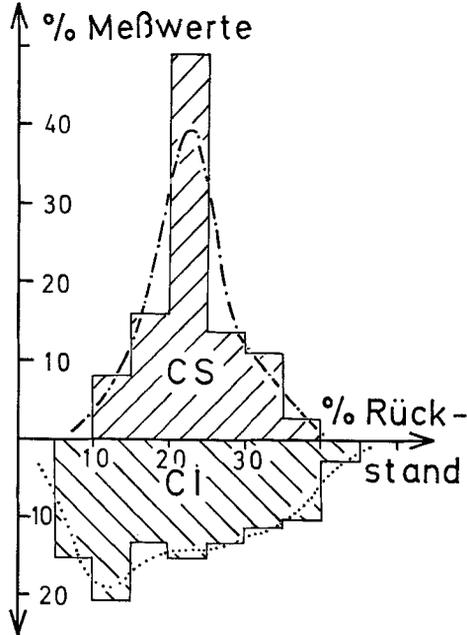


Abb. 18. Häufigkeit der Rückstandsgehalte in den Stromatolithen. CS = Série des calcaires supérieurs (75 Meßwerte), CI = Série des calcaires inférieurs (ca. 50 Meßwerte).

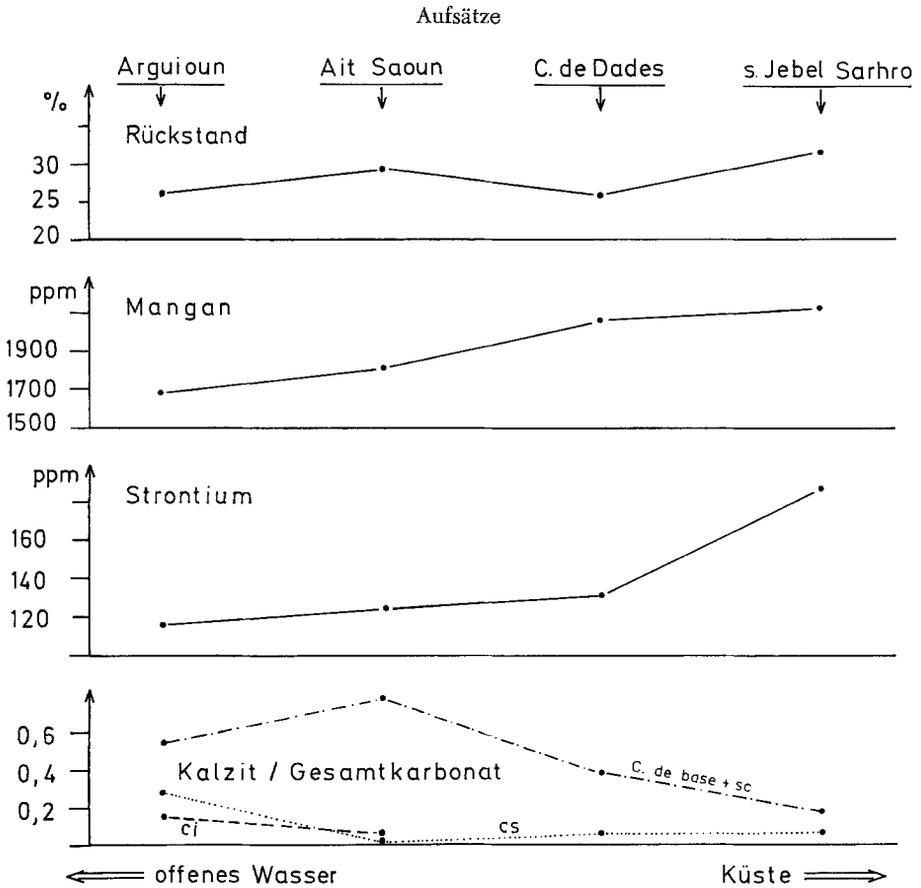


Abb. 19. Durchschnittliche Gehalte an Rückstand, Mangan, Strontium (für alle Karbonate aus dem Infra- und Unterkambrium für jedes Profil) und das durchschnittliche Verhältnis Kalzit/Gesamtkarbonat (ci = calcaires inférieurs, cs = calcaires supérieurs, c. de base + sc = Calcaires de base und Série schisto-calcaire).

LLH-Stromatolithe reichen vom Intertidal bis in den flachen Subtidalbereich. Zyklische Abfolgen mit supratidalen Sedimenten belegen für einen Teil der Stromatolithe ein Bildungsmilieu, das höchstens wenige Meter unter der Grenze Supra-/Intertidal zu suchen ist. Gelängte orientierte Formen scheinen Strandnähe anzuzeigen, meerwärts dominieren kreisförmige Kuppeln der LLH-Stromatolithe. Die relativ größte Wassertiefe wird durch Thrombolithe angezeigt.

Rückstandsbestimmungen aus Stromatolithen zeigen eine deutliche Häufung bei 20—25 % (50 % der Meßwerte für die Calcaires supérieurs). Dieser Wert scheint die idealen Bildungsbedingungen für Stromatolithe im Arbeitsgebiet widerzuspiegeln. Die breitere Streuung der Rückstandsgehalte in den Stromatolithen der Calcaires inférieurs ist durch die ständige Überschüttung mit terrigenem Detritus, der wiederum von Algenmatten überwachsen wird, zu erklären.

Geochemische Analysen zeigen, daß die mittleren Rückstandsgehalte der stromatolithischen Karbonate kaum vom Ablagerungsort abhängen. Dagegen steigen die Mn-Werte zur Küste hin deutlich an, was auf die terrigene Zufuhr dieses Elementes zurückzuführen ist. Das Verhältnis Kalzit/Gesamtkarbonat ist im Profil Arguion im Durchschnitt am höchsten, es steigt in den Calcaires de base bei Ait Saoun an um bei Annäherung an die Küste deutlich abzufallen. In dieser Tendenz deutet sich zunehmende Salinität und damit Dolomitisierung im Küstenbereich an. Erstaunlich ist der Anstieg der mittleren Strontium-Werte von Arguion bis zu dem Profil S Jebel Sarhro. Insgesamt sind die Sr-Gehalte, wie bei Dolomiten zu erwarten, niedrig; zunehmende Dolomitisierung führt jedoch nicht zu weiterem Sr-Verlust. Vielmehr weisen erhöhte Gehalte auf vorwiegend hypersalinare Verhältnisse für die küstennahen Karbonate in den nördlichen Profilen hin.

Acadien (Mittelkambrium)

Monotone grüne Ton- und Siltsteine mit zahlreichen karbonatischen Konkretionen, Knollen, Linsen und Schillbänkchen bilden die Schistes à Paradoxides. Trilobiten, Brachiopodenschalen, Echinodermenplatten und selten Archaeocyathinen und Gastropoden machen den Fossilinhalt aus. Dünnschliffe der silthaltigen kalkigen festen Partien zeigen einen Kornbestand aus randlich korrodierten Quarzen und Feldspäten, häufig detritischen Seriziten, akzessorischem Zirkon und Turmalin und mehr oder weniger häufigen Fossilshalen, die in über größere Bereiche monoaxialem Kalzitcement eingebettet sind.

In den Fossilshalen kommt es zu den verschiedensten Mineralneubildungen. Das ursprüngliche Karbonat wird von randständigem Quarz, blaßgrünem Chlorit und braunem Biotit verdrängt. Dichroitischer Biotit, der sich durch seine hohe Doppelbrechung deutlich vom neugebildeten Chlorit unterscheidet, ist vorwiegend in Fe-reichen Sedimenten gewachsen.

Zunehmende Feinsandschüttungen führen zur Ausbildung der Grès du Tabanit, die überregional gesehen im S und SW zuungunsten der Schistes à Paradoxides mächtiger werden, und deren Einsatz daher nur als fazielle und nicht als zeitliche Grenze verstanden werden darf. In fünf mitunter quarzitisches graue Feinsandstein-Serien sind vier weichere, vorwiegend grüne Siltstein/Feinsandsteinwechselfolgen und tonige Siltsteine eingeschaltet.

Rippelmarken, Schrägschichtungskörper, auskeilende Bänke und Linsen, Trilobiten- und Echinodermenschille und in Lagen häufige Linguliden, Weide- und Grabsuren machen das Inventar aus Sedimentstrukturen und Fossilien aus.

Korrodierte Quarze, beträchtliche Feldspatgehalte — im tieferen Teil nur Plagioklas, höher auch Orthoklas — detritischer Serizit, quarzitisches Verwachsung und poikiloblastischer Kalzitcement werden im Dünnschliff beobachtet. Die mittlere Korngröße der gut bis mittelmäßig sortierten Sande liegt durchschnittlich bei 0,05 bis 0,08 mm, wobei der Sortierungsgrad von unten nach oben zunimmt (So = 1,52 bis 1,24). Subangulare und angerundete Zirkone und Turmaline sind reichlich vorhanden und teilweise in einigen Lagen seifenartig angereichert. In

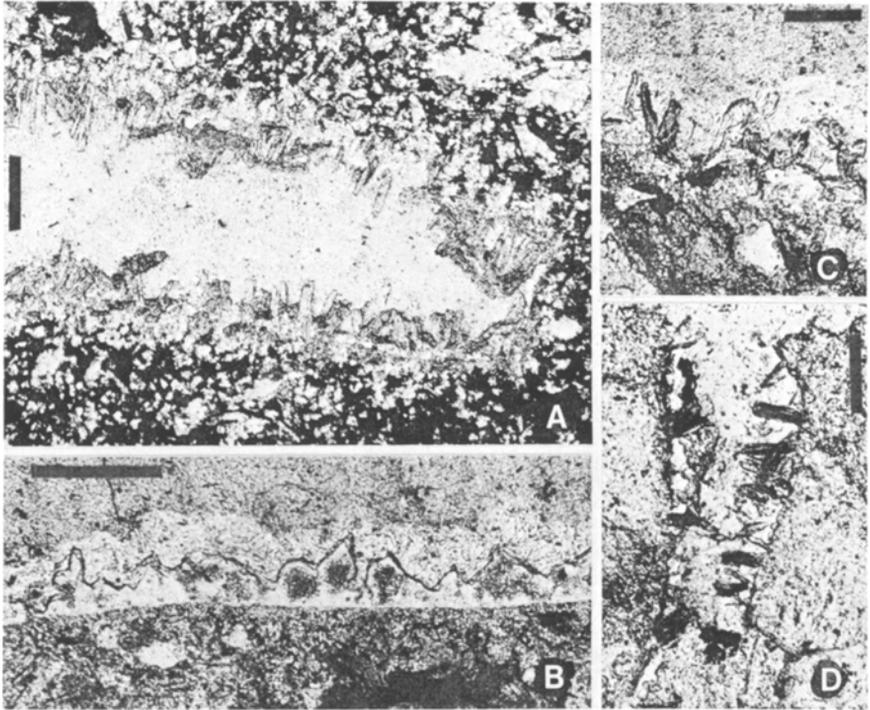


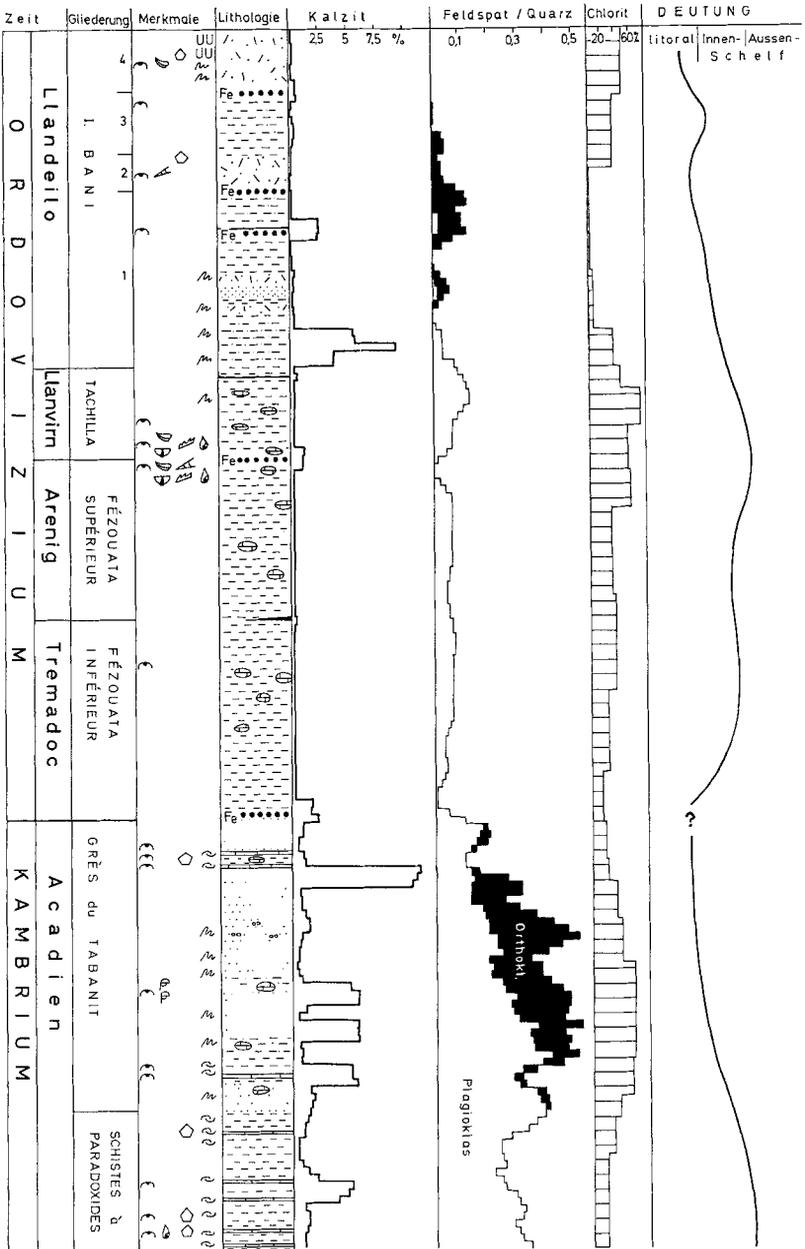
Abb. 20. Mineralneubildungen in Fossilshalen aus Karbonaten der Schistes à Paradoxides: B randständiger Quarz, A und D vom Rand in die Schale sprossende Biotite, C neugebildete Biotite (dunkel) und Chlorite (hell). Maßstab: Balkenlänge = 0,1 mm.

der Schwermineralfraktion tritt im tieferen Teil der Grès du Tabanit Rutil sehr häufig und Granat vereinzelt auf. Unter den häufigen Turmalinen fanden sich selten gerundete hellgrüne Körner, die um einen älteren detritischen Kern gewachsen und wieder abgerollt waren.

Ordovizium

Über einer Fe-reichen Zone bilden 400 m blaugrüne und 300 m gelbgrüne Tonsteine mit eingeschalteten Kalk- und Toneisenstein-Geoden und Siltlagen die monotonen Folgen der *Fézouata inférieure* und *supérieure*. Fossilien sind generell selten, lediglich 40 bis 10 m unter der Obergrenze treten häufig Brachiopoden, Lamellibranchiaten, Orthoceren, Tentaculiten, Gastropoden, Trilobiten und vereinzelt Graptolithen auf. Besonders gut sind die Fossilien in den Toneisenstein-Geoden erhalten, was für eine relativ frühe Bildung dieser Konkretionen spricht.

Der Beginn der *Tachilla* ist durch eine eisenschüssige Zone gekennzeichnet (45 Gew.-% Fe_2O_3), die sich aus mehreren Bänken zusammensetzt und nach



- | | | | | |
|----------------|----------------------|------------------|-------------|-------------------------|
| ⊂ Trilobiten | ⬡ Echinodermen | ~ Schill | ⊥ Tonstein | ⊥ Kalkstein |
| ⊂ Brachiopoden | ⊂ Graptoliten | ~ Weidespuren | ⊥ Siltstein | ⊥ Kalk-/Tonstein-Geoden |
| ⊂ Linguliden | ⊂ Tentakuliten | U Grabbauten | ⊥ Sandstein | ⊥ Rotsedimente |
| ⊂ Gastropoden | ⊂ Lamellibranchiaten | •Fe Eisenoolithe | ⊥ Quarzit | |

Abb. 21. Die paläogeographische und fazielle Entwicklung vom Mittelkambrium bis Ordovizium am Jebel Kissane (mit analytischen Daten). Höhe der Profilsäule 2200 m.

E auf über 5 m Mächtigkeit anschwillt. Fe-Ooide, -Rinden und -Gerölle sind immer wieder anzutreffen. Eine weitere, 0,6 m mächtige Zone mit 40 Gew.-% Fe₂O₃ tritt 18 m unter der Oberkante auf. Im übrigen entsprechen die einförmigen grüngrauen Ton- und Siltsteine mit ihren Toneisenstein- und Kalkgeoden lithologisch den Sedimenten der Fézouata. Auch in den reichen Faunen werden dieselben Gruppen wie am Top der Fézouata supérieure beobachtet. Nur schlecht erhalten waren einige große Asaphiden und eine fragliche Conularie.

Die 600 m mächtige Schichtenfolge des I. Bani setzt mit unreinen, flasrig geschichteten Siltsteinen und siltigen Feinsandsteinen ein. Der Rückgang der feinverteilten Chlorit- und Serizit-Matrix verleiht dem Gestein zunehmend quarzitischem Charakter. Diese Entwicklung kulminiert mehrfach in reinen schräggeschichteten Quarziten mit Rippelmarken in den höchsten Partien.

Abgesehen von Ichnofaunen sind Fossilien selten und auf einzelne Lagen beschränkt. Kriech- und Weidespuren sind dagegen in der ganzen Abfolge häufig. Die obersten 35 m des I. Bani sind durch eine ungeheure Anzahl von Tigillites charakterisiert. Die Bauten dieser weitständigen Scolithen erreichen eine Tiefe bis zu 10 cm.

Drucklösung hat zu einer intensiven Verwachsung der Quarzkörner geführt, so daß die ursprünglichen Korngrenzen nur noch selten erkannt werden können. Die mittlere Korngröße der durchweg gut sortierten Sande (So 1,3) liegt im tieferen Teil im Silt- bis Feinsandbereich (0,05 bis 0,08 mm) und reicht im höheren Profilabschnitt in den Mittelsandbereich hinein (0,2 bis 0,3 mm). Feldspäte, — überwiegend der beständigere Orthoklas — treten stark zurück und fehlen im höheren Teil fast ganz. In der Schwermineralfraktion fallen die sehr gute Rundung der Körner und das Hervortreten von Rutil und Turmalin neben Zirkon ins Auge.

Drei eisenreiche Zonen (10—30 Gew.-% Fe₂O₃) sind als auffällige oolithische Horizonte in die Silt/Feinsandsteine eingeschaltet. Das Fe ist vorwiegend an Chlorit und in oxidischer Form gebunden. An der Basis der höchsten Quarzite tritt neben Fe-Ooiden und Grobsandlinsen ein grünes mehliges Gestein auf, das wahrscheinlich durch Chloritisierung aus einem Glaukonitit hervorgegangen ist.

Deutung der faziellen und paläogeographischen Entwicklung im Acadien und Ordovizium

Die Schistes à Paradoxides stellen einförmige, küstenferne Sedimente dar, die in ruhigem Wasser mit sporadischen Strömungen (Schille) abgelagert wurden. Erhöhte Transportenergie führte zu den Sandschüttungen der Grès du Tabanit, die als unreife Bildungen des bewegten Flachwassers in einiger Entfernung vor der Küste angesehen werden. Im Liefergebiet müssen neben sauren Magmatiten auch Metamorphite und Sedimente abgetragen worden sein. In höheren Lagen ist eine zunehmende Reife des Sediments zu erkennen.

Der Übergang zu den Ton- und Siltsteinen des Ordovizium ist durch keinerlei Unstetigkeit wie Diskordanz oder Aufarbeitungshorizont gekennzeichnet. Die folgenden monotonen Schichten des Tremadoc bis Llanvirn tragen wieder den Charakter küstenferner, wenig von Strömungen beeinflusster Ablagerungen, in denen nur Fe-Ooide festländische Verwitterungslösungen und Wasserbewegung erkennen lassen.

Im I. Bani kommt es bei allmählichem Rückgang der Pelite mehrfach zu Einschaltung von Quarziten, die aus von unten nach oben zunehmend sehr gut aufbereiteten Sanden hervorgegangen sind. Der hohe Reifegrad dieser schrägschichteten Flachwassersedimente dürfte auf mehrfache Umlagerung vor der endgültigen Platznahme zurückzuführen sein, die vor allem bei Litoralsanden beobachtet wird.

Dank

Unser Dank gilt vor allem dem Chef de la division de la Géologie, Herrn Hilali (Rabat), der uns die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte, sowie den Kollegen in Rabat, die uns durch hilfreiche Diskussionen unterstützten. Röntgenaufnahmen durften wir im Mineralogischen Institut der TH Darmstadt ausführen. Die DFG förderte dieses Vorhaben durch eine Reisebeihilfe (Bu 312/4).

Literatur

- Ältere Schriften sind bei CHOUBERT (1963) ausführlich zitiert.
- AITKEN, J. D.: Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta. — *J. Sed. Petrol.*, **37**, 1163—1178, 22 Abb., Tulsa 1967.
- BOUDDA, A. & CHOUBERT, G.: Sur la limite inférieure du Cambrien au Maroc. — *C. R. Acad. Sci.*, **275**, 5—8, Paris 1972.
- BOUDDA, A., CHOUBERT, G. & FAURE-MURET, A.: Note au sujet des „Grès terminaux“ du Cambrien inférieur de l'Anti-Atlas et de la transgression du Cambrien moyen. — *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, **16** (4), 138—140, Paris 1974.
- BUGGISCH, W.: Die Grödenener Schichten (Perm, Südalpen). Sedimentologische und geochemische Untersuchungen zur Unterscheidung mariner und kontinentaler Sedimente. — *Geol. Rundschau*, **67**, 149—180, 11 Abb., 3 Tab., Stuttgart 1978.
- CHOUBERT, G.: L'Acadien et l'Ordovicien de l'Anti-Atlas. — *C. R. Acad. Sci.*, **216** (3), 158 bis 160, Paris 1943.
- : Histoire géologique du domaine de l'Anti-Atlas. — in: *Géologie du Maroc*. — *Not. Mem. Serv. géol. Maroc*, **100**, 77—194, Rabat 1952.
- : L'Adoudounien et le Précambrien III dans l'Anti-Atlas. — *Coll. internat. C. N. R. S.*, **76**, 143—162, 2 Abb., 1 Tab., Paris 1958.
- : Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. — *Not. Mem. Serv. géol. Maroc*, **162**, 352 S., 131 Abb., 2 Kartenbeil., Rabat 1963.
- CHOUBERT, G., BOUDDA, A., & FAURE-MURET, A.: Essai de chronologie du Précambrien supérieur du sud marocain. — *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, **15**, 123—124, Paris 1973.
- COUBERT, G. & DEBRENNE, F.: Sur la paléogéographie des calcaires à Archéocyathes dans l'Anti-Atlas occidental. — *C. R. Acad. Sci.*, **258**, 2616—2618, Paris 1964.
- DAILY, B.: The base of the Cambrian and the first Cambrian faunas. — in: JONES, J. B. & MCGOWRAN, B. (Hrsg.): *Stratigraphic problems of the Later Precambrian and Early Cambrian*. — Centre for Precambrian Research, *Spec. Paper*, **1**, 13—41, 6 Abb., 1 Tab., 2 Taf., Adelaide 1972.
- DESTOMBES, J.: Stratigraphie et paléogéographie de l'Ordovicien de l'Anti-Atlas (Maroc): Essai de synthèse. — *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **4**, 453—460, 1 Abb., 1 Tab., Paris 1962.
- : Données stratigraphiques sur l'Ordovicien de l'Anti-Atlas (Maroc). — *R. Inst. franc. pétrol.*, **18**, 1464—1471, 1 Tab., 1 Karte, Paris 1963.
- : Cambrien moyen et Ordovicien. — in: *Colloque international sur la corrélation du Précambrien, Agadir-Rabat 1970*, *Livretguide de l'excursion: Anti-Atlas occidental et central*. — *Not. Mem. Serv. Géol. Maroc*, **229**, 161—170, Rabat 1970.

- : L'Ordovicien au Maroc. Essai de synthèse. — Mem. BRGM, 73, 237—263, 2 Abb., 2 Taf., Paris 1971.
- DESTOMBES, J. & WILLEFERT, S.: Sur la présence de Dictyonema dans le Tremadoc de l'Anti-Atlas (Maroc). — C. R. Acad. Sci., 249, 1246—1247, Paris 1959.
- FLÜGEL, E.: Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. — 454 S., 33 Taf., 68 Abb., 57 Tab., Springer, Heidelberg 1978.
- HOFFMAN, P. E.: Algal stromatolites: Use in stratigraphic correlation and paleocurrent determination. — Science, 157, 1043—1045, 3 Abb., Washington 1967.
- HUPÉ, P.: Contribution à l'étude du Cambrien inférieur, et du Précambrien III de l'Anti-Atlas marocain. — Not. Mem. Serv. Géol. Maroc, 103, 402 S., 99 Abb., 24 Taf., Rabat 1952.
- : Essai de corrélation de quelques formations cambriennes et infracambriennes. — in: Colloq. internat. C. N. R. S., 76, 163—168, 1 Tab., Paris 1958.
- : Sur le Cambrien inférieur du Maroc. — XXI Internat. Geol. Congr., Teil 8, 75—85, Copenhagen 1960.
- HURLEY, P. M., BOUDDA, A., KANES, W. H. & NAIRN, A. E. M.: A plate tectonics origin for Late Precambrian — paleozoic orogenetic belt in Morocco. — Geol., 2 (7), 343—344, 2 Abb., 1 Tab., 1974.
- KANES, W. H., SAADI, M., EHRLICH, E. & ALEM, A.: Moroccan crustal response to continental drift. — Science, 180, 950—952, 3 Abb., Washington 1973.
- LEBLANC, M.: Sur le style disharmonique des plis hercyniens à la base de la couverture dans l'Anti-Atlas central (Maroc). — C. R. Acad. Sci., 275, 803—806, 2 Abb., Paris 1972.
- : La grand dyce de dolérite de l'Anti-Atlas et le magmatisme jurassique du sud marocain. — C. R. Acad. Sci., 276, 2943—2946, 1 Tab., Paris 1973.
- LOGAN, B. W., REZAK, R. & GINSBURG, R. N.: Classification and environmental significance of algal stromatolites. — J. Geol., 72, 68—83, 5 Abb., 4 Taf., Chicago 1964.
- MONTY, C.: Evolving concepts on the nature and the ecological significance of Stromatolites. — In: FLÜGEL, E. (Ed.): Fossil Algae. — S. 15—35, Springer, Heidelberg 1977.
- PRUVOST, P.: L'Infracambrien. — Bull. Soc. Belge Géol., Paléont. Hydrol., 60 (1), 43—65, 4 Abb., Brüssel 1951.
- SCHMITT, M. & MONNINGER, W.: Stromatolites and Thrombolites in Precambrian/Cambrian Boundary Beds of the Anti-Atlas, Morocco. — in: FLÜGEL, E. (Ed.): Fossil Algae. — S. 80—85, 2 Taf., Springer, Heidelberg 1977.