

KONINKRIJK BELGIË
—
MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN
AARDKUNDIGE DIENST VAN BELGIË
—

Jennerstraat, 13 - 1040 Brussel

De Onder-Lias gesteenten van de Boring van Aarlen

Een sediment-petrografisch onderzoek

door

G. DE GEYTER

PROFESSIONAL PAPER 1976 N^o 4

Dejonghe

KONINKRIJK BELGIË

MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN
AARDKUNDIGE DIENST VAN BELGIË

Jennerstraat, 13 - 1040 Brussel

De Onder-Lias gesteenten van de Boring van Aarlen

Een sediment-petrografisch onderzoek

door

G. DE GEYTER

PROFESSIONAL PAPER 1976 N^r 4

DE ONDER-LIAS GESTEENTEN VAN DE BORING VAN
AARLEN. EEN SEDIMENT-PETROGRAFISCH ONDERZOEK (x)

door G. DE GEYTER (xx)

SAMENVATTING

De Onder-Lias sedimenten van de boring van Aarlen worden met behulp van verschillende sediment-petrografische technieken beschreven. Voor de eenvormige en vergelijkbare petrografie van de totale sedimentenkolom, wordt een aangepaste nomenclatuur voorgesteld.

De granulometriegegevens, bekomen door zeping en sedimentatie, worden uitgewerkt volgens de methodes van PASSEGA, DOEGLAS en SAHU; kumulatieve kurven met waarschijnlijkheidsordinaat en grafische parameters worden vergeleken. Hieruit blijkt dat de zandige sedimenten, bekend als "Grès de Luxembourg", afgezet werden in een brede onstabiele shelfzone aan de rand van het Massief van de Ardennen. De samengestelde lithofacieskurve van de zandige formatie wordt onderverdeeld in asymmetrische sekwenties, die geassocieerd worden met epirogene bewegingen, diskontinu in ruimte en tijd.

De Onder-Lias gesteenten worden gekenmerkt door een associatie van ubikwisten, aangevuld met soms aanzienlijke hoeveelheden granaat. Het procentuele gehalte en de oppervlakteken-

(x) Geologische kaart van Aarlen (219E), boring nr. 254 van de Aardkundige Dienst van België

(xx) Aspirant N.F.W.O., verbonden aan het Laboratorium voor Algemene Geologie en Petrografie, Rijksuniversiteit - Gent (directeur : Prof. Dr. A. Hacquaert).

merken van dit mineraal bevestigen de noordoostelijke herkomst van de zandige sedimenten. Op basis van de zware mineraleninhoud wordt tevens een lithostratigrafische interpretatie van de totale sedimentenkolom opgesteld.

De kleimineralogische samenstelling van de sedimenten is kwalitatief uniform, maar vertoont belangrijke kwantitatieve verschillen. Het grotere kaolinietgehalte van de zandige sedimenten kan geërfd zijn van Buntsandstein-materiaal dat het oostelijk Ardennen-Rijnmassief bedekte, maar een nieuwvorming van kaoliniet door subaërische verwerking wordt niet uitgesloten.

Tenslotte worden enkele aspecten van diagenese onderzocht met behulp van de Scanning Elektronenmikroskoop.

RESUME. - *Recherches sédimentologiques sur les sédiments du Lias inférieur du forage d'Arlon.*

Le Service Géologique de Belgique a fait réaliser à Arlon un forage carotté d'une profondeur totale de 167 m (GULINCK, LAGA & LEGRAND, 1973). La présente étude traite de la partie du carottage, située entre 14,50 m et 109,50 m. Ainsi, la phase sableuse, dite "Grès de Luxembourg", et le passage au faciès marno-calcaire ont pu être analysés sur toute leur extension verticale.

La terminologie classique pour la description du micro-faciès nous a paru peu adéquate, parce que dans la colonne sédimentaire, ce sont tantôt les éléments arénacés, tantôt le calcaire, tantôt l'argile qui constituent la substance principale. Pour une description pétrographique applicable à l'ensemble de la coupe, nous proposons une nomenclature basée sur la classification de THOREZ (1964) pour les lithotypes détrito-carbonatés, tandis que les calcaires ont été définis en reprenant la nomenclature proposée par PIRLET (1965).

Les données numériques de l'analyse granulométrique des sédiments décalcifiés furent élaborées selon des techniques proposées par PASSEGA, DOEGLAS et SAHU; des courbes cumulatives de

probabilité et des paramètres graphiques ont été comparés. De cette étude on peut conclure que les sédiments sableux ont été déposés sur une large plate-forme (shelf) en bordure du continent. En comparant plusieurs caractéristiques du lithofacies, on peut diviser la colonne sédimentaire en séquences asymétriques, caractérisées par un accroissement graduel de la grosseur des grains. Le régime de distribution des sédiments détritiques résulte de décharges intermittentes par des courants marins, et ces décharges sont associées à des mouvements épirogéniques d'approfondissement saccadé du fond du bassin de Paris en voie de formation. Les décharges se sont produites sous une faible tranche d'eau agitée, ce qui a conduit à l'élimination des fractions fines et a permis la concentration des débris de fossiles. L'interprétation de la carte d'isopaches et la reconstitution de la paléogéographie locale du milieu sédimentaire indiquent un déplacement occidental du phénomène d'ensablement, suggérant un développement épirogénique dans l'espace aussi bien que dans le temps. La phase sableuse se termine par une surface taraudée, et est suivie immédiatement par une sédimentation tranquille marneuse dans un milieu lagunaire, privé de l'apport sableux. Dans une phase ultérieure, on remarque un apport limité de matériaux terrigènes, mais les sédiments montrent des aspects plus fluviatiles, l'apport de matériaux relativement fins s'effectuant dans un courant principalement unilatéral et l'action des vagues marines n'étant pas assez intensive pour entraîner complètement la fraction fine.

L'étude minéralogique de la fraction lourde des divers sédiments montre l'existence d'une association d'ubiquistes, complétée par des quantités notables de grenat. Cette association simple de tourmaline-zircon-rutile caractérise les sédiments triasiques et jurassiques du Luxembourg, mais le pourcentage important et l'aspect extérieur des grains de grenat suggèrent une provenance nord-orientale des sédiments sableux, qui proviendraient des couches triasiques recouvrant le massif

Ardenno-rhénan. La texture relativement grossière et la teneur élevée en grenat du Grès bigarré fait de celui-ci la source la plus probable des sables liasiques. Une répartition lithostratigraphique de la colonne sédimentaire, basée sur la teneur en minéraux denses, a été établie.

La composition des minéraux argileux des sédiments du Lias inférieur est qualitativement uniforme, mais montre des différences quantitatives importantes. Huit échantillons ont été étudiés, et partout on a remarqué la présence de kaolinite, de quartz, d'illite et d'édifices cristallins interstratifiés irréguliers aux caractères gonflants. Le pourcentage élevé de kaolinite dans les sédiments sableux est attribué à un héritage continental, où, de nouveau, le Grès bigarré du massif Ardenno-rhénan vient en considération comme source riche en kaolinite. Cependant, dans ces sédiments perméables, un processus de kaolinitisation par diagénèse subaérienne au cours d'une période préhettangienne, ne peut pas être exclu.

Finalement, quelques aspects diagénétiques de la surface des grains de quartz ont été étudiés à l'aide du microscope électronique à balayage. Sur ces grains on reconnaît de nombreuses cavités polygonales, et des figures de corrosion triangulaires, témoignant d'une intense action chimique; toutefois des phénomènes qui suggèrent une croissance de quartz secondaire ont aussi été observés. L'emploi du microscope électronique à balayage semble être prometteur pour l'analyse détaillée des processus de lithification et de diagénèse des sédiments.

INHOUD

Inleiding	7
I. Geologische en stratigrafische situering	8
1. Historiek	8
2. Sedimentologische en paleogeografische situering	10
II. Onderzoekingsmethodes	14
III. Petrografie	20
1. Nomenklatuur en klassifikatie	20
2. Lithotypes	24
IV. Korrelgrootteverdeling	32
1. Inleiding	32
2. Methode van PASSEGA	34
3. Kumulatieve kurve met waarschijnlijkheidsordinaat	38
4. Voorstellingswijze van DOEGLAS	38
5. Verwerkingsmethode met grafische parameters	41
6. Mathematische verwerkingsmethode van SAHU	44
7. Samengestelde lithofacieskurve	46
V. Onderzoek van de Zware Mineralenfractie	52
1. Methode	52
2. Samenstelling	56
3. Geologische interpretatie	58
4. Stratigrafisch belang	61
VI. Mineralogie van de kleifractie	63
1. Mineralogische samenstelling	63
2. Geologische interpretatie	66
VII. Studie van enkele diagenetische kenmerken op kwartskorrels, met behulp van de S.E.M.	71

Literatuur

- Fig. 1 Oriehoeksdiagram voor de klassifikatie van de Onder-Liasgesteenten
- Fig. 2a Diagram van PASSEGA
- Fig. 2b C-M diagram van de Onder-Liassedimenten
- Fig. 3 Kumulatieve kurvetypes met waarschijnlijkheidsordinaat
- Fig. 4 DOEGLAS-diagram van de Onder-Liassedimenten

- Fig. 5a 1ste percentiel versus procentueel gehalte van de fraktie kleiner dan 63 μ
- 5b Asymmetrie (Sk_I) versus standaarddeviatie (σ_I).
- Fig. 6 Lithofacieskurve van de sedimentenkolom
- Fig. 7 Uitbreiding van het zandige lithofacies in de omgeving van Aarlen. Rekonstruktie in 3 opeenvolgende periodes :
- 7a Bovenste deel van het Hettangiaan (top van zone met *Schlotheimia angulata*)
- 7b Onderste deel van het Sinemuriaan (basis van zone met *Arietites bucklandi*)
- 7c Bovenste gedeelte van het Sinemuriaan s.s. (zone met *Arnioceras semicostatum*)
- Fig. 8 Driehoeksdiagram met de verhouding toermalijn-zirkoon-granaat van de fraktie 88-125 μ
- Fig. 9 Diffractogrammen van de kleifraktie van 8 Onder-Lias-sedimenten
- TABEL I Stratigrafische indeling van het onderste deel van het Lias in België
- TABEL II Petrografische benaming van de Onder-Liassedimenten van de volledige kolom
- TABEL III Zware mineralen van de fraktie 88 μ -125 μ
- TABEL IV Zware mineralen van de totale zandfraktie.

INLEIDING

Op initiatief van de Geologische Dienst van België werd een diepboring uitgevoerd te Aarlen. De sedimentenkolom werd bemonsterd over meer dan 170 m en omvat nagenoeg het volledige Onder-Lias en het bovenste gedeelte van het Trias (GULINCK, LAGA & LEGRAND, 1973). Onderhavige studie beoogt bij te dragen tot de kennis van de sedimentologie van de zandige Onder-Liasafzettingen die karakteristiek zijn voor het extreme noordoostelijke deel van het Bekken van Parijs.

De zandige sekwentie, bekend als "Grès de Luxembourg" vertoont een duidelijk hetotopische oost-west ontwikkeling, en is geïnterkaleerd in het typische mergel-kalksteenfacies van het Onder-Lias van het Bekken van Parijs.

Omwille van het hydrogeologisch belang en de grote uitbreiding van deze permeabele sedimenten in het Groothertogdom, werd de "Grès de Luxembourg" gedurende de laatste jaren aldaar hydrogeologisch, stratigrafisch en sedimentpetrografisch grondig onderzocht.

In de provincie Luxemburg hebben de ontsluitingen van de kalkhoudende zandsteen beperkte afmetingen en treedt er plaatselijk soms volledige ontkalking op; bovendien zijn de ontsluitingen van het mergelig lithofacies zeer zeldzaam. De boring van Aarlen, daarentegen, heeft een volledige serie monsters geleverd, die toelaten de sedimentologische evolutie van de zandige sedimentatie en de overgang naar het mergel-kalksteenfacies van het Onder-Lias te bestuderen.

Wij danken zeer hartelijk Ir. M. Gulinck, die ons bereidwillig een vijftigtal boormonsters ter beschikking stelde.

I. Geologische en stratigrafische situering

1. Historiek

De zandige formatie, die het Onder-Lias van het Groot-hertogdom en de provincie Luxemburg kenmerkt, verschijnt als een lokale maar belangrijke interkalatie in de rustige mergelkalksteensedimentatie van het Onder-Jura van de mariene West-europese bekkens.

De zandige lens, waarvoor reeds in 1828 door STEININGER de benaming "Grès de Luxembourg" werd voorgesteld, vertoont welbepaalde en relatief konstante, petrografische kenmerken, maar een wisselende paleontologische inhoud. In het Groot-hertogdom werd de verzanding reeds ingezet in de zone met *Schlotheimia angulata*, d.i. in het Boven- en misschien reeds in het Midden-Hettangiaan (MULLER 1970), terwijl ten westen van Aarlen de basis van het zandig kompleks in de jongere lagen van het Onder-Sinemuriaan moet gesitueerd worden. Dit hetotopisch karakter van de "Grès de Luxembourg" was de oorzaak van langdurige onzekerheid over de synchronisatie van de verschillende formaties, en verklaart de vele controversen in de bevindingen van de oude stratigrafen. A.H. DUMONT deelt in 1842 zijn "Sable et Grès de Luxembourg" - die hij als Midden-Lias afzettingen beschouwt - in vier assisen in, waarvan alleen de onderste twee overeenkomen met de eigenlijke "Grès de Luxembourg"; zij worden bedekt door een kleiige kalksteen met *Gryphaea arcuata* (equivalent van de "Marne de Strassen") en tenslotte door de "Sable Supérieur", die overeenkomt met wat nu "Grès de Virton" genoemd wordt. In 1849 en 1852 heeft hij zijn interpretatie gepreciseerd. In 1854 en 1857 heeft G. DEWALQUE aangetoond dat in het westelijk deel van de provincie Luxemburg de bovenste zones van de "Grès de Luxembourg" gelijktijdig zijn afgezet als de "Marne de Strassen" in het oosten, waarvan hij tevens de klassieke definitie geeft :

"L'étage auquel nous conservons le nom de marne de Strassen a été décrit par M. STEININGER sous le nom de calcaire à gry-

phites (1828) et reconnu supérieur au grès. C'est le calcaire argileux et la marne formant la troisième assise du grès de Luxembourg de DUMONT (1842) et de D'OMALIUS d'HALLOY (1842). M. DE BENNIGSEN-FOERDER (1843) reconnut de même sa position sur le Grès de Luxembourg. Plus tard DUMONT le sépara nettement du grès sous le nom de marne de Strassen (1849), puis sous celui de calcaire argileux et marne de Strassen (1852), dénomination qui lui a été conservée par M. d'OMALIUS (1853) et par nous (1854). Nous l'avons décrit avec mon ami CHAPUIS (1851), sous le nom de marne de Strassen que nous conservons comme plus court et plus commode". (p. 46-47, 1857).

Nadat TERQUEM & PIETTE in 1862 de Onder-Lias-sedimenten in vier biozones hadden ingedeeld en D'OMALIUS d'HALLOY voor het bovenste deel van de "Grès de Luxembourg" in België, de term "Calcaire sableux d'Orval" had ingevoerd, onderscheidt DEWALQUE (1868) in het Lias van Luxemburg acht eenheden en voert hij de term "Grès de Florenville" voor het onderste deel van de "Grès de Luxembourg" in. In 1894 gebruikt DORMAL voor het eerst de benaming "Sables de Metzert à *Littorina clathrata*" voor de kalkarme zanden in het onderste deel van de "Grès de Luxembourg" ten noorden van Aarlen, en behorend tot de zones met *Ammonites angulatus* (= Hettangiaan). In het begin van deze eeuw werd de detailstratigrafie van de Lias-sedimenten in België verder uitgewerkt door JOLY (1907, 1936) en JEROME (1904, 1911).

In 1948 plaatst MAUBEUGE de Grès d'Orval (W) en de Marne de Strassen (E) - gekenmerkt door het gidsfossiel *Arnioceras semicostatum* - in het Lotharingiaan. Het Sinemuriaan s.s. wordt beperkt tot de Grès de Florenville en de Marne de Warcq, en aan de top vermoedt de auteur een sedimentatielakune. In 1950 situeert MAUBEUGE, in navolging van MAILLIEUX (1946), de "Sables de Metzert" in het Sinemuriaan als alteratiefacies van de "Grès de Florenville".

Bij de detailstudie van de Côte Rouge (cuesta ten N.

van Aarlen) besluit MONTEYNE (1959) dat het grootste gedeelte van de afzetting van Metzert toch tot het Hettangiaan behoort, en dat alleen het topniveau, de zgn. "lumachelle de Metzert" of "gisement de Metzert" van Sinemuriaan-ouderdom is. Hij gebruikt de term "Marnes d'Arlon" als equivalent van de Marnes de Hondelange inférieures van JEROME, nl. als aanduiding van een mergelniveau in de omgeving van Aarlen, en behorend tot het Lotharingiaan. We willen hierbij aanstippen, dat de stratigrafische term "Virtoniaan" in de recente literatuur niet meer gebruikt wordt, en dat het Lotharingiaan (gedefinieerd door de zones met *Arietites turneri*, *Oxynoticeras oxynotum* en *Echioceras raricostatum*) voortaan het bovenste gedeelte van het Sinemuriaan s.l. aanduidt. Het Sinemuriaan s.s. wordt beperkt tot de zones met *Arietites bucklandi* en *Arnioceras semicostatum*.

2. Sedimentologische en paleogeografische situering

In 1966 werd door BINTZ en MULLER een isopachenkaart opgesteld voor de "Grès de Luxembourg" in het Groothertogdom. De isopachen vertonen overwegend een SW-NE oriëntatie.

De zone met de grootste verticale uitbreiding loopt van Differdange (100 m) over Luxemburg-stad (85 m) naar Echternach. Dezelfde configuratie vinden we terug in de isopachenkaart van het Sinemuriaan-Hettangiaan in het aangrenzende noordoostelijke deel van Frankrijk. POUJOL (1961) merkt op dat de zone met maximale dikte zich na het Rhetiaan iets naar het NW verplaatste, waarbij in het noordoosten het bekken van Longwy werd afgesplitst. Deze noordwestelijke verschuiving van de isopachenlijnen in jongere lagen moet wellicht in verband gebracht worden met het verzandingsfenomeen gedurende het Hettangiaan en Sinemuriaan in dit gebied. Maar niet alleen in het patroon van de isopachenlijnen domineert de NE-SW oriëntatie. Zowel MONTEYNE (1960) als BINTZ (1966) vinden bij de opname van de maximale hellingswaarden en de korresponderende oriëntaties van de schuine lagen (Stratification oblique -

TABEL I : Stratigrafische indeling van het onderste deel van het Lias in België

DUMONT 1849 DEWALQUE 1868 DORMAL 1894 JEROME 1911 MAUBEUGE 1954 MONTEYNE 1958

LIAS SUPERIEUR Sable, Schiste et Macigno d'Aubange	Grès de Virton	VIRTONIAAN Vr.1 ^m M.sabl. de Hondelange Vr.1 ^s .Grès de Virton	Vra. ^{ss} Virt.s. sup. Vra. ^{ms} M.de Hon- delange sup. Vra. ^{mm} M.de Hondelange moy. Vra. ^{si} Virt. sabl.infér. Vra. ^{mi} M.de Hon- delange inf.	E gebied LOTHARINGIAAN Grès de Virton et Sables de Stockem M.sableuse de Hondelange (Grès d'Orval) M. de Strassen	omgeving Aarlen Lo ^{ss} :Sables de Stockem Lo ^{mm} :M. de la Posterie Lo ^{si} :S. et grès de Bonnert Lo ^{mi} :M. d'Arlon
LIAS MOYEN M.de Strassen Sable et Grès de Luxembourg	LIAS INFÉRIEUR M.de Strassen (E) en Grès d'Orval(W) Grès de Florenville	SINEMURIAAN Sn2. ^m M. de Strassen Sn2. ^s Calc.sabl. d'Orval Sn.1. ^s Calc.sabl. de Florenville Sn1. ^m M. de Warcq (W)	M. de Strassen Calc.s.d'Orval Calc.sabl.de Florenville M. de Warcq	M. de Strassen ----- lakune ? SINEM. ss. Grès de Flor. M. de Warcq S. et grès de Metzert	SINEMUR. ss. (Grès d'Orval) M. de Strassen -----? Calc.grés. de Florenville Sables de Metzert
LIAS INFÉRIEUR M. de Jamoigne Sables de Mortinsart	M.de Jamoigne Grès de Mortinsart	HETTANGIAAN Ht.2 ^s Sables de Metzert (E) Ht2. ^m M.de Ja- moigne (W) Ht.1. ^m M.d'Helm- singen Ht.1. ^s Grès de Rossignol	Sables de Met- zert M.de Jamoigne M.d'Helmsingen Grès de Rossignol?	M. de Jamoigne M. d'Helmsingen Grès de Rossignol	(M.de Jamoigne) M.d'Helmsingen (Grès de Rossignol)

Schrägschichtung) een dominerende SW-NE komponente. De auteurs besluiten hieruit dat zowel in de provincie als in het Groothertogdom Luxemburg het zandig materiaal van de "Grès de Luxembourg" door kuststromingen van het noordoosten naar het zuidwesten werd aangevoerd. We willen hierbij aanstippen dat BINTZ voor de stroomrichting ten noorden van Aarlen (Côte Rouge) een SSE oriëntatie opgeeft, terwijl MONTEYNE in zijn diagram ook te Metzert een belangrijke N-S vektor voorstelt.

Tenslotte worden door MONTEYNE (1960) en MULLER & RASCHE (1971) ook granulometrische analyses verricht op de "Grès de Luxembourg". MONTEYNE stelt vast dat de gemiddelde korreldiameter van deze zandige sedimenten in België kleiner wordt van oost naar west, en besluit dat de Sine-muriaanzanden gekenmerkt worden door een belangrijke transportkomponente in die richting. MULLER & RASCHE (1971) onderzoeken de korrelgrootteverdeling van de "Grès de Luxembourg" in enkele profielen ten oosten van Luxemburg-stad. Zij verwerken granulometrische parameters van TRASK in diagrammen volgens de methode van FRIEDMAN, en besluiten dat de Zanden van Luxemburg in dit gebied enerzijds in een strand- en anderzijds in een shelfzone werden afgezet. Bovendien worden voor elk profiel de gemiddelde korrelgroottewaarden van het onderste, middenste en bovenste deel van de zandige afzetting op kaart gebracht. De auteurs menen dat in het onderzoeksgebied het oudste deel van deze formatie in een relatief diep en energiearm milieu afgezet werd, en dat de as van de zandige lens een NNE-SSW oriëntatie had. In de jongere lagen nam de energie in het afzettingsmilieu steeds toe, en verschoof de as van de zandsedimentatie met een parallelle NNE-SSW oriëntatie naar het NW.

Aldus wordt de vorming van de "Grès de Luxembourg" door de verschillende auteurs toegeschreven aan een verzandingsfenomeen dat zich parallel aan de kust van het Hercynisch massief

van de Ardennen heeft ontwikkeld. Het betreft een herwerking van Trias-sedimenten die het oosten van het Ardennen-Rijnmassief zouden bedekt hebben, en die via de Eifeldepressie door mariene stromingen in het noordoostelijk deel van het Bekken van Parijs werden aangevoerd. MULLER en RASCHE verklaren het opstijgen van de zandige lens in stratigrafisch jongere lagen in noordwestelijke richting door het voortdurend inzinken van het Ardennenmassief, gekoppeld aan een transgressie naar het NW gedurende het Onder-Lias. LUCIUS (1948, 1955) echter, was van oordeel dat het afzettingspatroon van de "Grès de Luxembourg" en de facieswisselingen in Luxemburg, niet of althans niet in de eerste plaats moeten verklaard worden door een voortdurend veranderende kustlijn, maar veeleer door epirogenetische bewegingen die zich met een periodiek en lokaal wisselende intensiteit van het oosten naar het westen zouden ontwikkeld hebben.

In 1967 verricht MULLER een gedetailleerde stratigrafische studie van "die Mergel und Kalke von Strassen" op materiaal van een boring te Contern (FG 11). Het contact tussen het zandige facies en de jongere mergel-kalksteensedimentatie komt er ongeveer overeen met de grens Hettangiaan-Sinemuriaan. MULLER onderscheidt in het Sinemuriaan s.s. op basis van het kalkgehalte vijf sekwenties. De onderste twee, die aan de hand van de microfauna stratigrafisch in de *bucklandi*-zone gesitueerd worden, beschouwt de auteur als afgezet in een rustig lagunair milieu :

"Die Untere Gruppe zeigt einen klaren Aufbau. Mit steigendem Ca-Gehalt nehmen die P- und Bitumenwerte konform ab. Die in der Anfangsphase noch vorhandene turbulente Sandeinschwemmung baut sich nach oben hin ab. Es entwickelt sich eine mit grossen Hungarellen gekennzeichnete, vorherrschende Ostracodenfauna. Auch die Foraminiferen werden grosswüchsiger. Insgesamt entspricht die Untere Gruppe einem seichtem, lagunären Milieu". (p. 70).

Voor de bovenste drie sekwenties, behorend tot de *semi-*

costatum-zone vindt MULLER aanwijzingen voor een delta-achtig afzettingsmilieu :

"Die obere Gruppe verkörpert Ablagerungen eines tieferen Sedimentationsraumes, der auch für die höheren Sequenzen nicht so stark verflacht, wie dies in der liegenden Gruppe der Fall war. Die anfängliche Eintiefung wirkt sich lebenshemmend aus. Im mittleren Teil stellen sich günstige Bedingungen für eine Phosphor- und Mg-Anreicherung ein. Bei insgesamt turbulenteren Strömungsverhältnissen verschiebt sich die Zusammensetzung der kleinwüchsigeren Foraminiferen eindeutig zu Gunsten von *Lingulina*. Diese Kriterien deuten auf ein delta-ähnliches Ablagerungsmilieu hin". (p. 70).

In het begin van het Lotharingiaan zou - volgens MULLER - het bekken in dit gebied, via cyclische pulsaties dieper geworden zijn. De latere mergel- tot kleisedimentatie zou gekoppeld zijn gegaan met de verwijdering van de zandige aanvoer, die eventueel maar niet noodzakelijk gepaard ging met een verdieping van het sedimentatiemilieu.

Voor de geologische situering van de Boven-Trias- en Onder-Liasafzettingen in een geografisch breder kader, nl. de NE rand van het Bekken van Parijs, verwijzen we naar een recente studie van MULLER (1974).

II. Onderzoekingsmethodes

a. ONTKALKING

De 49 monsters van de boring (nr. 254) werden eerst ontkalkt. Daarvoor werd ongeveer 300 g materiaal afgewogen en behandeld met zoutzuur 0,5 N in een bad van 55°C bij voortdurende agitatie. Met ultrasone trillingen werd getracht mogelijke coatings op de zandkorrels los te maken, en vervolgens werden de ontkalkte sedimenten nat gezeefd met een 50 μ zeef. De granulometrie van de grove fraktie werd bepaald door droge zeping, terwijl de leem- en kleifraktie met de sedimentatiebalans in fijnere frakties opgesplitst werd.

b. ZEVING

De zevenkolom bestond uit 9 eenheden, waarvan de maas- openingen gebaseerd zijn op de Wentworth-schaal, nl. 1000 μ -707 μ -500 μ -354 μ -250 μ -177 μ -125 μ -88 μ en 63 μ . Wanneer de fraktie kleiner dan 50 μ meer dan 5 % van het totale sediment uitmaakte, werd zij met de sedimentatiebalans verder onderverdeeld.

c. SEDIMENTATIEBALANS

Ongeveer 250 mg materiaal van de fraktie kleiner dan 50 μ werd in suspensie gebracht en bovenaan de waterkolom voorzichtig ingegoten. Het veranderende gewicht op een schaal onderaan de kolom werd kontinu geregistreerd in functie van de tijd. Op basis van de wet van Stokes kon berekend worden hoeveel tijd een partikeltje van een bepaalde grootte nodig had om te bezinken

$$t = \frac{k}{D^2}$$

waarin t = tijd (in sec.)

D = diameter van het partikel (in μ)

$$\text{en } k = \frac{0,3 \times h \times v \times 10^8}{(d_m - d_1) \times g}$$

waarin h = hoogte van de waterkolom

v = viscositeit van de sedimentatievloeistof

d_m = soortelijke massa van het sediment

d_1 = soortelijke massa van de sedimentatievloeistof

g = versnelling van de zwaartekracht

Aan de hand van de valtijden konden we op de registratie- kurve de gewichtsprocenten van de verschillende diameter- intervallen bepalen; deze waarden werden betrokken op het totale gewicht van het sediment.

d. ZWARE MINERALENFRAKTIE

Van het ontkalkte sediment werd zo mogelijk 20 g van de zandige fraktie in een met bromoform gevulde scheidtrechter gebracht (s.m. 2,87). De vloeistof werd voorzichtig omgeroerd,

de zware partikels werden afgetapt en vervolgens nagewassen met alcohol. De gedroogde zware mineralen werden tenslotte afgewogen en op een draagglas met canadabalsem ingebed. Deze werkwijze werd eveneens toegepast op de zandige fraktie van 88 tot 125 μ . Met de petrografische mikroskoop werden de korrels op lijn geteld tot honderd, waarna alleen de transparante, niet sterk verweerde, korrels werden geteld, opnieuw tot het totaal honderd bedroeg.

e. KLEIMINERALOGISCH ONDERZOEK

In deze studie werden de kleimineralen geïdentificeerd door X-stralendiffractie op georiënteerde aggregaten in een fraktie kleiner dan 2 micron. Deze fijne fraktie werd afgescheiden door sedimentatie en centrifugatie, en de niet uitvlokkende vloeistof werd bij kamertemperatuur op een glasplaatje gedroogd. Het preparaat werd hierna in een exsiccator gebracht en vervolgens werd een eerste diffractogram gemaakt van het natuurlijk monster. Deze kleimineralen zijn dus verzadigd met Ca^{++} , omdat de sedimenten vooraf ontkalkt werden met zoutzuur. Andere diffractogrammen werden bekomen na verzadiging met Mg^{++} , na verzadiging met glycol en na verwarming tot 550°C gedurende 2 uur. Het materiaal werd ook nog verzadigd met K^+ , en hierna in enkele gevallen verwarmd tot 200°C. De diffractometer bestaat uit een Philips goniometer PW 1050/25 en een Philips generator PW 1010, met een koper-antikathode en een nikkelfilter. Er werd gewerkt bij een spanning van 40 kV en een intensiteit van 20 mA. Verdere registratiekarakteristieken :

spleetopeningen : 1°; 0,1 mm

rotatiesnelheid 2°20/min

tijdsconstante : 1

f. KLEURTECHNIEKEN

Bij de behandeling van een karbonaatrijke mergelsteen en van een organoklastrijke kalksteen met de koude alizarine-rood S oplossing van FRIEDMAN (1959) trad een intense rood-

kleuring op. Een verdere immersie van de sedimenten in een koude FEIGL-oplossing, volgens de karbonaatkleuringstechnieken van FRIEDMAN en WARNE (1962) bracht geen belangrijke aanwezigheid van aragoniet-mineralen aan het licht. Ook de chemische behandelingen met een gekombineerde alizarine-rood-kaliumferri-cyanide oplossing, en met een warme alizarine-rood oplossing in alkalisch milieu hadden een negatief resultaat, zodat noch Fe-rijk calciet, noch zeer Mg-houdend calciet als belangrijke componenten van de karbonaatgesteenten kunnen beschouwd worden.

Naast de karbonaatmineralen werden ook de veldspaatkorrels van de lichte fraktie van de monsters 23,5 en 51,0 selektief gekleurd.

GABRIEL en COX hadden reeds in 1929 een natriumkobaltnitriet-oplossing gebruikt om veldspaten van kwartskorrels te onderscheiden. Vervolgens werden de plagioklazen van de K-veldspaten onderscheiden door kleuring met een verzadigde natriumrhodizonaatoplossing volgens de methode van BAILEY en STEVENS (1960). Aldus konden in de Onder-Lias sedimenten een klein gehalte aan verweerde K-veldspaten herkend worden, maar de aanwezigheid van enkele plagioklaaskorrels bij monster 23,5 kon niet met zekerheid vastgesteld worden.

g. KARBONAAATBEPALING

Voor de bepaling van het karbonaatgehalte van de fijn-gemaakte gesteenten werden 2 methoden gebruikt : een vlugge maar relatief weinig nauwkeurige bepaling met de CO₂-gasometer, en een in principe meer nauwkeurige vlugge titratietechniek.

GASOMETRISCHE CO₂ BEPALING :

De volumetrische kalkbepaling steunt op de chemische reactie :



Er moet steeds voldoende zoutzuur aangewend worden opdat de chemische reactie volledig zou aflopen.

De scheikundige reactie gaat door in een afgesloten glazen fles die via een afsluitbare stop in verbinding staat met de gesloten arm van een U-vormige buis. Hier duwt het vrijgekomen koolzuurgas een methyleenblauw-oplossing naar beneden tegen de vloeistofdruk in, en de graad van verplaatsing van het kleurstofniveau is afhankelijk van het karbonaatgehalte van het monster. Er moet een temperatuurcorrectie worden uitgevoerd.

KARBONAATBEPALING DOOR TITRATIE

Aan 2,5 g sediment werd voorzichtig 50 ml HCl 1 N toegevoegd. De vloeistof werd enige tijd omgeroerd op een verwarmde plaat, tot het bruisen volledig ophield. Tenslotte werd de overmaat zuur van de koude oplossing getitreerd op 0,5 N of 1 N NaOH. Het verloop van de zuurneutralisatie kon gevolgd worden met de pH-meter, ofwel kon getitreerd worden met fenolftaleïne als indicator.

Merk op dat bij aanwezigheid van ijzer reeds vanaf een relatief lage pH ijzerhydroxide uitvlokt, waardoor de fenolftaleïneomslag zeer onscherp wordt. Met de pH-meter kan dit gedeeltelijk ondervangen worden door te titreren tot voor de pH-sprong en verder aan te vullen met een referentiekurve. Voor niet sterk gecementeerde gesteenten waarvan het karbonaat gemakkelijk in oplossing kan gebracht worden, kan men ook zwavelzuur in plaats van zoutzuur gebruiken. Een uitvloking gebeurt dan pas bij een hoge pH-waarde.

Berekening :

$$\text{karbonaatgehalte \%} = \frac{M(vt - v't')}{10.n.a}$$

waarin M = moleculair gewicht van CaCO_3 (100)

v = volume zoutzuur (50 ml)

t = titer zoutzuur

v' = volume natriumhydroxide

t' = titer NaOH

n = 2

a = begingewicht (2,5 g)

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{100}{10} \cdot \frac{1}{2,5} \cdot \frac{1}{2} \quad (50t - v't')$$

$$\% \text{CaCO}_3 = 2(50 \times t_{\text{HCl}} - t_{\text{NaOH}} \times \text{vol. NaOH})$$

h. SCANNING ELEKTRONENMIKROSKOOP

Bij het onderzoek van de gesteenteslijpjes met de petrografische mikroskoop stelden we vast dat de randen van sommige kwartskorrels duidelijke korrosieverschijnselen vertoonden, die vermoedelijk te wijten zijn aan de vervanging van silica door secundair calciet. Ook veel breuklijnen konden op het kwartskorreloppervlak waargenomen worden, wat misschien verklaard kan worden door de kristallisatiedruk van het cement. De scanning elektronenmikroskoop biedt de mogelijkheid om diagenetische processen op de kwartskorreloppervlakken driedimensionaal en zeer gedetailleerd te observeren. De preparatie van de monsters is eenvoudig : het materiaal wordt eerst bestudeerd met een binoculair mikroskoop, en er wordt eventueel een schets gemaakt om de interessante karakteristieken na de "coating" gemakkelijk terug te vinden. Dan wordt het gesteente-fragmentje met een geleidend kleefsel gemonteerd op een metalen tafeltje. Om de vorming van elektrostatische ladingen op het oppervlak van het specimen te vermijden, wordt het preparaatje in een vacuüm-evaporator bedekt met een dun geleidend filmpje van koolstof of een zwaar metaal (Au, Pd).

Naast de natuurlijke Onder-Lias sedimenten werden ook afzonderlijke kwartskorrels gemonteerd na ontkalking met zoutzuur en ontijzering met stannochloride.

De opnamen gebeurden met een Stereoscan (Cambridge Scientific Instrument Ltd) bij een acceleratiespanning van 30 kV, en een aftastsnelheid van 40 resp. 100 seconden, voor vergrotingen kleiner, resp. groter dan 1000x.

Voor andere technische gegevens over het gebruikte apparaat verwijzen we naar de publikatie van DE METS en LAGASSE (1970).

III. Petrografie

1. Nomenklatuur_en_klassifikatie

MULLER (1967) heeft voor de beschrijving van de "mergels van Strassen" de kalksteenklassifikatie van FOLK (1959) gebruikt, met nomenklatuuraanpassingen ontleend aan PIRLET (1965). MONTEYNE (1958) geeft een petrografische beschrijving van de harde kalksteenbanken die in de zandige sedimenten geïnterkaleerd zijn. Voor de meest voorkomende gesteenten behoudt hij de oude, weinig precieze term "grès calcaire" (kalkzandsteen). Hij merkt nochtans op dat deze gesteenten beter "zandige organo-detritische kalksteen" zouden genoemd worden : "En conclusion, conformément aux analyses microscopiques et chimiques, il convient d'appeler ces roches des calcaires gréseux organo-détritiques. Toutefois, comme dans la gamme des sédiments calcaro-gréseux sinémuriens consolidés, ce type de roche est celui qui renferme la plus grande partie de quartz et que partout on le voit passer latéralement au sable, je lui ai conservé dans les descriptions locales le nom de grès calcaire par lequel il a toujours été désigné". (p. 243). Naast deze kalkzandsteen, voor dewelke de auteur 50 % tot 80 % karbonaat opgeeft, vermeldt MONTEYNE alleen weinig coherente zanden, die hij, na ontkalking, als los zandig materiaal beschrijft.

FOLK steunt zijn indeling van sedimentaire gesteenten op het kwantitatieve belang van 3 componenten, nl. :

- 1) Terrigene bestanddelen : ze zijn afkomstig van erosie van een gebied buiten het sedimentatiebekken en erin gevoerd onder de vorm van vaste bestanddelen : vb. kwarts- en veldspaatkorrels, zware mineralen, kleimineralen, chert- of kalksteenkeien.
- 2) Allochemische bestanddelen zijn substanties, neergeslagen uit oplossingen binnen het sedimentatiebekken, maar ze hebben later transport ondergaan of zijn georganiseerd in aggregaten. Types : intraklasten, oëlieten, fossielen en pellets.
- 3) Orthochemische bestanddelen zijn chemische neerslagen, die

gevormd werden binnen het sedimentatiebekken en geen belangrijk transport ondergaan hebben. Bv. mikrokristallijn calciet- of dolomiet-slib, spatig calciet en herkristallisatie- of vervangingsmineralen.

Wanneer de terrigene componenten meer dan 50 % van het gesteente vormen, wordt dit door FOLK als terrigeen beschouwd, en in zijn klassifikatie niet verder behandeld. Dit verklaart waarom MULLER geen benaming opgeeft voor de mergels die minder dan 50 gewichts % karbonaat bevatten. In tegenstelling met de Luxemburgse mergels van Strassen blijft het karbonaatgehalte van de onderzochte mergels van deze boring steeds duidelijk onder de 50 % waarde, zodat de voorgestelde kalksteenterminologie niet zonder aanpassingen kan gebruikt worden.

Ook de klassifikatie van P. MICHOT (1958) voor de psammitopelitische gesteenten lijkt ons niet geschikt, omdat geen rekening gehouden wordt met het karbonaataandeel, dat in deze mergels 30 gewichts % kan bedragen. THOREZ (1964) heeft voor de klassifikatie van de detrito-karbonaatgesteenten van het Famenniaan een driehoeksdiagram opgesteld, dat geïnspireerd werd door het werk van MICHOT, maar hij voert als derde hoofdelement het karbonaatgehalte in. De door ons gebruikte nomenklatuur voor de Onder-Lias gesteenten wordt voorgesteld in een driehoeksdiagram, met op de hoekpunten karbonaat, klei en kwarts (fig. 1). De term "klei" wordt in ruime zin geïnterpreteerd, en omvat naast de kleimineralen ook de kwartsdeeltjes kleiner dan $3\mu^*$. Het veldspaatgehalte van de gesteenten is zeer gering (een weinig K-veldspaat), zodat de benaming van THOREZ moest aangepast worden. Naast de samenstelling van de korrels, cement- en bindmiddel steunt de indeling ook op structurele verbanden tussen de korrels en het bindmiddel.

Er worden drie structuurtypes onderscheiden :

1) kwartsitische structuur, waarbij de detritische korrels

* Deze bovengrens werd om praktische redenen gekozen : omwille van de grote valtijd van partikels kleiner dan 3μ , werd met de sedimentatiebalans de fijnere fraktie niet altijd geregistreerd.

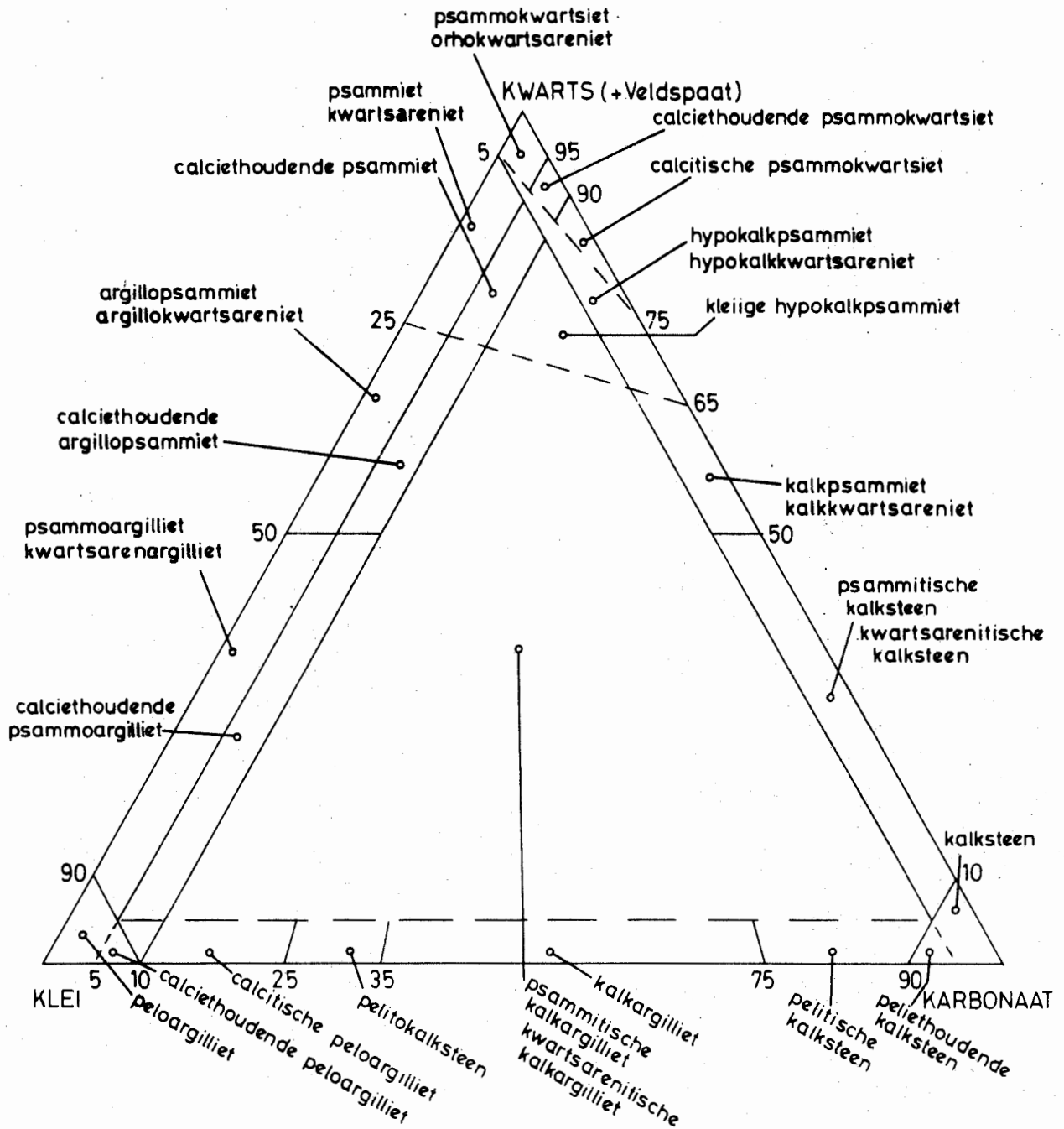


Fig. 1 Driehoeksdiagram voor de klassifikatie van de Onder-Liasgesteenten

elkaar raken en een cement of matrix nagenoeg ontbreekt,
 2) netvormige structuur (structure réticulée), waarbij de korrels gescheiden worden door een bindmiddelfilm van minder dan 10 μ .

3) inbeddingsstructuur (structure empâtée) waarbij de detritische korrels geïsoleerd voorkomen en a.h.w. zweven in een cement of matrix.

Voor de benaming van de Onder-Lias gesteenten stellen wij een aantal aanpassingen voor :

- De term PSAMMIET wordt in zijn ruime betekenis gebruikt, om een zandig gesteente met netvormige structuur aan te duiden, waarvan de korrelgrootte varieert tussen 60 μ en 250 μ . De aanwezigheid van de detritische glimmers is niet noodzakelijk, alhoewel voor vele Belgische geologen het begrip "psammiet" geassocieerd wordt met een welbepaald lithotype van het Famenniaan, met hoog gehalte aan glimmers en een plaatvormig gezoneerd aspect. Daarom gebruiken wij als alternatieven, de termen KWARTSRUDIET, KWARTSARENIET en KWARTSLUTIET, waarbij de termen rudiet, areniet resp. lutiet, wijzen op korrelgrootten van meer dan 1 mm, 50 μ tot 1 mm, resp. kleiner dan 50 μ .
- De aanduidingen PSAMMITISCH en PSAMMO- worden gebruikt voor korrelgrootten tussen 60 μ en 250 μ , terwijl de termen MICROPSAMMITISCH en MICROPAMMO-, gesteenten aanduiden waarvan het belangrijkste gedeelte (>50 %) van de kwartskorrels kleiner is dan 60 μ .
- De term ZANDIGE KALKSTEEN wordt gebruikt wanneer het koolstofgehalte 50 gewichts % overtreft.
- De term SCHISTE wordt vervangen door ARGILLIET, omdat schiste in het Nederlands voorbehouden wordt voor gesteenten die metamorfisme (in ruime zin) hebben ondergaan.
- THOREZ heeft een verband vastgesteld tussen structuurtype en samenstelling. Hij vond dat in arkosen van het Famenniaan, een netvormige structuur reeds bij een kleigehalte van 5 % optreedt, terwijl de kwartsitische structuur pas bij 25 %

karbonaat verloren gaat. De inbeddingstructuur treedt op vanaf 15 % klei en 35 % karbonaat. Omdat nochtans in de kleihoudende Onder-Lias sedimenten de klei hoofdzakelijk geconcentreerd is in een aantal fijne lamelletjes komt de netvormige structuur voor tot het kleigehalte 25 % bedraagt.

- In plaats van de term PSAMMOSCHISTE gebruiken wij ARGILLO-PSAMMIET en PSAMMOARGILLIET, naargelang de kwarts- of de klei-komponente domineert.

- Tenslotte worden enkele beschrijvende adjectieven gebruikt, met volgende betekenis :

- { calciethoudend : 5-10 % calciet
- { calcitisch : 10-25 % calciet
- { organoklasthoudend : 0-5 % kalkfossielen
- { organoklastisch : 5-30 % "
- { pseudo-oöliethoudend : 0-5 % pseudo-oölieten
- { pseudo-oölitisch : 5-30 % "

2. Lithotypes

a. Calciethoudende en calcitische psammokwartsiet

(alternatieve term : calciethoudende en calcitische ortho-kwartsareniet)

Het zijn de meest zandige sedimenten van de kolom. Een kleimatrix ontbreekt, en het karbonaatgehalte is lager dan 25 gewichts %. Door dit gering cementgehalte zijn het zeer broze en poreuze zandstenen, waarvan men geen slijpjes kon vervaardigen met behoud van de structuur. Derhalve was een precieze structurele indeling moeilijk en werd de numerieke indeling van de kwartsitische structuur van THOREZ behouden. De kwartskorrels zijn relatief goed gesorteerd en hun gemiddelde korrelgrootte ligt tussen 120 en 210 μ . De omtrekken van de kwartskorrels zijn nochtans meestal onregelmatig, wat vermoedelijk een gevolg is van korrosie- en oplossingsverschijnselen. In het calcietcement konden geen biogene structuren onderscheiden worden. Subrhomboëdrische korrels komen voor en zijn meestal in nesten geconcentreerd. Bijkomstig kunnen

enkele kleine korrels van zirkoon en toermalijn herkend worden, en enkele zeldzame microkeitjes, vermoedelijk uit schiefer.

b. Hypokalkpsammiet

(alternatief : hypokalkkwartsareniet)

De kwartskorrels in dit lithotype vertonen dezelfde karakteristieken als in vorig type, maar worden nu gescheiden door overwegend subrhomboëdrische calciëtkorrels die meestal ongelijkmatig verspreid zijn, en soms echte poecilitische interstitiële vlekken vormen : calciëtkorrels groeien uit tot monokristallijne rhomboëders, waarin enkele kwartskorrels ingesloten zijn (microfoto 1). Het karbonaatgehalte kan tot 35 % bedragen, en enkele omtrekken van kalkfossielen kunnen herkend worden.

c. Psammiet en kleiige hypokalkpsammiet

(alternatief : kwartsareniet en kleiige hypokalkkwartsareniet)

De kwartskorrels zijn ingebed in een kleiige karbonaatmatrix, die de gesteenten een netvormige structuur verleent. De korrelgrootte varieert tussen 70 en 120 μ en het kleilig materiaal is hoofdzakelijk in fijne lamelletjes geconcentreerd. Dit microlaminatie aspect beïnvloedt de tekstuur en de nomenclatuur van het gesteente. Het karbonaatgehalte is van dezelfde orde als het vorige type, en ook hier kunnen kalkfossielen gevonden worden.

d. Calciëthoudende micropsammoargilliet en micropsammitische kalkargilliet (Calciëthoudende kwartslutargilliet en kwartslutitische kalkargilliet)

De fijne detritische korrels liggen in een karbonaatrijke pasta ingebed. De gemiddelde korreldiameter is merkkelijk kleiner dan 60 μ , en de zandige fraktie is beperkt tot enkele procenten. In de meest kalkrijke mergels kunnen enkele grote kalkfossielfragmenten onderscheiden worden. De kleiige pasta

bevat belangrijke hoeveelheden kryptokristallijn calciet. De fijne kwartskorrels kunnen in verschillende niveaus geconcentreerd voorkomen, waardoor het gesteente een microgezoneerd aspect verkrijgt.

e. Psammitische kalkargilliet

Deze gesteenten worden in dezelfde uitgebreide zone van het diagram gesitueerd als het vorig lithotype, maar de kwartskorrels zijn overwegend groter dan 60μ . Het kwartsrijke type sluit structureel aan bij de kleiige hypokalkpsammiet (microfoto 2), en de karbonaatrijke psammitische kalkargilliet vertoont kenmerken van het psammitische kalksteentype.

f. Kalkpsammiet (Kalkkwartsareniet)

Het gesteente is samengesteld uit kwartskorrels en fossielfragmenten die elkaar niet raken en samengehouden worden door een calcietcement. De gemiddelde afmetingen van de zandkorrels zijn van dezelfde orde als bij de psammo-kwartsieten.

Het gehalte aan kalkfossielen is aanzienlijk hoger; het zijn meestal gerolde fragmenten van Lamellibranchiata met vezelige structuur, en van afgeronde Echinodermata. Soms is een microgelaagdheid herkenbaar: het gesteente vertoont een afwisseling van enerzijds zones met overwegend subangulaire kwartskorrels en ondergeschikt onregelmatige calcietkorrels als cement, en anderzijds meer karbonaatrijke zones met fijne subhorizontaal georiënteerde fossielfragmenten, ingebed in een calcitisch cement, en ondergeschikt fijne kwartskorrels (microfoto 3).

g. Psammitische kalksteen (Kwartsarenitische kalksteen)

Deze gesteenten bevatten meer dan 50 % karbonaat. Volgens de nomenklatuur van PIRLET behoren ze tot de groep van de "somatieten", omdat een kryptokristallijne matrix ontbreekt. De monsters 68,5 en 98,5 worden hoofdzakelijk

opgebouwd uit klastische kalkfossielfragmenten, en moeten dus als organoklasten beschouwd worden. Het kwartsmateriaal is accessorisch en relatief grofkorrelig. De karbonaatrijke sedimenten aan de top van de "Grès de Luxembourg" (48,5 en 45,0) bevatten tevens ronde of ovale deeltjes waarvan de afmetingen hoofdzakelijk variëren tussen 100 en 300 μ (microfoto 4). Het centrale gedeelte is meestal leeg; soms komt een hoekig of niet samengestelde kwartskorrel in de kern voor; in andere gevallen bestaat het inwendige van het sferische deeltje geheel of gedeeltelijk uit structuurloos kryptokristallijn calciëet of uit helder sekundair calciëet. Ook samengestelde lobvormige holten kunnen waargenomen worden, maar de samenstellende deeltjes blijken ook hier een bepaalde individualiteit te hebben bewaard (microfoto 5). Zowel de afzonderlijke als samengestelde lichaampjes vertonen een fijne mikrokristallijne omlijsting met een radiaire structuur. Fijne langwerpige calciëetkorrels staan loodrecht op de ovale partikels, en van deze deeltjes weg is er een overgang naar grotere, onregelmatig georiënteerde heldere calciëetkorrels (microfoto 6). Dit spatig calciëet kan soms uitgroeien tot een groot kristal van meerdere honderden microns, met eenzelfde uitdoving en een monokristallijn aspekt. Rond de kwartskorrels, die nooit de volledige ruimte van de sferische lichaampjes vullen, kunnen in de gesteenten van de boring van Aarlen, geen radiaire of concentrische structuren herkend worden. MONTEYNE (1966) herkende echter in bepaalde niveaus van de zandige formatie een duidelijke vezelig-radiaire cortex; hij beschouwt de sferische partikels als "echte" oölieten, die gevormd werden in bewogen water, en waarbij de groei gebeurde in concentrische lagen rond een nucleus, tot de deeltjes te zwaar werden om nog in suspensie te blijven. Het feit dat in een aantal oölieten geen nucleus voorkomt, schrijft de auteur toe aan een tangentiële doorsnijding van het partikel. Het voorkomen van samengestelde sferische deeltjes zou dan een volume-expansie impliceren bij de precipi-

tatie van karbonaat in de poriën, waardoor de afzonderlijke oëlieten op enkele plaatsen tegen elkaar worden aangedrukt, en een gedeelte van de cortex zou opgelost worden. DAPPLES (1971) meent dat karbonaatprecipitatie ook in situ kan georganiseerd zijn in een concentrisch patroon. Aldus zouden de dedritische deeltjes die reeds in contact waren, omgeven worden door een mikrokristallijne concentrisch georiënteerde calciëband en in een volgend cementatiestadium zou rond deze samengestelde sferische deeltjes een gemeenschappelijke mikrokristallijne omranding kunnen gevormd zijn, in de zin van PURSER's "short, closely packed, fibrous druse". De heldere spatige calciëkorrels tenslotte, werden vermoedelijk gevormd in poriën tijdens de laatste cementatiefaze. Gedurende deze faze werden kwartskorrels duidelijk aangetast, en op enkele plaatsen konden grote poecilitische calciëkristallen uitgroeien.

De vorming van deze grote kristallen suggereert volgens DAPPLES een langzame precipitatie uit een verdunde oplossing, in tegenstelling met de vlugge kristallisatie rond veel kernen bij de opbouw van de oëlieten.

PURDY (1963) stelde vast dat bij de herkristallisatie van recente oëlieten van de Great Bahama Bank de laminering verloren ging door de vorming van ongeoriënteerd kryptokristallijn aragoniet. Deze zeer fijne korrels waren misschien meer oplosbaar dan de karbonaatmineralen van het cement, ofwel bezitten ze minder weerstand tegen mechanische druk zodat ze bij het slijpen a.h.w. verpulveren, en nog alleen kleine kwartskernen of kryptokristallijne calciëdeeltjes de holten vullen. De vorming en diagenese van deze sferische deeltjes blijft onzeker, en daarom stellen we de term "pseudo-oëlieten" voor.

Bij de petrografische benaming van de onderzochte gesteenten (tabel II), worden naast de makroskopische omschrijving van GULINCK, LAGA & LEGRAND (1973), ook de gewichtsprocenten van de hoofdbestanddelen vermeld.

TABEL II

Diepte	Benam.in pro- fielbeschrijv. v.d.Geol.Dienst	Karbo- naat %	Kwarts %	Klei %	Lithotype
14,5m	mergel	28,5	32,8	38,7	micropsammitische organoklasthoudende kalk- argilliet <i>kwartslutitische organoklasthoudende kalk- argilliet</i>
15,5m	mergel	20,2	46,5	33,3	micropsammitische organoklasthoudende fijn gezzoneerde kalkargilliet
16,0m	mergel	18,2	50,7	31,1	micropsamm.organoklasth. kalkargilliet
17,5	mergel	11,0	48,6	40,4	micropsamm.microgelamineerde kalkargilliet
19,0	kalkhoudende zandsteen	25,8	55,7	18,5	psamm.organoklastische kalkargilliet <i>kwartsarenitische organokl.kalkargilliet</i>
21,5	kalkhoudend verhard zand	19,0	75,1	5,9	kleiige organoklasth.hypokalkpsammiet <i>kleiige organoklasthoudende hypokalkkwarts- areniet</i>
23,5m	lemig verhard zand	1,3	80,4	18,3	psammiet <i>kwartsareniet</i>
25,5m	lemig zand	15,8	70,4	13,8	kleiige organoklasth. hypokalkpsammiet
27,5m	kalkh.zandsteen	15,7	64,1	20,2	psammitische kalkargilliet
28,5m	silteuze schelph.zandst.	18,8	69,3	11,9	kleiige organoklasthoudende hypokalkpsammiet
31,5m	lemige mergel	12,4	57,9	29,7	micropsamm.organoklasth.kalkargilliet
32,5m	mergelige leem	15,2	51,8	33,0	micropsammitische organoklasthoudende micro- gelamineerde kalkargilliet
33,0m	bladerige mergel	9,6	38,2	52,2	calciethoudende micropsammoargilliet <i>calciethoudende kwartslutargilliet</i>
35,8m	kleiige mergel	5,1	38,0	56,9	calciethoudende micropsammoargilliet
36,0m	mergel	7,3	39,2	53,5	calciethoudende organoklasthoudende micro- psammoargilliet
37,5m	mergel	10,8	52,4	36,8	micropsamm.organoklasth. kalkargilliet
40,0m	mergel	4,8	40,1	55,1	microgelamineerde micropsammoargilliet
42,0m	kleiige mergel	11,0	45,2	43,8	micropsammitische kalkargilliet

45,0m	zandige schelph. 52 of oölitische kalksteen	46,5	1,5	psammitische pseudo-oölitische organoklast <i>kwartsarenitische pseudo-oölitische organo- klast</i>	
48,5m	idem	70	29,5	0,5	psammitische pseudo-oölieth. organoklast
51,5m	verhard kalk- houdend zand	9,2	88	2,8	calciethoudende psammokwartsiet <i>calciethoudende orthokwartsareniet</i>
53,0m	zandige kalk- steen	9,3	88,7	2,0	idem
58,5m	kalkhoudend zand	6,75	91	2,25	idem
60,0m	kalkhoudend zand	14,6	83	2,4	hypokalkpsammiet <i>hypokalkkwartsareniet</i>
62,0m	zandige kalk- steen	39	58,5	2,5	organoklasthoudende kalkpsammiet <i>organoklasthoudende kalkkwartsareniet</i>
66,5m	kalkhoudend zand	13,9	83,0	3,1	hypokalkpsammiet <i>hypokalkkwartsareniet</i>
68,5m	oölitische zan- dige kalksteen	55,6	44,4	-	psammitische organoklast
70,5m	zand	8,6	91,0	0,4	calciethoudende psammokwartsiet
73,5m	zand	14,5	83,5	2,0	hypokalkpsammiet
76,0m	kalkhoudende zandsteen	14,7	84,0	1,3	idem
82,0	verhard zand	46,2	53,55	0,25	organoklastische kalkpsammiet
85,0m	verhard zand	21,1	77,5	1,4	hypokalkpsammiet
87,5m	verhard zand	45,2	54,3	0,5	gezoneerde organoklast. kalkpsammiet
89,5m	verhard zand	22,0	76,0	2,0	hypokalkpsammiet
91,0m	kalkhoudende zandsteen	15,6	82,0	2,4	idem
92,0m	verhard zand	8,0	89,3	2,7	calciethoudende psammokwartsiet
93,0m	zandige kalksteen	42,0	57,2	0,8	organoklastische microgelamineerde kalkpsammiet
94,0m	kalkhoudende zandsteen	15,6	81,5	2,9	organoklasthoudende hypokalkpsammiet
95,0m	verhard zand	12,2	87,0	0,8	calcitische psammokwartsiet
97,5m	verhard zand	12,3	87,0	0,7	idem
98,5m	kalkhoudende zandsteen	53,8	45,5	0,7	psammitische organoklast

99,5m	verhard zand	15,8	83,0	1,2	calcitische psammokwartsiet
100,5m	verhard zand	17,9	80,5	1,6	hypokalkpsammiet
101,5m	broze zand- steen	21,15	78,0	0,85	idem
104,0m	kalkhoudende silteuze zandsteen	21,4	75,5	3,1	idem
105,0m	idem	12,3	76,7	11,0	kleiige gezoneerde hypokalkpsammiet
106,0m	idem	15,0	67,0	18,0	psammitische kalkargilliet
108,5m	idem	45,1	44,2	10,7	organoklastische psammitische kalkargilliet
109,5m	marno-silteuze zandsteen	13,7	72,0	14,3	kleiige hypokalkpsammiet

IV. Korrelgrootteverdeling

1. Inleiding

De korrelgrootteverdeling werd, na ontkalking, aan de hand van zeef- en sedimentatietechnieken onderzocht. Deze werkmethode werd verkozen omdat :

- 1) de methode vlug en gemakkelijk is - hoewel de voorzichtige ontkalking meer tijd vergde dan we voorzien hadden;
- 2) de granulometrieresultaten kunnen vergeleken worden met de bevindingen van MONTEYNE en MULLER & RASCHE;
- 3) het calciement grotendeels geherkristalliseerd is;
- 4) veel karbonaatarme friabele gesteenten moeilijk konden ingebed worden, en hierdoor in de slijpplaatjes veel holten voorkwamen.

Deze techniek heeft als belangrijkste nadeel, dat geen rekening kan gehouden worden met de korrosie- en oplossingsverschijnselen van de kwartskorrels.

Wanneer men de granulometrische fraktiewaarden van 1000 tot 3μ heeft bekomen; kunnen verschillende kurven en diagrammen opgesteld worden. Van de kumulatieve kurven met rekenkundige ordinaat werden volgende ϕ -waarden afgelezen : ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} , ϕ_{84} en ϕ_{95} .

Zo konden de volgende parameters berekend worden :

M_d = mediaan van TRASK, komt overeen met de ϕ_{50} -waarde ;

M_z = grafisch gemiddelde = $\frac{\phi_{16} + \phi_{84} + \phi_{50}}{3}$ (FOLK & WARD 1957);

grafische standaarddeviatie $\sigma_G = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$ (INMAN 1952);

globale grafische standaarddeviatie $\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$

(FOLK & WARD 1957);

grafische asymmetrie $Sk_G = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}}$ (INMAN 1952);

globale grafische asymmetrie $Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$;

Grafische kurtosis $K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$ (FOLK & WARD 1957).

FOLK en WARD (1957) stelden voor de parameter van de sortering σ_I volgende schaal voor :

< 0,35	= zeer goed gesorteerd;
0,35 - 0,50	= goed gesorteerd;
0,50 - 0,71	= middelmatig goed gesorteerd;
0,71 - 1,00	= middelmatige sortering;
1,00 - 2,00	= slechte sortering;
2,00 - 4,00	= zeer slechte sortering;
> 4,00	= extreem slechte sortering.

De asymmetriewaarden werden als volgt geapprecieerd :

- van + 1,00 tot + 0,30 : positief sterk asymmetrisch;
- van + 0,30 tot + 0,10 : positief asymmetrisch;
- van + 0,10 tot - 0,10 : bijna symmetrisch;
- van - 0,10 tot - 0,30 : negatief asymmetrisch;
- van - 0,30 tot - 1,00 : negatief sterk asymmetrisch.

De sedimenten behorend tot de "Grès de Luxembourg" (van 45,0 m tot 109,5 m) zijn overwegend goed tot middelmatig goed gesorteerd; alleen de basissedimenten van de kolom - van 109,5 tot 104,0 m - die de zandige sedimentatie inleiden, vertonen een slechte sortering. De verdelingskurven zijn bijna symmetrisch tot licht positief asymmetrisch, terwijl dezelfde overgangsedimenten een positief sterk asymmetrische verdeling vertonen. De gemiddelde korrelafmeting van 45 m tot 109,5 m bedraagt 0,136 mm, en bij abstraktie van de overgangslagen 0,147 mm. Dit is aanzienlijk minder dan de gemiddelde waarde die MONTEYNE (1960b) opgeeft voor het kaartblad Aarlen (0,168 mm). Bovendien hebben slechts 5 van de 26 monsters een gemiddelde waarde hoger dan 0,168 mm, waarvan er twee als zandige kalksteen moeten beschreven worden.

Deze enkelvoudige parameterwaarden kunnen voorgesteld worden in verschillende diagrammen en grafieken.

2. Methode van PASSEGA

PASSEGA (1957, 1962, 1964) tracht in zijn C-M diagrammen een grafisch verband te leggen tussen de korrelgrootteverdeling van de sedimenten en hun afzettings- en transportwijze. Hiervoor worden op een dubbel-logaritmische schaal de parameters C en M, nl. de 1 % percentiel en de mediaanwaarde ingetekend. Later (1969) heeft de auteur hieraan de F-M, L-M en A-M diagrammen toegevoegd, en deze groep van diagrammen "the grain-size image" genoemd van een klastische afzetting. In deze diagrammen werden ook de fijnere frakties betrokken, want F, L en A stellen respectievelijk de procenten voor, van de frakties kleiner dan 125, 31 en 4 μ .

Het volledige C-M patroon werd door PASSEGA ingedeeld in segmenten, die elk een bepaald sedimentatiemechanisme voorstellen (fig. 2a). Segment QR stelt afzettingen voor, gevormd door "gegradeerde suspensie". De auteur meent dat juist boven de bodem de sedimenten getransporteerd worden in een suspensie, die gekenmerkt wordt door een opwaartse vermindering in korrelgrootte en concentratie, en waarvan de korrelgroottegradering afhankelijk is van de graad van turbulentie die ontstaat door frictie op de bodem. De waarden van C zijn rechtevenredig met de M waarden en dit wijst dus op een goede sortering van de sedimenten.

Segment RS stelt sedimenten voor die vervoerd worden als een "uniforme suspensie", waarbij geen sortering door bodemstroming optreedt, en die in principe boven de gegradeerde suspensie gesitueerd wordt. Segment PQ wijst op een transport in suspensie aangevuld door een begin van "rollen" van een kleine hoeveelheid grove korrels, zodat de C waarde stijgt, maar de M waarde niet wordt beïnvloed; segment PO stelt een vermenging voor van gerolde korrels en suspensie. Het transport van sedimenten voorgesteld in het segment NO, gebeurt voornamelijk door "rollen". De fijnste sedimenten tenslotte, worden beschouwd als "pelagische suspensies", afgezet in zeer kalm water. PASSEGA (1969) heeft het C-M diagram verder gebruikt als basis

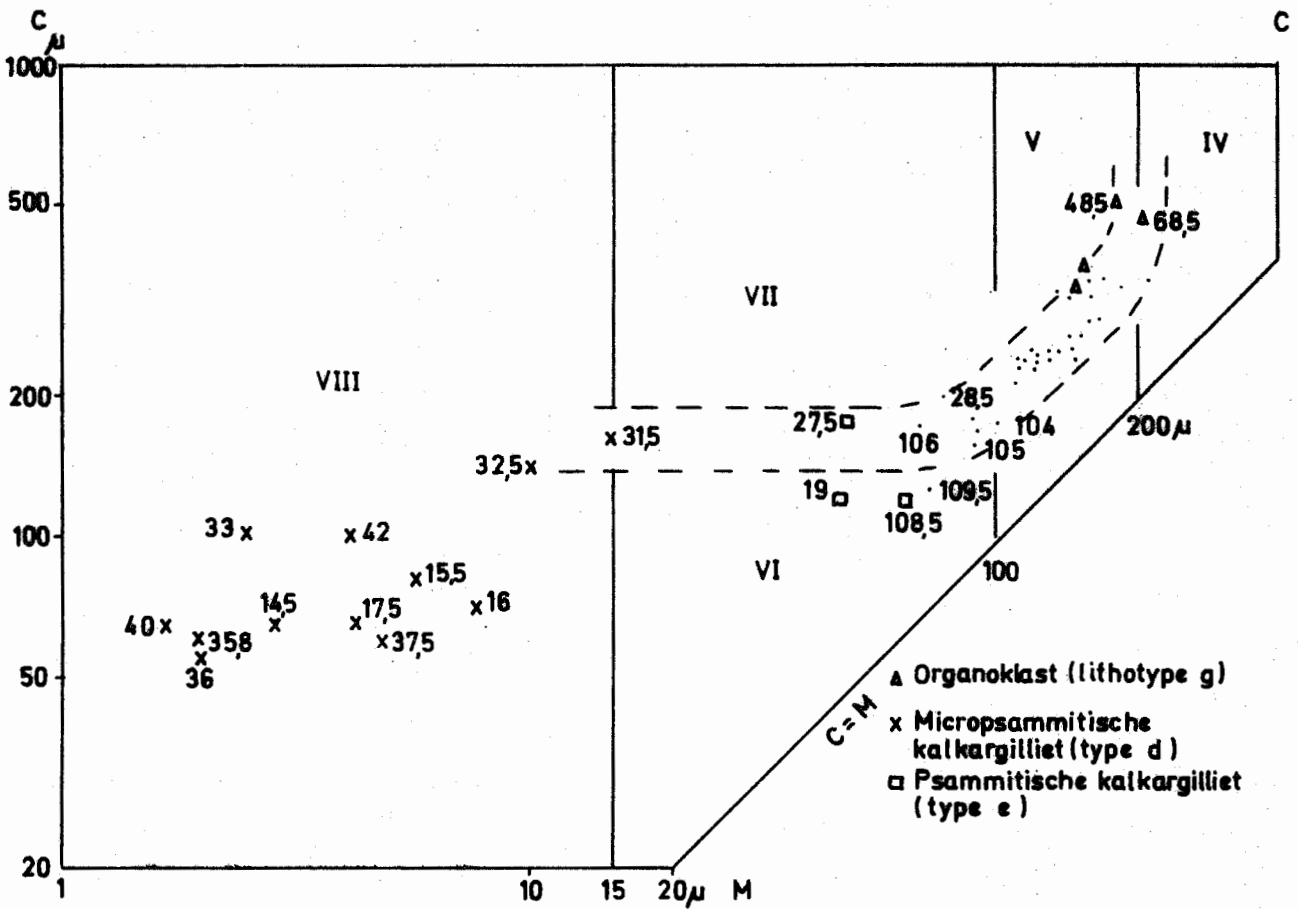
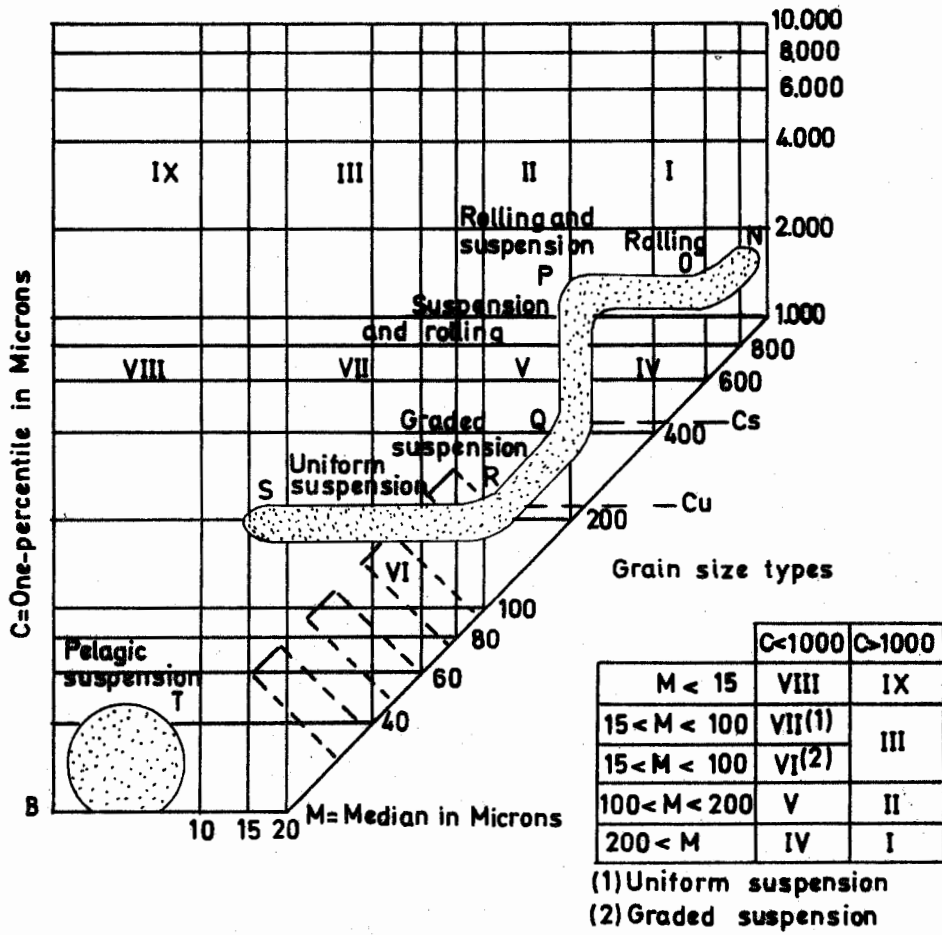


Fig. 2a Diagram van PASSEGA
2b C-M diagram van de Onder-Liassedimenten

voor een klassifikatie : het diagram werd onderverdeeld in 9 klassen, begrensd door de waarden $C = 1000$, $M = 200$, $M = 100$ en $M = 15\mu$. De sedimenten van de boring van Aarlen, die behoren tot de "Grès de Luxembourg" liggen a.h.w. in een band verspreid parallel met de $C = M$ -lijn (fig. 2b) : dit wijst op een goede sortering, waarbij de C - en M -waarden onderling afhankelijk zijn en de turbulentie van de stroming toeneemt voor hogere C - en M -waarden. Het is duidelijk dat deze sedimenten in het QR segment gesitueerd moeten worden, en dus hoofdzakelijk getransporteerd werden in een "gegradeerde suspensie". We bemerken dat de sedimenten 48,5 ; 68,5 en 98,5 met de hoogste C -waarden tevens de hoogste karbonaatgehalten bevatten, nl. respektievelijk 70 %, 55 % en 54 %, terwijl ook de zandige kalksteen op 48 m door een relatief hoge C waarde gekenmerkt wordt. Dit wijst erop dat deze schelphoudende kalkstenen afgezet werden in een meer turbulent milieu, met sterkere stroming, en vermoedelijk ook in een meer ondiep milieu, waarbij de fijnere frakties weggevoerd en de grote schelpen geconcentreerd werden. We bemerken ook dat de energie van het zandige sedimentatiemilieu zeer geleidelijk is toegenomen : de C - en M -waarden van de nrs. 109,5 - 108,5 - 106 - 105 - 104 stijgen geleidelijk, wat wijst op een verhoogde turbulentie zonder dat het transportmechanisme gewijzigd wordt. Aan de top van de zandige formatie is er echter een zeer brutale afzettingswijziging. Tussen 45 m en 42 m - en volgens de profielbeschrijving van GULINCK, LAGA & LEGRAND (1973) zou dit contact nog scherper zijn - is er de overgang van een hoog energetisch en turbulent suspensiemilieu, in een zeer rustige uniforme suspensie. Deze kleiige afzetting handhaaft zich en vormt een sedimentenpakket van een tiental meter; vanaf 32,5 m wordt geleidelijk meer zandig materiaal ingebracht waarbij de M -waarde stijgt, zodat monster 28,5 reeds in het QR segment moet geplaatst worden. De energie van het afzettingsmilieu vermindert eerst een weinig (27,5) maar neemt daarna geleidelijk toe zodat monster 21,5 dezelfde karakteristieken

vertoont als de "Grès de Luxembourg"-sedimenten met een relatief lage turbulentie. Deze zandige faze wordt opnieuw in een relatief korte periode afgesloten, en in het Passega-diagram komen we via een intermediaire waarde op 19 m, terug in een zeer rustig milieu, gekenmerkt door een uniforme suspensie. Er kunnen hier dus cycli onderscheiden worden, waarin een gradueel gevormde zandige afzetting afgesloten wordt door een grofkorrelige bank, die bedekt wordt door een mergelig sedimentenpakket. De sedimentaire asymmetrische cycli werden door KLÜPFEL reeds in 1917 beschreven in het Lias van Lorreinen : een fossielarme klei of mergelafzetting gaat geleidelijk over in meer fossielrijke en kalkrijke lagen en eindigt met een kompakte kalksteen, meestal bedekt door een dunne "Dachbank" waarin sporen van emersie kunnen herkend worden, en soms ook boorsporen; dan volgt een plotse facieswijziging, waarbij de "dakbank" direct bedekt wordt door klei of mergel van een volgende cyclus. KLÜPFEL stelt dat deze cycli resulteren uit epirogene bewegingen, waarbij een geleidelijk oprijzen van de zeebodem gevolgd wordt door een relatief plots wegzinken. HALLAM (1964) voert ook een zandige variante in, voor een afzettingsmilieu dat dicht bij de kust gesitueerd wordt. Men kan zich afvragen of het ondieper worden in een cyclus ontstaat door het oprijzen van de landmassa of door het opvullen van een bekken door de toevoer van grof terrigeen materiaal. Voor de zandige sedimenten van de "Golf van Luxemburg" opteren we voor de laatste mogelijkheid. We stellen immers vast dat het zandige lithofacies in de stratigrafische tabel geleidelijk opklimt van het oosten naar het westen, en dat ook het ganse bekken van Parijs vanaf het begin van het Onder-Lias zich transgressief ontwikkelt in westelijke richting, zodat een langzaam inzinkend westelijk bekken overspoeld wordt door terrigeen materiaal van een noordoostelijk oprijzend kontinent.

3. Kumulatieve_kurve_met_waarschijnlijkheidsordinaat

De geleidelijke toename van de transportenergie bij de vorming van de zandige formatie kan ook opgemerkt worden op de kurven met waarschijnlijkheidsordinaat (fig. 3). De kurve van monster 108,5 vertoont een vlak verloop tot 125μ , een steil gedeelte in de fijnzandige tot zeer fijnzandige korrelwaarden en een zeer vlak verlopend staartgedeelte. De kurven voor 105 - 104 - 100,5 - 68,5 vertonen een geleidelijke vermindering van de fijnste frakties, terwijl de steile "saltatiepopulatie" naar grotere korrelwaarden verschuift en de hellingen van de relatief grove kurvegedeelten stijgen en er tenslotte een overgang is in één grote en goed gesorteerde populatie (68,5). Door de toename van de stromingsintensiteit worden de fijnste frakties weggevoerd, worden de fijne zanden beter gesorteerd en kunnen grovere korrels in gegradeerde suspensie getransporteerd worden. VISHER (1969) stelde vast dat in de getijdekanalen van het "Altamaha River" estuarium, het gehalte van de "traction population" - waarbij het transport door rollen of glijden gebeurt - sterk verschilt naargelang de plaats in de kanalen. Bij een hogere stroomsnelheid vermindert deze populatie en kan zij volledig verdwijnen.

4. Voorstellingswijze_van_DOEGLAS

DOEGLAS (1968) heeft een klassifikatie van de sedimenten voorgesteld op basis van de WENTWORTH- ϕ mediaan- en kwartielenwaarden. De waarde van de mediaan wordt op de diagonaal van het diagram ingetekend, de Q_1 -kwartielenwaarde vertikaal erboven en de Q_3 -waarde op dezelfde lijn eronder. Wanneer de Q_1 - en Q_3 -waarde op minder dan 1ϕ waarde van elkaar verspreid liggen, wijst dit op een goede sortering, en de onderlinge afstanden tot de mediaanwaarde zijn bepalend voor de symmetrie (fig. 4).

Alle monsters van de "Grès de Luxembourg" behoren tot de 333 - 334 - 344 klassen van DOEGLAS. Dit wijst op een goede tot

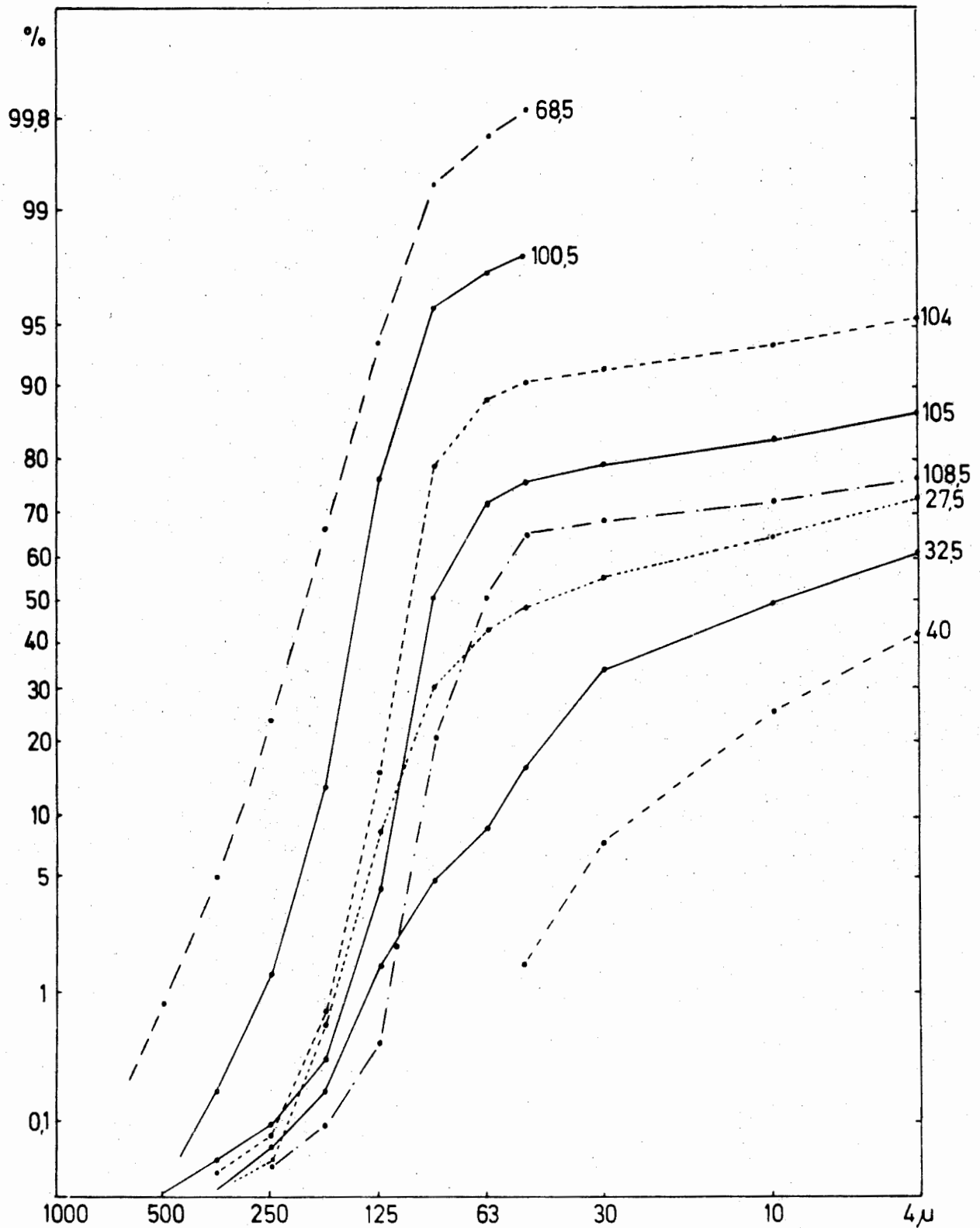


Fig. 3 Kumulatieve kurvetypes met waarschijnlijkheidsordinaat

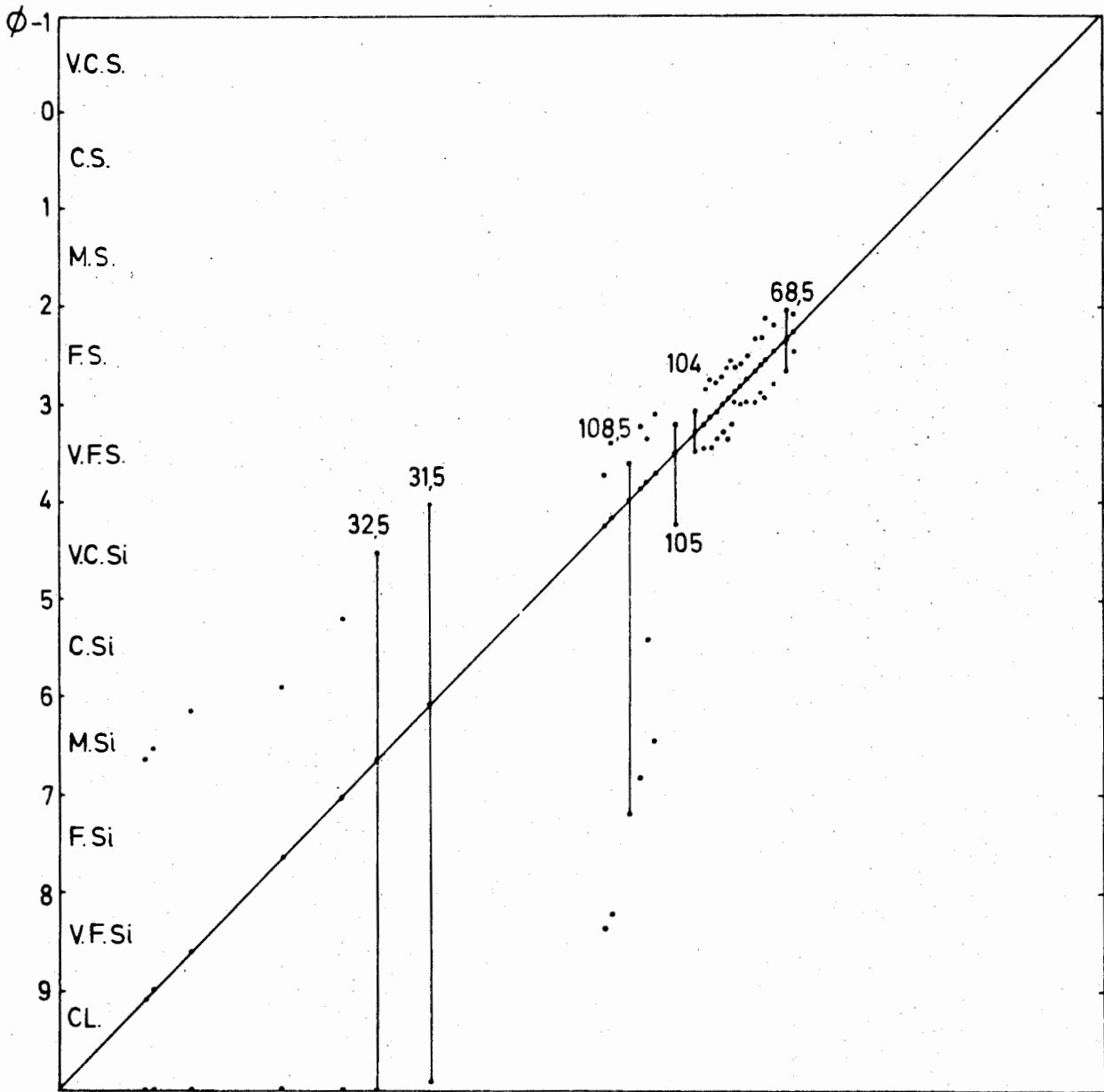


Fig. 4 DOEGLAS-diagram van de Onder-Liassedimenten

zeer goede sortering en een bijna symmetrische verdeling van de sedimenten. Het zijn, in navolging van DOEGLAS, respectievelijk fijne zanden, zeer fijnzandige fijne zanden en fijnzandige zeer fijne zanden. Naar de basis van de zandige afzetting zien we dat de leemfractie geleidelijk in belang vermindert, en parallel daarmee de sortering verbetert en de sedimenten minder asymmetrisch verdeeld zijn.

nr. monster	indices van DOEGLAS	benaming
104,0 m	444	zeer fijn zand
105,0 m	445	zeer grof lemig zeer fijn zand
109,5 m	446	grof lemig zeer fijn zand
106,0 m	447	middelmatig lemig zeer fijn zand
108,5 m	448	fijn lemig zeer fijn zand,

Monster 108,5 is dus een gelamineerd, duidelijk positief asymmetrisch sediment, samengesteld uit zandige en kleiige lamellen, terwijl in nr. 104 de kleiige fraktie gereduceerd werd tot minder dan 5 %.

5. Verwerking met grafische parameters

FRIEDMAN (1967) meent dat de fijne fraktie ($<63\mu$) van de distributiekurve het meest indikatief is voor de bepaling van het afzettingsmilieu. Hij stelde vast dat in rivierzanden steeds een fijne staartfraktie aanwezig is, terwijl in strandzanden het fijne materiaal opgegooid wordt door de verticale vektor van de golvende waterbeweging en zeewaarts wordt weggevoerd. Doordat de waterbeweging in een rivier hoofdzakelijk door een horizontale komponente bepaald wordt, en de verticale bewegingen niet permanent zijn en gebonden aan sporadische pieken en turbulentie, wordt het fijnere materiaal parallel met het grofkorrelige getransporteerd.

In fig. 5a werd de 1ste percentiel uitgezet t.o.v. het procentuele gehalte van de fraktie kleiner dan 63μ . We bemerken dat de 1 % percentielwaarden het hoogst zijn bij de meest zandige

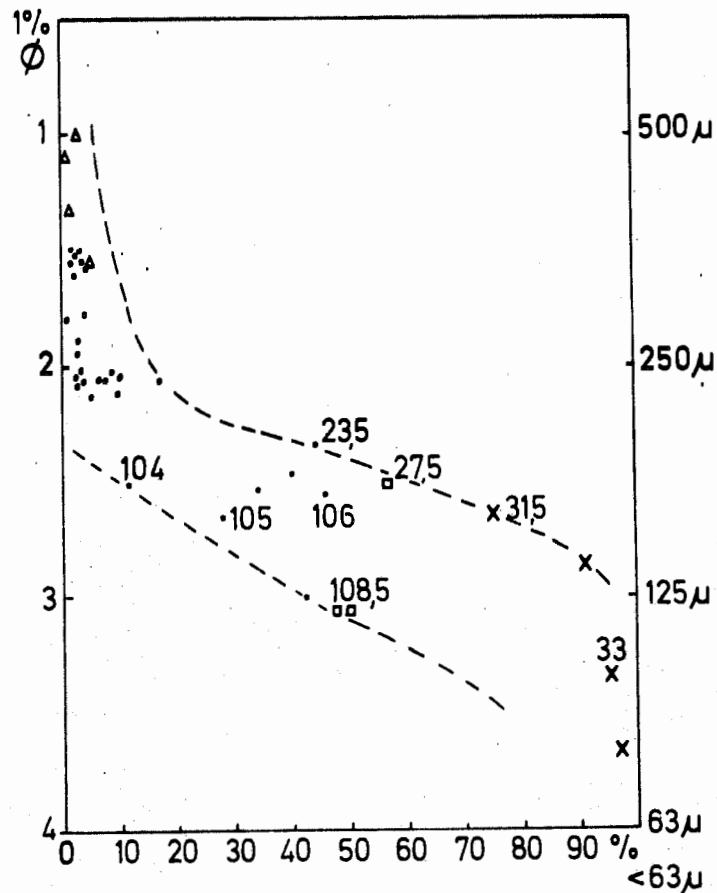


Fig. 5a 1ste percentiel versus procentueel gehalte van de fraktie kleiner dan 63μ .

sedimenten (het karbonaatgehalte wordt hierin niet betrokken). In FRIEDMAN's diagram daarentegen waren de 1ste percentielen van rivierzanden meestal hoger dan van de strandzanden, omdat de rivierzanden gekenmerkt zijn door een bredere spreiding van de korrelgrootte, waarbij zowel de grovere als de fijnere frakties belangrijker zijn, zodat de riviersedimenten meteen ook slechter gesorteerd zijn. Het beperkte aandeel van een grofkorrelige fraktie in een deel van onze monsters wijst op afzetting in een milieu dat konstant minder energierijk was dan de strandzone, maar dat ook geen belangrijke energiepie-

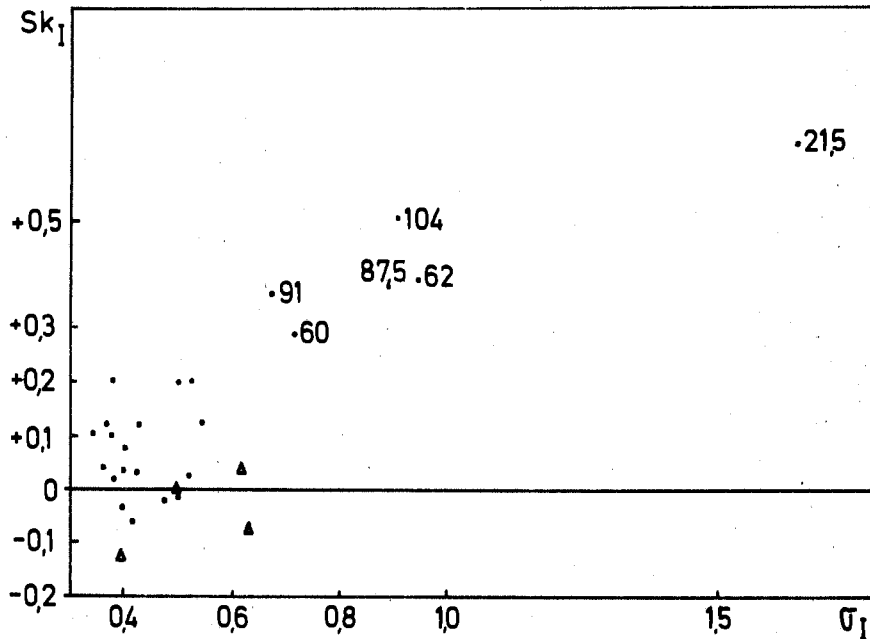


Fig. 5b Asymmetrie (Sk_I) versus standaarddeviatie (σ_I).

ken heeft gekend, terwijl de rivierstromingen toch gekenmerkt worden door een wisselende competentie in bepaalde periodes, seizoenaal of dagelijks. In fig. 5b werd de parameter van asymmetrie (Sk_I) uitgezet t.o.v. de standaarddeviatie (σ_I). We bemerken dat de meest zandige monsters (met meer dan 95 % van de korrels groter dan 50μ) goed of middelmatig goed gesorteerd zijn, en dat de asymmetrieparameter zowel een weinig positief als negatief kan zijn. Deze sedimenten zijn hoofdzakelijk beperkt tot één "saltatiepopulatie", met een relatief fijn-, resp. grofkorrelig staartgedeelte. De goede sortering en de beperkte korrelgroottespreiding wijzen op een relatief hoog energieniveau. De schelprijke sedimenten 98,5 - 68,5 - 48,5 hebben een negatieve asymmetriewaarde omdat het fijnste materiaal weggevoerd is, en aldus een relatief grofkorrelige staart in de kurve wordt behouden. Naarmate de fijnste fractie belangrijker wordt bemerken we een minder goede sortering en een toenemende asymmetrie van de kurve. Deze monsters krij-

gen aldus bij vergelijking met FRIEDMAN's diagram meer fluvia-
tiele aspecten. Dit betekent dat de eenzijdige gerichte stro-
ming hier domineert, en de golfenergie onvoldoende is om het
fijn materiaal "uit te waaien" en verder zeewaarts te vervoer-
ren. Bij de studie van de shelf-sedimenten van Long Island,
New York, stelden McKINNEY en FRIEDMAN (1970) ook vast dat de
fijnkorrelige zanden die door een uit de kust gelegen stroming
werden afgezet (Offshore Current-deposited Fine-Sized Sands),
gekenmerkt worden door een belangrijke B(fijne)-populatie,
terwijl door de golfwerking deze populatie ontbrak of onbe-
langrijk was in de fijnkorrelige zanden van de brandingszone
(Surfzone Fine-Sized Sands).

6. Mathematische verwerkingsmethode van SAHU

SAHU (1964) stelde 4 discriminantfuncties op om ver-
schillende sedimentatiemilieus te onderscheiden door eenvou-
dige getallenwaarden. Hij groepeerde eerst de sedimenten op
basis van hun afzettingsmilieu, en vervolgens werden de gra-
fische parameters van de monsters van de onderscheiden groepen
gebruikt als input gegevens voor multi-variabele discriminant-
functieanalyse. Zo werden vier discriminant-functies bekomen
die kunnen gebruikt worden om afzettingsmilieus te bepalen
van monsters met onbekende oorsprong.

Voor het onderscheid van een strandafzetting en een
ondiep marien geagiteerd sedimentatiemilieu, werd de volgende
functie opgesteld :

$$y_1 = 15,6534 M_Z + 65,7091 \sigma \frac{2}{I} + 18,1071 Sk_I + 18,5043 K_G.$$

Als y_1 groter is dan 65,3650, duidt dit op een marien milieu
voor het ongekende monster; minder dan 65,3650 wijst op een
littorale afzetting.

Voor het onderscheid van een ondiep marien en een fluviatiel
sedimentatiemilieu :

$$y_2 = 0,2852 M_Z - 8,7604 \sigma \frac{2}{I} - 4,8932 Sk_I + 0,0482 K_G.$$

waarbij een waarde kleiner dan -7,4190 zou wijzen op een flu-

viatien proces. SAHU wijst er tevens op dat voor het samenstellen van deze functie voor het fluviatien milieu hoofdzakelijk parameters van deltasedimenten gebruikt werden.

De parameters van alle monsters van de "Grès de Luxembourg", van 109,5 tot 45 m werden bij het uitrekenen van de functies gebruikt, maar van de geïnterkaleerde tweede zandige fase konden alleen de discriminantfuncties van de monsters 21,5 en 28,5 uitgewerkt worden, omdat voor de andere monsters de kumulatieve 95 % waarde te ver voorbij de 3μ waarde lag om een goede extrapolatie toe te laten. Dit gebeurde wel voor de sedimenten 105 - 106 - 108,5 - 109,5 en 21,5 - 28,5. Ook voor de nummers 60 - 62 - 85 - 87,5 - 91 - 104 lag de kumulatieve 95 % waarde van de kurve in de fraktie kleiner dan 50μ , zodat de resultaten van de droge zeving moesten aangevuld worden met gegevens van de sedimentatiebalans.

Voor de eerste functie waren de resultaten van alle sedimentmonsters gelijkvormig : alle waarden waren groter dan 65,3650 en alle sedimenten moeten dus beschouwd worden als afzettingen uit een ondiep bewogen marien milieu. De monsters die het dichtst het strandkarakter benaderen hadden natuurlijk een negatieve asymmetriewaarde, een goede sortering, een relatief grove gemiddelde korrel en een steile kurve. De resultaten van de tweede discriminantfunctie waren echter niet eenvormig. De y_2 waarde was voor 9 van de 33 onderzochte monsters kleiner dan -7,4190, en aldus een aanduiding voor een fluviatien (deltaisch) sedimentatiemilieu. Voor de "Grès de Luxembourg" waren het de nummers 62,0 - 87,5 - en 104 - 105 - 106 - 108,5 - 109,5 en verder ook de monsters 21,5 en 28,5. We herinneren eraan dat voor deze sedimenten de 95 % waarde van de kumulatieve kurve in de leem- of kleifraktie gesitueerd is, en dat door het gebruik van de zeeftechniek gekoppeld aan sedimentatie een lichte vervalsing van de parameters naar kleinere waarden kan optreden. De geringe onderschatting van de 50 tot 20μ waarden kan vermoedelijk de fluviatiele aanduiding van de nummers 62 - 87,5 - 104 met resp. y_2 waarden -9,668; -7,773 en -8,534 verklaren. Het

onmiskkenbaar fluviatiele (deltaïsche) aspekt van de monsters 105 - 106 - 108,5 - 109,5 en 21,5 - 28,5 is in overeenstemming met de bevindingen van FRIEDMAN en duidt op de aanvoer van belangrijke hoeveelheden relatief fijn materiaal in een hoofdzakelijk eenzijdig gerichte stroming, waarbij de mariene golfwerking niet voldoende intens was om het fijne materiaal volledig weg te voeren.

7. Samengestelde lithofacieskurve

Tenslotte werd in fig. 6 een lithofacieskurve van de totale sedimentenkolom uitgewerkt, waarin vijf sedimentpetrografische kenmerken grafisch voorgesteld worden :

- 1) de korrelgrootteverdeling, waarbij voor de "Grès de Luxembourg" vier grootte-intervallen werden uitgebeeld, terwijl de fijnste frakties van de bovenliggende sedimenten nog eens opgesplitst werden in lemige en kleiige componenten;
 - 2) de procentuele karbonaatgehalten;
 - 3) de 1 % percentiel, die reeds in het diagram van PASSEGA indikatief bleek;
 - 4) de gemiddelde korrelwaarde in μ ;
 - 5) de lithotypes, die in 5 eenheden gegroepeerd werden volgens stijgende energie van het afzettingsmilieu, nl.
 1. de micropsammitische kalkargillieten (kwartslutitische kalkargillieten en de calciethoudende micropsammo-argillieten (calciethoudende kwartslutargillieten));
 2. de psammitische kalkargillieten (kwartsarenitische kalkargillieten);
 3. de psammieten (kwartsarenieten) en kleiige hypokalkpsammieten (kleiige hypokalkkwartsarenieten);
 4. alle andere lithotypes behalve
 5. de psammitische of kwartsarenitische organoklasten.
- De zandige serie begint met een langzame toename van de gemiddelde korrelgrootte, een duidelijke stijging van de 1ste percentiel gekoppeld aan het sneltoenemend belang van de fijnzandige fraktie (250 - 125 μ). Het lithofacies evolueert ge-

leidelijk van een organoklastische psammitische karkargilliet (108,5) via een kleilige gezoneerde hypokalkpsammiet (105) tot de hypokalkpsammieten en calcitische psammokwartsieten van groep 4.

Deze eerste sekwentie wordt afgesloten door een zandige kalksteen, met een belangrijke korrelfractie groter dan 250μ en een hoge C-waarde.

Van 109,5 tot 98,5 herkennen we dus een "negatieve sekwentie" (LOMBARD 1956) die de geleidelijke toename van de stromingsenergie uitdrukt, en afgesloten wordt door een kalksteenbank waarbij schelpfragmenten in een relatief hoog-energetisch milieu geconcentreerd werden.

Van 98,5 tot 92,0 m houdt deze stromingsintensiteit aan : de C-waarde varieert tussen 300 en 350μ , de middel- en grofzandige fractie ($>250\mu$) is aanzienlijk en de gemiddelde korrelwaarden liggen duidelijk boven het gemiddelde.

De fijnzandige sedimenten van 92 m tot 82 m werden afgezet in een minder energierijk milieu. De stroomsterkte was te gering om de grovere korrels ($>250\mu$) te transporteren, en de C- en M-waarden zijn constant laag. Ook deze sekwentie eindigt met een karbonaatrijke zandsteen (82 m) met hogere C- en M-waarden, zodat ook sekwentie drie de kenmerken van een negatieve sekwentie vertoont.

Hetzelfde asymmetrisch patroon wordt herhaald in de sekwenties 4, 5 en 6; deze laatste wordt afgesloten door karbonaatrijke relatief grofkorrelige banken, de zogenaamde "surface taraudée terminale du Grès de Luxembourg".

Men kan aldus de totale zandige serie opsplitsen in zes negatieve "sekwenties", nl. van onder naar boven :

- sekwentie 1 : van 109,5 m tot 98,5 m; d.i. de basis van de zandige sedimentatie;
- sekwentie 2 : van 97,5 tot 92 m; ze werd gevormd in een relatief energierijk milieu;
- sekwentie 3 : van 91 m tot 82 m;
- sekwentie 4 : van 76 m tot 68,5 m;

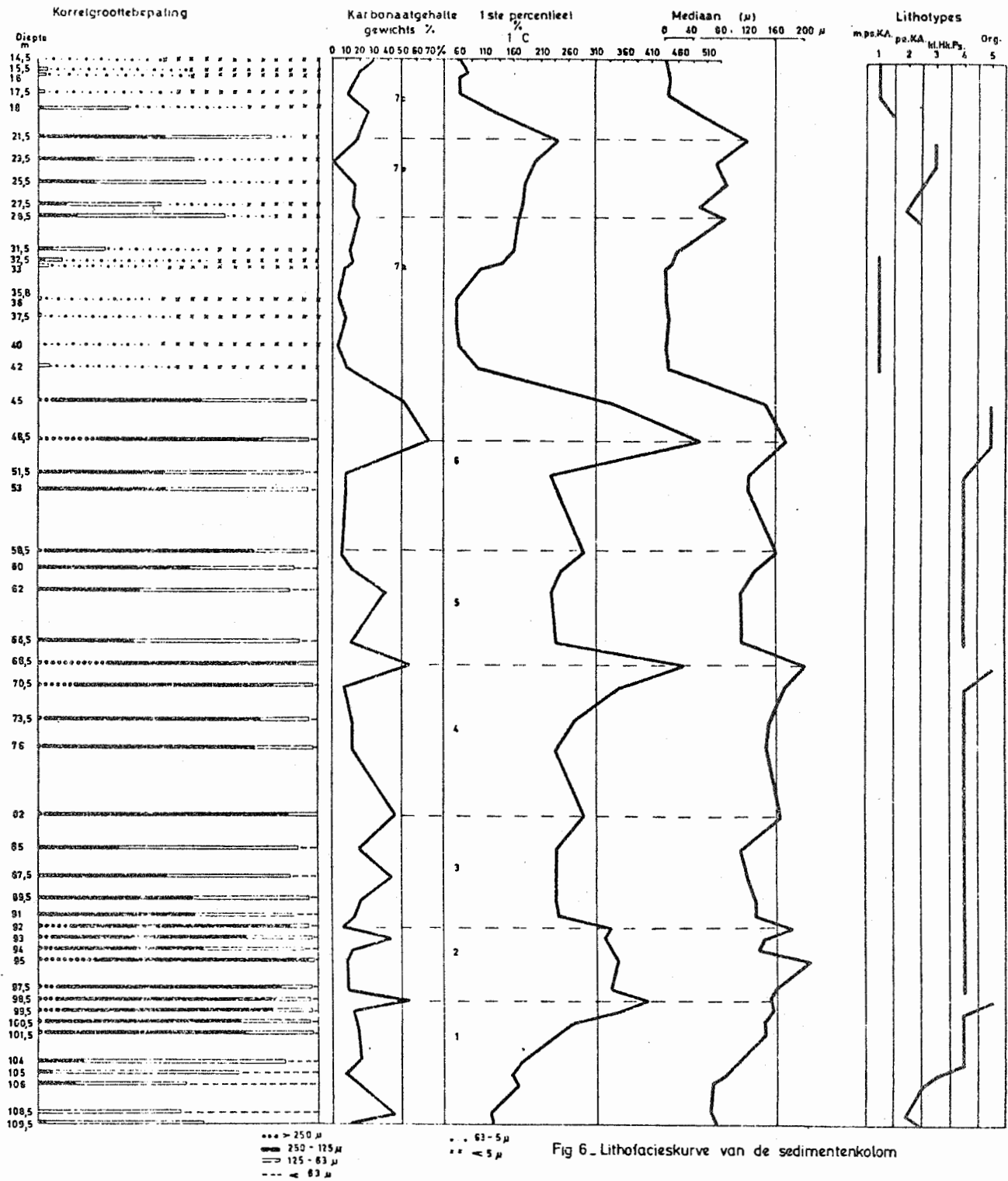


Fig 6. Lithofaciescurve van de sedimentenkolom

sekwentie 5 : van 66,5 tot 58,5 m;

sekwentie 6 : van 53 m tot de "surface taraudée terminale".

Dit erosieoppervlak wordt bedekt door micropsammitische kalkargillieten, die een zeer rustig energiearm sedimentatiemilieu aanduiden. Vanaf 33 m neemt de stromingssnelheid langzaam toe en wordt meer fijnzandig materiaal aangevoerd. Het lithofacies evolueert van een micropsammitische (31,5) naar een psammitische kalkargilliet (27,5) en de zandige fase wordt afgesloten door een kleiige organoklasthoudende hypokalkpsammiet (21,5). Er volgt tenslotte een nieuwe rustige sedimentatie van micropsammitische kalkargillieten.

Het asymmetrisch lithofaciespatroon herinnert aan de cycli van KLUPFEL, die op grotere schaal tevens de Lias afzettingen in gans W-Europa kenmerken (HALLAM). We vermeldden reeds dat de isopachenlijnen van de zandige afzetting in Luxemburg een SW-NE oriëntatie vertonen, die aansluit bij het isopachenbeeld van het Hettangiaan-Sinemuriaan in noordoostelijk Frankrijk. Dit parallellisme kan erop wijzen dat de zandige sedimenten afgezet werden in een langzaam inzinkend bekken, dat voortdurend werd opgevuld, maar waarin de epirogene bewegingen niet kontinu gebeurden. Het asymmetrisch patroon van de sekwenties kan misschien verklaard worden door de vlugge toevoer van terrigeen materiaal waardoor het sedimentatiemilieu geleidelijk ondieper werd en de stromingsenergie toenam, tot een kalksteenbank gevormd werd door concentratie van schelpfragmenten en eliminatie van de fijnere frakties. Hierna volgde een nieuwe korte inzinkingsfase, maar deze epirogene bewegingen ontwikkelden zich niet alleen schoksgewijze in de tijd, maar ook in de ruimte. We vermeldden dat het isopachenbeeld van de Onder-Lias-sedimenten in noordoostelijk Frankrijk een noordwestelijke verschuiving vertoonde in jongere lagen, en dat parallel daarmee het verzandingsfenomeen zich in noordwestelijke richting doorzette in stratigrafisch jongere zones, zodat de epirogenetische processen zich met periodisch wisselende intensiteit ook in westelijke richting ontwikkelden. In fig. 7 hebben we gepoogd de ontwikkeling van de zandige sedimentatie in de omgeving van

Aarlen te rekonstrueren.

Het zandige lithofacies, bekend als "Grès de Luxembourg" werd er voorgesteld t.o.v. het mergel-kalksteenfacies in drie opeenvolgende periodes. We moeten evenwel aanstippen dat in Belgisch Luxemburg geen andere boorgegevens beschikbaar zijn, waardoor aan deze rekonstruktie alleen een indikatief belang kan toegekend worden. Aan de top van het Hettangiaan (top van de zone met *Schlotheimia angulata*) wordt de verzandingsfaze in het oosten van België ingezet met de Zanden van Metzert (7a). In de daaropvolgende periode ontwikkelt het zandige lithofacies zich steeds verder in westelijke richting, tot dat in het onderste deel van het Sinemuriaan s.s. (basis van de zone met *Arietites bucklandi*) over bijna geheel de provincie zandige sedimenten afgezet worden (Grès de Florenville), en in het oosten, opnieuw een rustige mergel-kalksteen-sedimentatie inzet (7b). In het bovenste deel van het Sinemuriaan s.s. tenslotte (zone met *Arnioceras semicostatum*), wordt in het oosten van de provincie de "Marne de Strassen" afgezet, terwijl in het westen de verzanding doorgaat met de "Grès d'Orval" (7c). Hieruit blijkt dat de as van de zandige sedimentatie in jongere lagen naar het NW verschoof, en dat in Aarlen de belangrijkste zandinflux stratigrafisch ongeveer op de grens van het Hettangiaan en Sinemuriaan moet gesitueerd worden. Wanneer we de theorie van MULLER aanvaarden, dat de energie van het afzettingsgebied toeneemt naar de as van het zandlichaam, dan kunnen we aannemen dat reeds in sekwentie 2 de belangrijkste zandaanvoer gebeurde. Maar de sedimenten van deze boring zijn textureel meer gelijkvormig dan de zanden ten oosten van Luxemburg-stad, zodat het terrigeen materiaal in de provincie Luxemburg vermoedelijk werd verspreid over een bredere shelfzone, die gevormd werd door het verder inzinken van het massief van de Ardennen. Toch blijft de sedimentatiezone relatief ondiep, aangezien de "surface taraudée", die de zandige faze afsluit, wijst op een periode van erosie of althans van onderbreking van de sedimentatie, waarna een

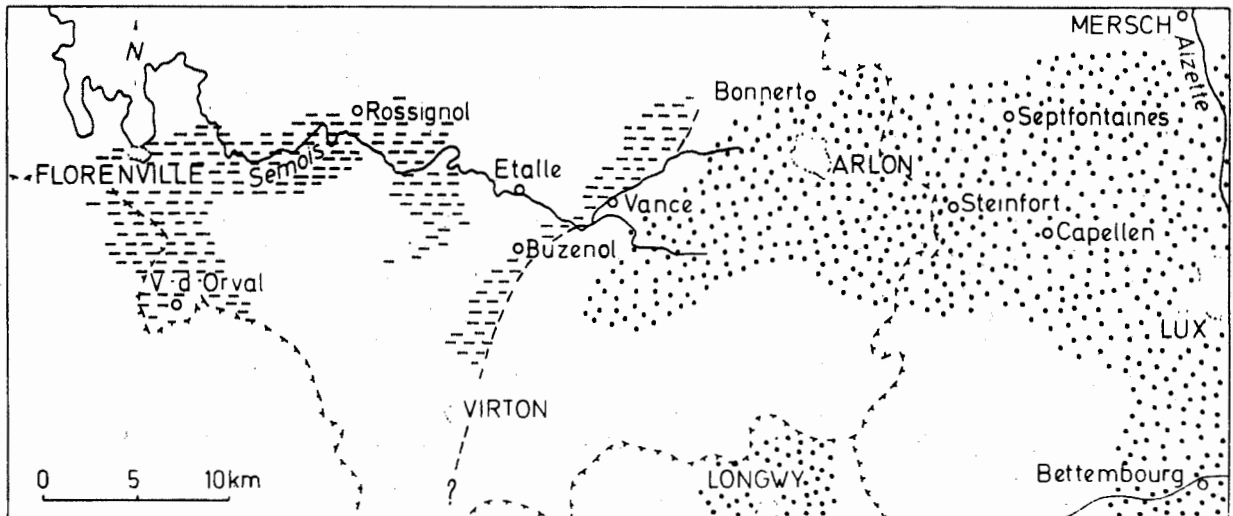


Fig.7a

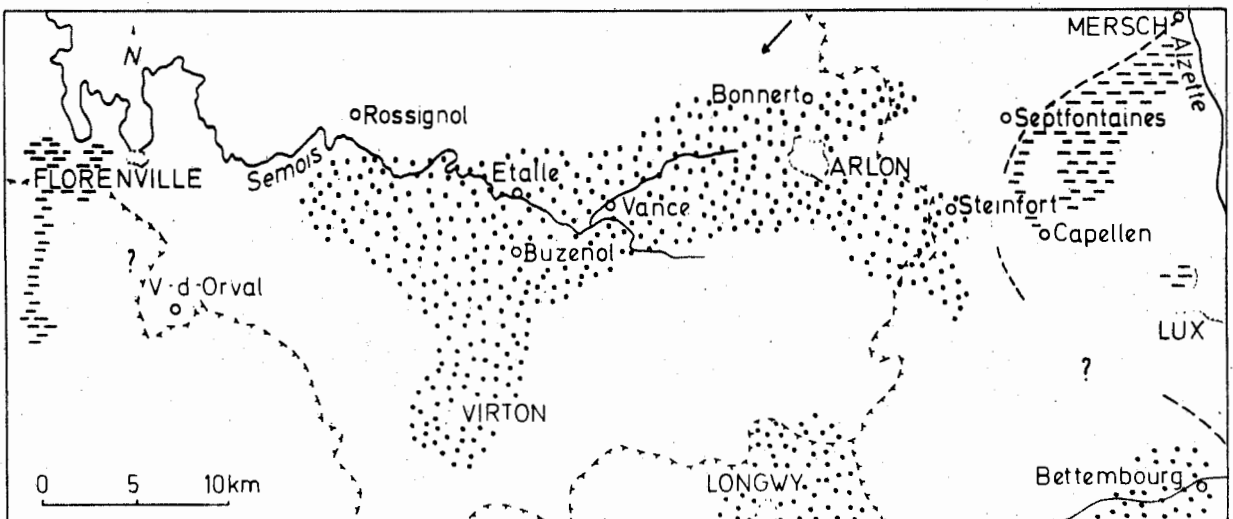


Fig.7b

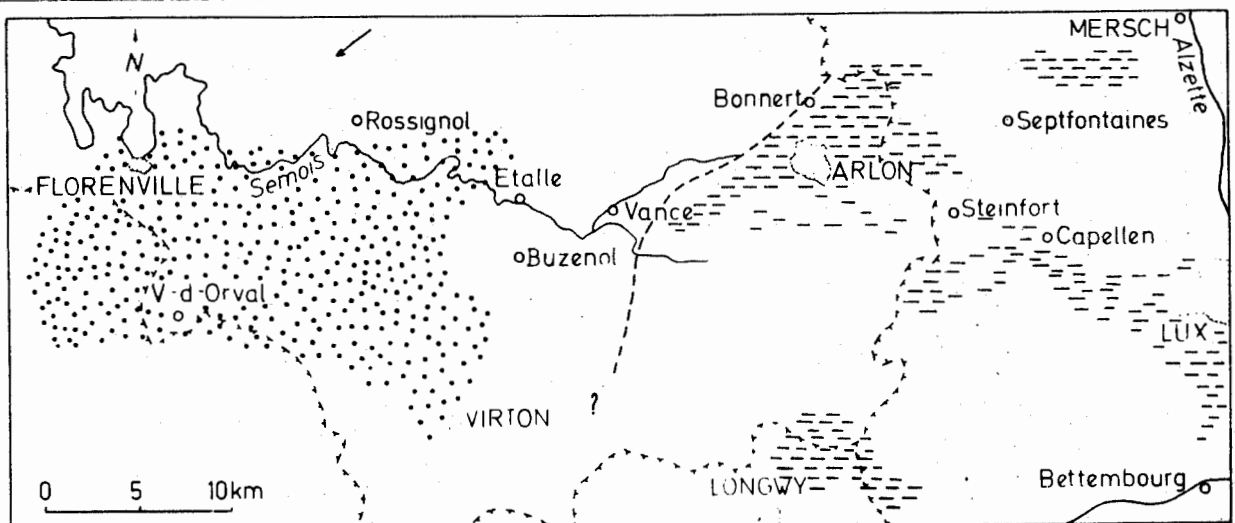


Fig. 7c

Fig. 7 Uitbreiding van het zandige lithofacies in de omgeving van Aarlen. Rekonstruktie in 3 opeenvolgende periodes.

mergelafzetting begint, waaraan MULLER (1967) op basis van paleontologische en geochemische karakteristieken een lagunaire oorsprong toekent.

Dit blijkt ook uit het ichnologisch onderzoek van de Grès de Luxembourg :

"Le milieu marin était en tout cas très bien aéré et à eau peu profonde, parfois probablement proche de l'exondation". (HARY, 1974, p. 125).

MAUBEUGE (1950) meende trouwens aan het contact van de "Grès de Florenville" met de "Marne de Strassen" te Fouches een emersiefaze te herkennen, die hij synchroon veronderstelde met een emersietendens aan het contact van de "Grès de Florenville" en de "Grès d'Orval" te Buzenol. Het sedimentatiegebied in de omgeving van Aarlen werd hierdoor tijdelijk afgesloten van de zandige aanvoer, maar vanaf 31,5 m reeds bemerken we een hernieuwde influx van terrigeen materiaal, dat zich van de eigenlijke "Grès de Luxembourg" alleen onderscheidt door een fijnere tekstuur en een relatief hoger granaatgehalte. De sedimentkolom van Aarlen wordt tenslotte, zonder scherpe overgang, afgesloten door een nieuwe rustige sedimentatie.

V. Onderzoek van de zware mineralenfractie

1. Methode

ANTUN (1953) had bij de studie van de zware mineralenfractie van Trias- en Jura sedimenten van het Groothertogdom Luxemburg vastgesteld dat belangrijke kwantitatieve variaties bij bepaalde mineralen optraden, die te wijten waren aan verschillen in korrelgrootte. Hij stelde voor Triassedimenten enerzijds, en voor Rhetiaan- en Juramonsters anderzijds een driehoeksdiagram op, met op de hoekpunten de mineralen toermalijn, zirkoon en rutiel. Het gehalte van deze mineralen werd omgerekend op honderd, en de herrekenende gegevens werden ingetekend met een aanduiding van de gemiddelde korrelgrootte van het sediment. ANTUN stelde vast dat de verhouding toermalijn-zirkoon

daalde van 2 naar 1/4, van de grove naar de fijne Trias-sedimenten, en dit onafhankelijk van de stratigrafische plaats van de monsters.

Bij de Rhetiaan- en Jurasedimenten werd eenzelfde tendens opgemerkt, en dit blijkt ook duidelijk uit het gefractionneerd onderzoek van een monster uit de "Grès de Luxembourg" te Graulinster :

	fraktie 30-104 μ	104-150 μ	150-200 μ
toermalijn	12	67	93
zirkoon	56	6	-
rutiel	18	10	1
granaat	5	3	+

Met het doel deze faktor te elimineren, hebben we een relatief grof- en fijnkorrelig zandig monster van deze formatie gefractionneerd onderzocht, nl. nr. 48,5 met gemiddelde korrelgrootte 173 μ :

	zirkoon	toermalijn	granaat	rutiel	stauroliet
fraktie 177-125 μ	4	84	-	2	8
125-88 μ	56	10	16	14	2

en nr. 85,0 met gemiddelde korreldiameter 110 μ :

	zirkoon	toermalijn	granaat	rutiel	stauroliet
fraktie 177-125 μ	-	100 %	-	-	-
125-88 μ	18	40	30	8	3
88-63 μ	60	8	20	8	-

Om representatieve gegevens voor de fijnste sedimenten te bekomen waren alle frakties boven 125 μ uitgesloten. Voor de grofste sedimenten was er anderzijds te weinig materiaal in de frakties kleiner dan 88 μ , zodat voor de totale kolom de fraktie 88-125 μ aangewezen was (tabel III). Als vergelijking werd ook van 12 monsters de totale zandfraktie - van 500 tot 50 μ - geanalyseerd (tabel IV).

Men kan vaststellen dat het gehalte van het sedimentpetrologisch belangrijke mineraal granaat, in de fraktie 88-125 μ hoger is dan in de totale zandfraktie.

TABEL III

Kwantitatieve mineralogische samenstelling van de fraktie
88-125 μ

Nr.	T	Z	R	St.	G	Sp.	Br.	Diverse
19,5	37	15	4	1	36	-	-	An.2;Chlor.1; D.1;Ep.2;Tr.1
21,5	15	37	5	-	42	-	-	H=1
23,5	20	20	14	2	44	-	-	-
25,5	40	15	9	1	35	-	-	-
27,5	41	15	7	-	33	3	1	-
28,5	35	18	9	-	38	-	-	-
45	21	54	5	4	12	-	-	And.1;D.2;Sill.1
48,5	11	60	15	2	11	-	-	D.1
51,5	50	19	9	1	20	-	-	An.1
53	42	28	11	1	17	-	-	Gl.1
58,5	34	25	14	5	21	-	-	Sill.1
60	62	11	6	4	17	-	-	-
62	45	15	9	3	26	-	1	An.1
68,5	18	39	12	5	26	-	-	-
70,5	25	32	15	1	27	-	-	-
73,5	30	40	7	1	21	-	-	D.1
76,0	28	45	7	6	14	-	-	-
82,0	20	24	18	3	35	-	-	-
85,0	41	24	10	3	22	-	-	-
87,5	56	19	6	3	15	1	-	-
89,5	54	25	4	2	14	-	-	Tit.1
92	24	48	8	2	17	-	-	D.1
93	36	16	7	5	35	-	-	H.1
94	65	10	5	1	19	-	-	-
97,5	39	15	9	4	33	-	-	-
98,5	6	61	5	2	24	-	1	Sill.1
99,5	56	13	6	1	22	-	-	An.1;H.1
100,5	20	33	16	1	29	-	1	-
101,5	55	11	8	1	25	-	-	-
104	43	22	6	2	27	-	-	-
105	49	28	3	3	16	-	-	Ep.1
109,5	70	10	8	-	12	-	-	-
32,5*	11	6	2	-	6	-	-	-

* = geteld op 25 doorzichtige korrels

Alle andere preparaten werden op 100 doorzichtige korrels geteld.

Z=zirkoon St=stauroliet D =distheen Tit=titaniet
T=toermalijn Sp=groene spinel Ep=epidoot Sill=sillimaniet
R=rutiel Br=brookiet Tr=tremoliet Chlor=chloritoid
G=granaat An=anataas H =bruine hoornblende

TABEL IV

Kwantitatieve mineralogische samenstelling van de totale zandfractie

Nr.	T	Z	R	St.	G	Sp.	Diverse	Op.	Alt.
15,5*	4	10	1	2	3				
19	14	58	7	2	19				
23,5	6	41	8	1	42		Di.1;Tr.1	15	52
32,5	6	56	7	2	26	3			
45,0	8	70	11	1	10				
51,5	23	51	8	-	18			7	63
68,5	17	60	7	5	10		D.1	8	43
73,5	19	57	13	1	8		D.1;Kor.1	6	51
82,0	13	54	10	4	19				
85,0	11	55	7	3	21		An.2;Ep.1		
94	14	61	8	2	15			5	52
97,5	12	57	8	1	18		Ep.3;Sill.1	10	46
109,5	37	42	6	1	13		Ep.1	15	65

*geteld op 20 doorzichtige korrels

Kor = korund

Op = opaak

Alt = alteriet, met inbegrip van de "Troubles titanifères" en "Troubles rougeâtres" van ANTUN (1953)

Di = diopsied

2. Samenstelling van de zware mineralenfractie

Het onderzochte materiaal wordt gekenmerkt door een overmaat van ubikwisten, aangevuld met soms aanzienlijke hoeveelheden granaat, en de nagenoeg konstante maar beperkte aanwezigheid van stauroliet. Zeer ondergeschikt zijn de titaanmineralen anataas, brookiet en titaniet, en verder epidoot, sillimaniet, bruine hoornblende, groene spinel (pleonast), distheen en zeer zeldzame korrels van tremoliet, korund, glaucofaan en andalusiet. Met opvallend licht werden veel pyrietkorrels waargenomen.

De lichte fractie bestaat uit kwartskorrels, met slechts enkele korrels van verweerde K-veldspaten. Plagioklaas kon niet met zekerheid herkend worden. Uit tabel III blijkt dat ook kwantitatief belangrijke verschillen voorkomen. Daarom werden ook deze telresultaten - omgerekend op 100 - in een driehoeksdia-gram voorgesteld (fig. 8). Naast zirkoon en toermalijn werd het paleogeografisch belangrijke mineraal granaat in het diagram opgenomen. De monsters werden opgesplitst in drie reeksen : de grovere sedimenten met een mediaanwaarde groter dan 165μ , het fijnere materiaal met een gemiddelde korrel kleiner dan 145μ , en de intermediaire waarden. We stellen vast dat bij de grovere monsters het toermalijngehalte relatief laag is (<30 %); bij de fijnere sedimenten ligt dat boven de 47 %, terwijl het granaatgehalte tot minder dan 30 % van het totale zirkoon-toermalijn-granaat gehalte beperkt is. Belangrijke uitzonderingen vormen de monsters 19 - 21,5 - 23,5 - 25,5 - 27,5 en 28,5, d.i. fijne sedimenten die gekenmerkt worden door een aanzienlijke en soms dominante granaatfractie. Ook monster 45, met een mediaan van 143μ , valt buiten de reeks, maar door een te hoog zirkoongehalte. Uit de granulometrische gegevens blijkt dat dit het enige monster is met twee maximale zeefwaarden, en wellicht vormt de mediaanwaarde voor een dergelijk heterogranulair sediment een weinig betrouwbare aanduiding.

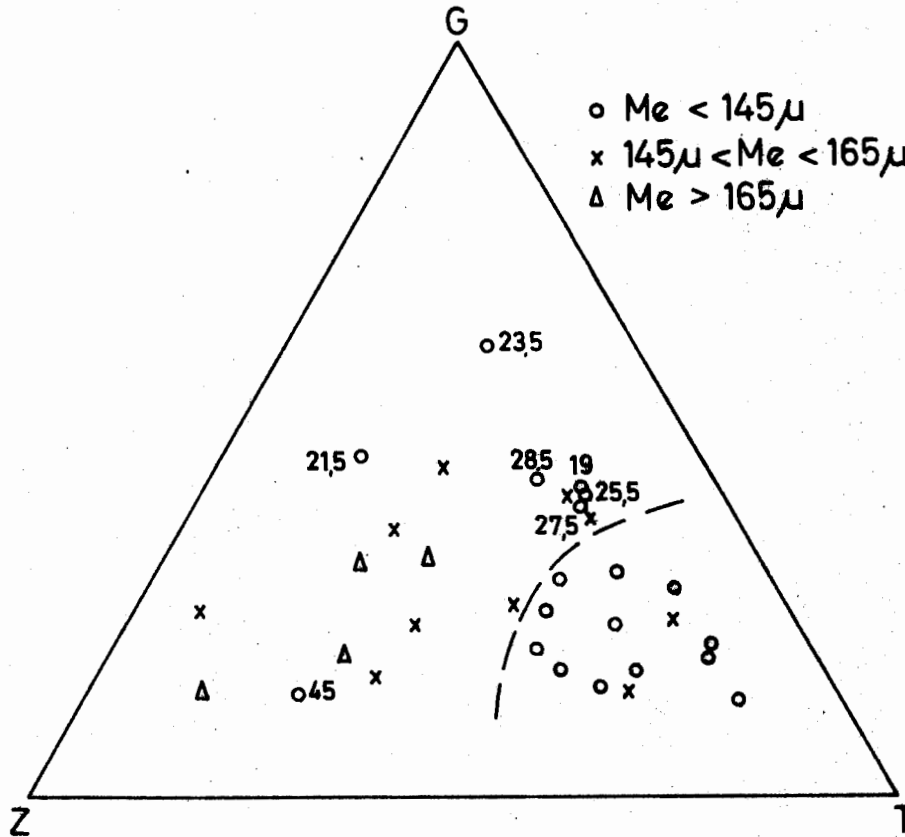


Fig. 8 Driehoeksdiagram met de verhouding toermalijn-zirkoon-granaat van de fraktie 88-125 μ .

Er werd ook een lineaire regressie van X naar Y uitgevoerd, met als Y waarden de verhouding van de omgerekende toermalijn/zirkoon gehalten, en als X waarden de mediaanwaarden van de monsters van de "Grès de Luxembourg", d.i. van nr. 45 tot en met nr. 109,5. De vergelijking van de regressie-rechte (d.i. de rechte waarvan de som van de kwadraten van de verticale afwijkingen minimaal is) is $Y = 2,91 X - 6,14$ en de korrelatiecoëfficiënt ("product moment correlation coefficient") bedraagt + 0,49. Dit wijst op een positieve

korrelatie, waarbij de verhoging van het toermalijn/zirkoon gehalte geassocieerd is met de verhoging van de mediaanwaarde. Voor dit onderzoek van de zware fraktie van 88 tot 125 μ bekomen we dus de inverse resultaten van ANTUN, die de fraktie van 500 tot 30 μ beschouwde.

Nu blijkt dat bij vergelijking van de zware mineralenkorrels binnen beperkte groottevariaties, de invloed van de komponentie van de stroming kan herkend worden: voor de meest energetische sedimentatiemilieus - die gekenmerkt worden door een relatief grove gemiddelde korrels - stijgt het relatieve gehalte van de zwaarste mineralen (zirkoon) door het "uitwaaien" van de lichtere mineralen (toermalijn). Hoewel het granaatgehalte in de beschouwde fraktie iets hoger is dan in de korresponderende totale zandfraktie, treedt toch geen duidelijke differentiatie op tussen de grovere en fijnere zanden. Maar zoals reeds gemeld, komt dit mineral in aanzienlijke hoeveelheden voor in enkele fijnere sedimenten, nl. in de zanden die tussen de mergelniveaus werden afgezet.

3. Geologische interpretatie

De eenvoudige associatie van de doorlopers toermalijn-zirkoon-rutiel kenmerkt volgens ANTUN de Trias sedimenten van het Groothertogdom Luxemburg. Voor het totale sedimentenpakket van de Boven-Buntsandstein tot de grens met het Lias is het granaatgehalte onbelangrijk, behalve in Onder-Keuperafzettingen van de Moezelstreek (Deutlingen). Vanaf het Rhetiaan echter komen aanzienlijke hoeveelheden granaat voor, samen met stauroliet en enkele korrels groene spinel.

In de "Zanden van Mortinsart", die vermoedelijk in meer littoraal milieu werden afgezet, lijkt het granaatgehalte te vermin-

deren. Ook meer recente onderzoeken van KEPPENS (1972) in Belgisch Luxemburg wijzen op een verminderde granaatfractie dichter bij het devonische Ardennenkontinent. ANTUN situeert het granaatrijke brongebied ten zuiden van de huidige Rhetiaan-afzettingen, maar hij geeft geen verdere specificatie. In de zandige formaties van het Onder-Lias stelt de auteur een duidelijke vermindering van het granaatgehalte vast, terwijl het staurolietgehalte behouden blijft. MONTEYNE merkt op dat dit voor de hettangiaanse "Zanden van Metzert" en voor de sine-muriaanse "Grès de Florenville" en "Grès d'Orval" niet het geval is, en uit onze tellingen blijkt ook dat het granaatgehalte in deze Lias formaties gemiddeld 18 % bedraagt, terwijl ANTUN voor de "Grès de Luxembourg" slechts 5 % opgeeft. Omdat de "Grès de Luxembourg" een lensvormige configuratie vertoont en volledig omringd wordt door fijne kalk- en mergelafzettingen behalve in NE- en NW-richting, situeert ANTUN het brongebied van dit zandig materiaal op het Ardennen-Rijnmassief.

MULLER (1943) onderzocht de zware mineralen van de totale zandfractie van Buntsandsteinmateriaal van een boring in Nederlands Zuid-Limburg (Geleen). Hij vond naast ubikwisten tot 10 % granaat, en in het onderste gedeelte stauroliet en sporadisch distheen. MULLER veronderstelde dat de granaatrijke zandsteen - zoals die meer noordoostelijk voorkwam - in deze boring ontbrak omdat de granaatrijke lagen in een hoger, nu weggeërodeerd niveau aanwezig waren. Maar vooral de afbeelding van het fraaie etspatroon van deze granaatkorrels is betekenisvol : bij vergelijking van enkele Lias granaatkorrels met de foto's van MULLER blijkt dit karakteristieke etspatroon overduidelijk bewaard, hoewel de scherpe hoekjes enigszins afgerond zijn (microfoto 7). Bovendien vonden wij ook sporen van etsing op de Lias staurolietkorrels. MULLER meent dat deze etsing tijdens of niet lang na de afzetting van de Buntsand-

stein moet gebeurd zijn, wellicht door de inwerking van zuur grondwater op deze poreuze sedimenten.

VALK (1943) vindt hoge granaatgehalten in de Zechstein van Helgoland en van een boring te Plantengaarde (ten zuiden van Zwolle), en suggereert het bestaan in die periode van een granaatprovincie van Helgoland tot in Oost-Nederland. Dit belangrijk granaataandeel blijft behouden in de Onder-Buntsandstein en de Muschelkalk van Helgoland, maar vermindert naar het zuiden en haalt in het Trias van Oost-Nederland nog slechts 9 %. VALK besluit tot het bestaan van twee sedimentpetrologische provincies, een noordelijke granaatrijke in NW-Duitsland en een zuidelijke granaatarme provincie die zich uitstrekt van de Peel over de Belgische Kempen en de Eifel. Deze 2 provincies wiggen echter in elkaar uit, zoals blijkt uit het hoge granaatgehalte (7-20 %) van het Keuper van de boring te Neeroeteren en van de Buntsandstein te Flüren (bij Xanten). SINDOWSKI (1958) heeft de Westduitse Buntsandstein-afzettingen in mineralogische provincies ingedeeld op basis van hun gehalte aan toermalijn, zirkoon, rutiel, granaat en stauroliet. Hij onderscheidt de oostelijke stabiele S-associatie met alleen ubikwisten, en de westelijke Granaatprovincies, waarin ook granaat en soms stauroliet voorkomen. Het meest westelijke gebied wordt in de Onder-Buntsandstein gekenmerkt door een Noordhollandse en een Ardennese provincie, terwijl vanaf de Midden-Buntsandstein ook een Eifelprovincie voorkomt. Alleen in de Noordholland associatie is het granaatgehalte hoger dan 10 %, terwijl in de Ardennese provincie meer stauroliet voorkomt (tot 7 %).

De meest recente gegevens zijn van FRANSOLET (1970) en behandelen de zware mineraleninhoud van 23 monsters uit de Midden-Buntsandstein van de Kempen, nl. van de boringen te Rotem, Eelen, Bullen en Helchteren. Het betreft een heterogranulaire zandsteen met hoog veldspaatgehalte en een weinig karbonaatcement. Het granaatgehalte van de fraktie van 50 tot 297 μ vertoont twee pieken in de stratigrafische kolom : een eerste

maximum (8 %) aan de basis van de Midden-Buntsandstein en een tweede duidelijke piek aan de top van de Midden-Buntsandstein-formatie, waar het granaatgehalte varieert tussen 8 en 61 % van de doorzichtige zware mineralen. De auteur merkt op dat de granaatverbreiding hier niet faciesgebonden is, en dat in de granaatrijke sedimenten steeds enkele mesoperthietkorrels voorkomen.

Uit al deze onderzoeken blijkt dat de Trias-deklagen van de westelijke Eifel en het oostelijke Ardennemassief het materiaal van de zandige Boven-Hettangiaan- en Sinemuriaanformatie kunnen geleverd hebben, en dat de remaniëring van de granaatarme Trias-sedimenten in het Groothertogdom, alsook de aanvoer van metamorf materiaal van de Ardennen, van ondergeschikt belang mogen geacht worden. Wanneer men bedenkt dat het oorsprongsmateriaal relatief grofkorrelig en rijk aan granaat moet geweest zijn, en als we nogmaals herinneren aan het karakteristieke etspatroon van de granaatkorrels beschreven door MULLER, dan is het misschien niet te gewaagd om dit moedersediment stratigrafisch te situeren in de middenhelft van de Buntsandsteinformatie. Het is natuurlijk niet de bedoeling om de sedimentpetrologie van deze Buntsandsteinafzettingen te verklaren, maar we willen niet nalaten te vermelden dat FRANSOLET de invloed van een Skandinavische bron mogelijk acht omwille van de aanvoer van grote hoeveelheden granaat in sedimenten die relatief rijk zijn aan mesoperthieten.

4. Stratigrafisch belang van de zware mineralenfractie

MONTEYNE's (1958) onderzoek van de zware mineralen in de provincie Luxemburg gaf volgende gemiddelde samenstelling :

	<u>T</u>	<u>Z</u>	<u>R</u>	<u>G</u>	<u>St.</u>
Lotharingiaan boven mergelniveau	29	47	20	-	1
Lotharingiaan boven zandig Sinemuriaan	18	43	25	11	1
Grès d'Orval	29	28	18	20	2
Grès de Florenville supérieur	35	32	18	13	2
Grès de Florenville inférieur	36	30	16	17	1
Sables de Metzert	39	23	19	15	2

De Grès d'Orval lijkt dus relatief aangerijkt met granaat, terwijl dit mineraal in de associatie van de onderste Lotharingiaan zanden duidelijk in belang vermindert, en zelfs totaal verdwijnt in het zandige Lotharingiaan dat zich boven een mergelig niveau bevindt. MONTEYNE meent dat gedurende de afzetting van de "Grès de Virton" het granaatrijke brongebied van de onderliggende zanden minder belangrijk wordt als leverancier en hij verklaart dit door de afsluiting van de "straat van Zülpich", m.a.w. door emersie van de noordwestelijke Eifeldepressie. Hierdoor zou de aanvoer van granaatrijk Buntsandsteinmateriaal van de westelijke Eifel onderbroken worden tijdens het Lotharingiaan.

Wanneer we deze thesis aanvaarden, kunnen we besluiten dat de Lotharingiaan sedimenten aan de top van de boring te Aarlen, niet of in zeer beperkte mate aanwezig zijn.

Immers, ook in het bovenste mergelniveau (15,5 m) werd de aanwezigheid van granaat vastgesteld, maar we beschikken over te weinig materiaal om een statistisch verantwoorde telling uit te voeren. De granaataanrijking in de bovenste zandlens kan echter niet miskend worden, en een analogie met de telresultaten van MONTEYNE is duidelijk, hoewel onze granaatgehalten merkbaar hoger zijn dan de waarden die de auteur aan de "Grès d'Orval" toekent.

Aangezien we in het vorige hoofdstuk de noordwestelijke uitbreiding van de zandige fase in jongere lagen hebben vastge-

steld, zouden de mangaanrijke metamorfe gesteenten van de zone Bastogne-Libramont misschien ook beperkte hoeveelheden granaat kunnen geleverd hebben. Onze telresultaten van de zware mineralenfractie kunnen in overeenstemming gebracht worden met de bevindingen van MONTEYNE, als we de sedimentenkolom litho-stratigrafisch als volgt onderverdelen :

- 1) bovenste mergelniveau, van 14 tot 19 m : Onder-Lotharingiaan (Marnes d'Arlon)
- 2) zandige lens, van 19 tot 31,5 m : bovenste gedeelte van het Sinemuriaan s.s. (Grès d'Orval)
- 3) mergelafzetting van 31,5 tot 43 m : Marne de Strassen
- 4) zandige formatie van 43 m tot 109,5 m : "Grès de Luxembourg" met de "Grès de Florenville" van het onderste Sinemuriaan s.s. en wellicht ook de "Sables de Metzert" in een oorspronkelijk niet totaal ontkalkt facies en behorend tot het Het-tangiaan.

Nochtans wijst het voorkomen van duidelijk geëttste en aangetaste granaatkorrels op diageneseprocessen, die de kwantitatieve verdeling van dit vrij gemakkelijk verweerbare mineraal kunnen beïnvloed hebben. De stelling dat het hogere granaatgehalte van de zandige sedimenten tussen de mergelniveaus te wijten zou zijn aan de beperkte doorstromingsmogelijkheid van zuur grondwater - dat in de permeabele Luxemburgse zandsteenformatie veel gemakkelijker kan circuleren -, mag niet zonder meer miskend worden. Een gedetailleerd onderzoek van de mineralogische samenstelling en de graad van verwerking van de granaatkorrels - eventueel met de scanning elektronenmikroskoop - kan hierbij nuttig zijn.

VI. Kleimineralogie

1. Mineralogische samenstelling

De samenstelling aan kleimineralen van de onderzochte sedimenten is vermoedelijk kwalitatief uniform, maar vertoont belangrijke kwantitatieve verschillen. Over de totale sedi-

mentenkolom werden acht monsters onderzocht, en steeds werd de aanwezigheid vastgesteld van kaolinit, kwarts, illiet en een geïnterstratifieerde fraktie met zwellende eigenschappen.

De kaolinitpieken op 7,16 Å en 3,58 Å, die bij verwarming tot 550°C verdwijnen, vertonen duidelijke relatieve intensiteitsverschillen over de sekwentie (fig. 9) : op het diffractogram van nr. 16,0 is de eerste orde piek van kaolinit van dezelfde grootteorde als de 10 Å piek, maar in de nrs. 21,5 en 27,5 blijkt het relatieve kandietgehalte fel te zijn toegenomen; hetzelfde kan vastgesteld worden bij vergelijking van de monsters genomen op 35,80 m en 42,0 m t.o.v. 51,5 m en 100,5 m, terwijl voor nr. 109,5 tenslotte het kaolinitaandeel in de kleifraktie opnieuw vermindert. Uit de granulometriegegevens blijkt dat de hoge kaolinitgehalten karakteristiek zijn voor de zandige formaties, terwijl in de mergelige en kleiige sedimenten de 2-1 mineralenfraktie domineert. Naast de kaolinitpieken en de persistente 3,34 Å en 2,40 Å pieken van kwarts, onderscheiden we steeds reflecties op 5 Å en 10 Å. De 10 Å reflectie heeft het "facies" van een open illiet, met een duidelijke asymmetrie aan de kant van de kleine hoeken. Bij verzadiging met Mg^{++} en glycol wordt de 10 Å reflectie scherp, nagenoeg symmetrisch en minder intens : dit wijst op de aanwezigheid van "zuivere" illietbladen. Daarnaast kan een diffraktieband vastgesteld worden tussen 12 Å en 17 Å. Bij verwarming (550°C) worden de reflecties opnieuw scherp en symmetrisch, volgens het patroon van een normale illiet, maar soms persisteert een kleine piek rond 14 Å. De open geïnterstratifieerde illiet is dus samengesteld uit een stabiele illietfraktie, en een geïnterstratifieerde fraktie met zwellende eigenschappen. THOREZ & BOURGUIGNON (1973) duiden deze kristallijne complexen aan met de algemene formule $I + (10 - 14 M)$. De volledige identificatie van de bouwelementen van deze mixed layer vraagt echter een diepgaand en tijdrovend onderzoek.

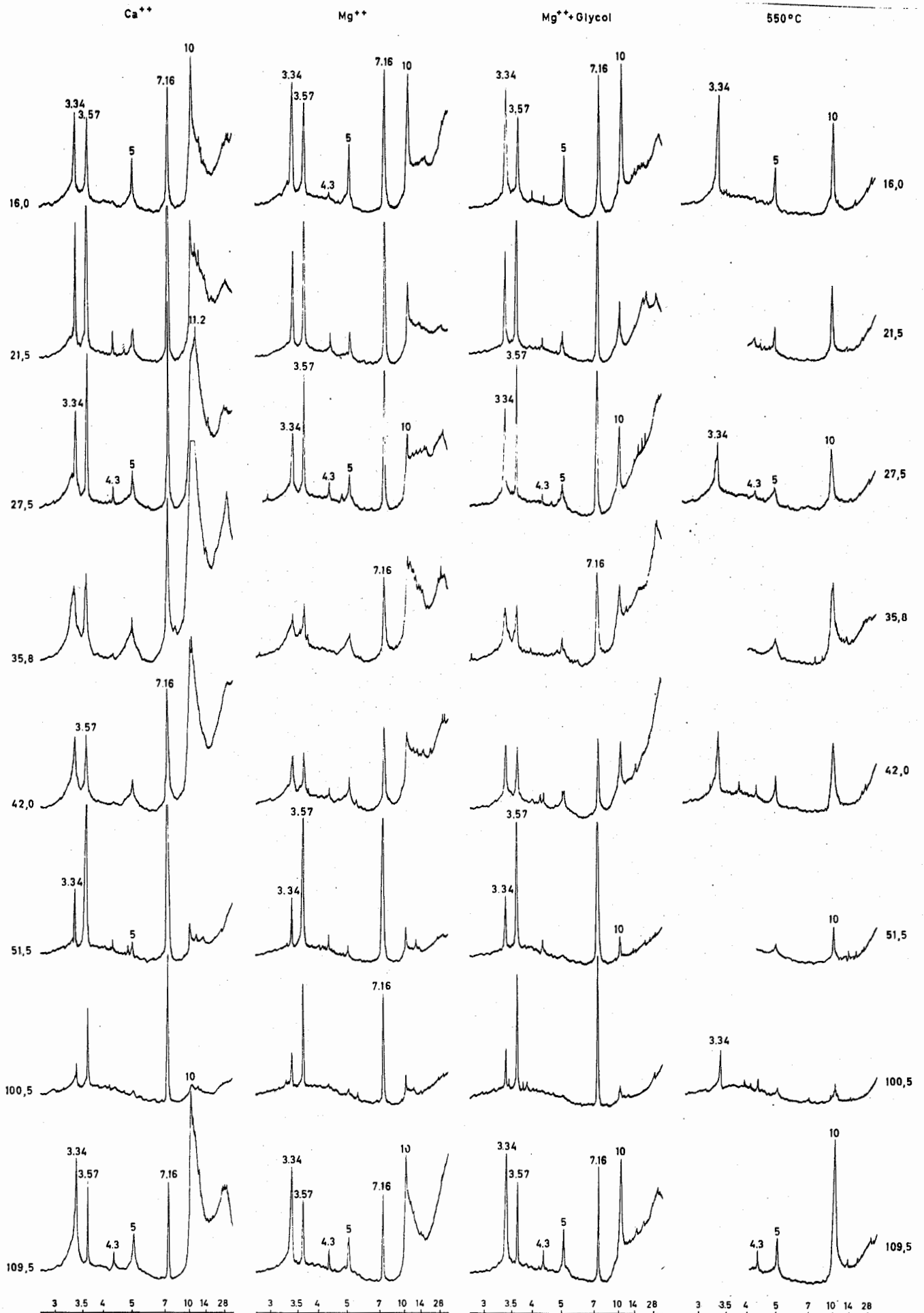


Fig. 9 Diffractogrammen van de kleifractie van 8 Onder-Liassedimenten

2. Geologische interpretatie

Het voorkomen van meer kaoliniet, en minder illiet, chloriet en geïnterstratificeerde mineralen in de zandige sedimenten van een alternerende zandsteen-argillietreeks wordt door verschillende auteurs toegeschreven aan diagenese door de circulatie van water in de permeabele lagen. De belangrijkste modifikatie is volgens deze auteurs een kaolinisatie (GLASS, POTTER & SIEVER, 1956; GLASS, 1958; SMOOT, 1960).

In een geomorfologische studie van het gebied rond Florenville heeft HUIZING (1967) ook enkele monsters van de verweerde Sinemuriaan-kalksteen kleimineralogisch onderzocht. De auteur vond in het verweerde moedergesteente naast duidelijke hoeveelheden illiet en kwarts en soms goethiet, slechts sporen van smekietten en kandieten, en vrijwel geen chloriet. In kalkloze Sinemuriaan zanden ten oosten van Jamoigne en ten zuiden van Fouches echter, stelt HUIZING vast dat op korte afstand grote verschillen in kaolinietgehalte voorkomen waarbij de kleifractie van enkele zandmonsters bijna geheel uit kandiet bestaat. Deze kaolinietmineralen zouden gevormd zijn door verwerking, en wel gedurende het Sinemuriaan. Op basis van een relatief laag gekorrigeerd boriumgehalte van de illietmineralen van de kleifractie beschouwt HUIZING deze kalkloze zanden als brakwaterafzettingen, die tijdens of vlak na hun afzetting gedurende korte tijd boven water kunnen gelegen hebben en waarbij dan door diagenese de kandieten zouden gevormd zijn. We moeten hierbij aanstippen dat uit alle syntheses en laboratoriumproeven die ons bekend zijn, blijkt dat nieuwvorming van kaoliniet-mineralen bij gewone temperatuur, een licht zuur en nagenoeg volledig gedesioniseerd milieu veronderstelt (DE KIMPE, 1961 - GASTUCHE, FRIPIAT & DE KIMPE, 1961 - HERBILLON & GASTUCHE, 1962 - KITTRICK, 1967, 1970). De grote hoeveelheden kaolinietmineralen in onze analyses komen echter voor in duidelijk kalkhoudende zandige sedimenten, en wel zeer waarschijnlijk niet lokaal maar over de totale zandige formatie die duidelijk mariene kenmerken vertoont. De kandietmi-

neralen van deze zandige sedimenten hebben dus ongetwijfeld een "erfelijk" kontinentaal karakter, en dit betekent dat we voor de mergelige en zandige sedimenten het bestaan van twee verschillende oorsprongsmilieus moeten aanvaarden, of althans het domineren van het kontinentale kaolinietrijke brongebied bij de vorming van de zandige sedimenten. Waar kan dit kaolinietrijke brongebied gesitueerd worden? LUCAS (1963) heeft een groot aantal Trias monsters van boringen in Loreinen en het noordoosten van het bekken van Parijs op kleimineralen onderzocht, en hij stelde vast dat de Trias kleifraktie essentieel bestaat uit illiet en geïnterstratifieerde 14 Å mineralen, met als bouwelementen, mineralen van de chloriet- en montmorilloniettypes. Deze mixed layers zijn meestal onregelmatig en zuivere chloriet is zeldzaam. Alleen in de onderste zandige Trias sedimenten, waarin open illiet domineert, konden kleine hoeveelheden kandietmineralen aangetoond worden. LEVELT (1965) vindt in plateauleem in het zuidwesten van het Gutland relatief hoge kaolinietgehalten, maar hij stelt tevens vast dat in de mesozoïsche moedergesteenten alleen in de "Margaritatus- en Spinatusschichten" en in de "Fossilarme Tone" gelijkwaardige hoeveelheden kandiet voorkomen, m.a.w. pas in sedimenten van eind Onder- en begin Midden-Lias. In de B-Keuper sedimenten in het noorden van Luxemburg is volgens LEVELT het kandietaandeel in de kleifraktie zeer gering, en dit wordt bevestigd door analyses van HUIZING op Keuper-sedimenten in de provincie Luxemburg.

FRANSOLET (1970) heeft, meer recent, de mineralogische samenstelling van Perm- en Triassedimenten van boringen te Helchteren, Neeroeteren, Eelen, Rotem en Bullen onderzocht. De aanwezigheid van kaoliniet is beperkt tot de Perm- en Buntsandsteinafzettingen, maar het kandietgehalte is alleen belangrijk in de konglomeraten en de grofkorrelige zandsteenlagen van de onderste helft van de Midden-Buntsandstein. Het voorkomen van deze kleimineralen in extreem detritisch materiaal zou een aanduiding zijn van het "erfelijk" karakter van de kaoliniet-

fraktie, maar FRANSOLET stipt aan dat er moeilijkheden blijven bij de interpretatie van het mogelijk brongebied. Naast kaoliniet in de grovere lagen, worden de Perm- en Midden-Buntsandstein sedimenten van de Kempen gekenmerkt door het domineren van illiet, dikwijls geassocieerd met ijzerhoudend chloriet.

In de hettangiaanse afzettingen van de boring van Neeroeteren onderscheidt de auteur een onregelmatig geïnterstratificeerd kompleks met een stabiele illietfraktie en zwellende eigenschappen, van het type 10-(10-14 M). Deze I+(10-14M) complexen worden ook aangetroffen in de Trias-Lias overgangslagen in het Groothertogdom Luxemburg (MULLER, PARTING & THOREZ, 1973). Deze complexen kunnen beschouwd worden als "verplichte" stadia in de degradatie van illiet en de transformatie tot montmorilloniet. In de boring van Aarlen is het "montmorilloniet-aandeel" in de onregelmatig geïnterstratificeerde complexen het belangrijkste in de monsters 42,0 - 35,8 en 27,5, d.i. in de fijnkorrelige afzettingen van de "Marne de Strassen". De gedegradeerde fyllieten, die door uitloging op het kontinent een gedeelte van de K^+ ionen verloren hadden, werden in een relatief afgesloten bekken gebracht, met een hoge kationenconcentratie en een aanzienlijke " Mg^{++} -druk". Bepaalde illietbladen, waarvan de K^+ slechts gedeeltelijk werd geëlimineerd behielden hun structuur, terwijl in andere het ladingsverlies ontstaan door de afvoer van K^+ ionen tussen de T-O-T-bladen gekompenseerd werd door kationen. Zo konden verschillende onregelmatig geïnterstratificeerde complexen ontstaan, met een wisselend belang van de zwellende fraktie. De montmorillonietrijke geïnterstratificeerden van de "Marne de Strassen" wijzen aldus op een afgesloten, Mg^{++} rijk milieu, mogelijk van lagunaire oorsprong. In de meest zandige afzettingen (100,5 - 51,5) daarentegen zijn de geïnterstratificeerde complexen zeer ondergeschikt en vertonen nauwelijks het vermogen tot "zwellen". PARTING onderscheidt ook een duidelijke toename van de kaolinietfraktie in de meest zandige afzettingen, met uitzondering evenwel voor de "Grès de Luxembourg" (boring van

Rebiërg), waar het kaolinietaandeel kontinu zeer ondergeschikt blijft. De beschouwingen van de auteur in verband met de klimaatsomstandigheden gedurende het Boven-Hettangiaan lijken, in het licht van onze bevindingen, voorbarig :

"Avec le Grès de Luxembourg, le climat ne favorise plus la fabrication de kaolinite sur le continent. Au contraire, la présence de (10-14 M) à 14_M prédominante ainsi que de smectite en quantités au moins égales à l'illite atteste une dégradation ménagée, favorisant une certaine montmorillonitisation ".
(MULLER, PARTING & THOREZ, 1973, p. 696).

Verder in de tekst wordt het belang van de klimaatgradiënt voor het niveau van de "Grès de Luxembourg" gerelativeerd en wordt de nadruk gelegd op de samenstelling van het brongebied :

"En outre, il ne faut pas perdre de vue que le bassin sédimentaire lui-même s'est étalé et déplacé aux époques triasiques supérieures sur les versants de l'Ardenne. Dans ces conditions, le substrat, paléozoïque ou postérieur (Buntsandstein) a été progressivement recouvert et a pu être "cannibalisé" en livrant à la sédimentation un matériau imparfaitement consolidé "recyclé". Une telle hypothèse renforcerait la reconstitution paléominéralogique au niveau du Grès de Luxembourg : elle rendrait compte de l'uniformisation des cortèges minéraux et expliquerait, en dehors d'un gradient climatique, la persistance tout au long de la sédimentation sableuse d'un cortège minéral identique dans lequel la kaolinite et la chlorite sont subordonnées" (p. 697).

Het verschil in kleimineralogische samenstelling van de "Grès de Luxembourg" in het Groothertogdom en de provincie Luxemburg kan op verschillende manieren verklaard worden :

- 1) door de rol van een hydrodynamische faktor. In de Trias en Lias-afzettingen zijn de belangrijkste kaolinietgehalten geassocieerd met zandige sedimenten, zodat de turbulentie van het sedimentatiemilieu zou kunnen werken als een "filter"

t.o.v. kaoliniet. Aangezien de korrelgroottefractie 200μ - 63μ in de "Grès de Luxembourg" van Aarlen domineert, kan men aan het sedimentatiemilieu een grotere energie toekennen dan aan de hoofdzakelijk fijnzandige afzettingen van de "Grès de Luxembourg" van Rebiërg. Daar staat tegenover dat in laatstgenoemde afzettingen het kandiettaandeel voortdurend zeer beperkt blijft, ook in de meest zandige niveaus;

2) door een verschillende graad van hydrolyse en uitloging van het oorsprongsmateriaal. Dit zou kunnen verband houden met een aanzienlijke verandering van de klimaatsomstandigheden in een korte periode, aangezien de basis van de "Grès de Luxembourg" niet isochroon is, en de onderzochte sedimenten van de boring van Aarlen zeer waarschijnlijk in jongere niveaus moeten gesitueerd worden;

3) door de verschillende mineralogische samenstelling van het oorsprongsmateriaal. Deze hypothese sluit aan bij onze vorige bevindingen (hoofdstuk V), waar in de zware fractie een duidelijk verschil in granaatgehalte werd vastgesteld.

Verdere mineralogische onderzoeken van de kleifraction van jongere niveaus van de "Grès de Luxembourg" in het Groothertogdom zullen ongetwijfeld meer klaarheid brengen, maar het is nu reeds duidelijk dat een gedetailleerd onderzoek van de kleimineralogie van de Onder-Lias-sedimenten in België een bijdrage kan leveren tot een betere kennis van het paleogeografisch kader van de afzettingen en de evolutie van het noordoostelijk deel van het Bekken van Parijs. Voor deze studie is een kwantitatieve bepaling van het kaolinietgehalte, en een kwalitatief kristallochemisch onderzoek van illiet en de geïnterstratificeerde complexen aangewezen. Ook de studie van eventuele neoformatie van kandietmineralen met behulp van de transmissie-elektronenmikroskoop kan nuttig zijn. Op dit ogenblik zijn de gegevens te onvolledig om de hoge kaolinietgehalten in de Luxemburgse zandsteen van de boring te verklaren, maar men kan stellen dat de grove zandige formaties uit de Buntsandstein ten noordoosten van het huidige ontsluitings-

gebied van de "Grès de Luxembourg", als brongebied in aanmerking zouden kunnen komen.

VIII. Studie van enkele diagenetische kenmerken op kwartskorrels van de "Grès de Luxembourg", met behulp van de Scanning Elektronenmikroskoop

Verschillende onderzoekers hebben gedurende de laatste jaren gepoogd de scanning elektronenmikroskoop te gebruiken om op het oppervlak van kwartskorrels kenmerken te onderscheiden, die wijzen op welbepaalde omstandigheden van afzetting en transport. Hoewel er op dit ogenblik geen consensus is over de waarde van de verschillende criteria, kunnen toch welbepaalde kenmerken van het kristaloppervlak onderscheiden fysische en chemische invloeden aanduiden. De korrosieverschijnselen op kwartskorrels in zandige kalkstenen of karbonaatrijke zandstenen werden bijna uitsluitend onderzocht in slijpplaatjes, met de klassieke lichtmikroskoop. Alleen KRINSLEY en DONAHUE (1968) bestudeerden enkele kwartskorrels van kalksteen uit het Primair van de staat New York, met behulp van een transmissieëlektronenmikroskoop. Zij gebruiken daarvoor de replica-techniek van KRINSLEY en TAKAHASHI (1964), zodat ze geen voldoende lage vergroting konden bekomen om de gehele kwartskorrels te bekijken, en waardoor ze ook het duidelijk driedimensionale beeld van de S.E.M. niet konden verkrijgen.

Van de "Grès de Luxembourg" kozen we 3 gesteentemonsters met duidelijk verschillend gehalte karbonaatcement, nl. :

48,5 met 70 % karbonaat en beschreven als "psammitische pseudo-oëliethoudende organoklast"

51,5 met 9,2 % karbonaat, getypeerd als "calciethoudende psam-mokwartsiet"

85,0 met 21 % karbonaat en "hypokalkpsammiet" genoemd.

De kwartskorrels van deze gesteenten werden ook afzonderlijk onderzocht na ontkalking en ontijzering.

Bij een eerste studie van de korreloppervlakken noteerden we enkele merkwaardige fenomenen :

1) *Chemische etsfiguren op de kristaloppervlakken*

Op microfoto 8 herkennen we een groot aantal V-vormige holten, die in het centrale gedeelte van de korrel verdiept werden tot een echte oplossingsgroef : het kwartskristal werd steeds verder en dieper uitgerepareerd, en op het korreloppervlak blijft alleen nog een onregelmatige dwarsbedekking. De chemische oplossing was vermoedelijk zo intens dat het gehele korreloppervlak aangetast werd, en het typische patroon van duidelijk georiënteerde triangulaire en rhomboëdrische oplossingsholten niet kon ontwikkelen, ofwel reeds verloren ging omdat de korrosiefiguren zich door verdere oplossing samenstelden tot komplekse polygonale en V-vormige omtrekken (microfoto 9). AMELINCKX (1964) heeft het voorkomen van sommige etsfiguren toegeschreven aan de aanwezigheid van defekten of dislokaties in het kristal, omdat op de plaatsen waar een dislokatie het kristaloppervlak snijdt, dit meer oplosbaar zou zijn. De samengesteld V-vormige etsfiguur van microfoto 10 en 11 kan misschien een uitgerepareerde dislokatie aanduiden.

2) *Geëtste splijtvlakken*

In het centrale deel van foto 12 en 13 zien we een sterke chemische etsing, waardoor de splijtvlakken vrijgemaakt worden; de vlakken vertonen veel onregelmatige oplossingsfiguren en de randen zijn zeer onscherp. De splijtrichtingen zijn wel goed ontwikkeld op microfoto 14 en 15, de randen zijn scherp en vertonen een regelmatig en georiënteerd V-vormig patroon, dat volgens MARGOLIS (1968) zou kunnen ontstaan zijn bij een minder intense etsing.

3) *Kristalvlakken*

Op microfoto 16 herkennen we een goed ontwikkeld kristalvlak, waarvan het beeld doet denken aan de sekundaire kwartsovergroeiingen beschreven door PITTMAN (1972). Deze auteur meent dat onvolledig ontwikkelde kristalvlakken

kunnen ontstaan door het samengroeien van onregelmatige sekundaire kwartsvormen, en dat de holten op de kristalvlakken zouden kunnen opgevuld worden bij verdere groei van autigeen kwarts. Dit vlak kan moeilijk door een splijting ontstaan zijn, omdat het oppervlak te regelmatig is en geen splijtrichtingen kunnen herkend worden. Anderzijds is het ook onwaarschijnlijk dat een oorspronkelijk kristalvlak door het contact met meerdere andere korrels afgeschermd was van een circulerende alkalische oplossing. Naast grotere kristalvlakken, komen in lokale depressies van het kwartskorreloppervlak ook kleine goed ontwikkelde kristallen voor met een hexagonale of trigonale vorm. Op microfoto 17 en 18 zien we goed ontwikkelde kristalvlakken die in geïsoleerde groepen uitgroeien met dezelfde kristallografische oriëntatie.

De bovenvermelde teksturele kenmerken konden bij dit eerste overzicht niet in verband gebracht worden met de verschillende lithotypes. Het lijkt erop dat de verschillende verschijnselen - in min of meerdere mate - in alle gesteenten kunnen herkend worden, zodat hun ontwikkeling afhankelijk is van het micro-milieu op een bepaalde plaats. Zo menen we in eenzelfde monster (51,5) aanwijzingen te vinden voor een sekundaire kwartsgroei samen met duidelijk chemische korrosiefiguren. Hoewel we over onvoldoende gegevens beschikken om de diagenese van de gesteenten te verklaren, willen we toch laten opmerken dat de verhouding van de oplosbaarheid van silica tot de pH, verschillend is van die van karbonaat. Karbonaat lost op in zuur milieu en precipiteert in alkalische oplossingen, waarbij de pH waarde op het punt van precipitatie afhankelijk is van de activiteit van CO_2 , Ca^{++} , CO_3^{--} , druk en temperatuur. Recente onderzoeken hebben aangetoond dat de oplosbaarheid van silica onafhankelijk is van de pH tussen 2 en 9 en alleen aanzienlijk toeneemt voor pH waarden boven 9,5. De verschillende diagenetische processen, nl. oplossing van kwarts, gedeeltelijke herverdeling en herkristallisatie van het calciet-

cement en precipitatie van silica kunnen dus niet verklaard worden door lichte pH-wijzigingen van de gehele chemische omgeving.

We kunnen besluiten dat reeds bij een eerste "terreïnverkenning" het gebruik van de S.E.M. nuttig blijkt voor een gedetailleerd onderzoek van de lithifikatie en diagenese van deze sedimenten.

Deze studie werd uitgevoerd onder de leiding van Prof. Dr. A. Hacquaert. Het onderzoek werd gefinancierd door het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek. Wij willen ook onze dank betuigen aan Dr. J.F. De Coninck, Dr. S. Geets en Dr. G. Stoops voor de praktische hulp, en aan Prof. Dr. A. Lagasse voor het gebruik van de Scanning Elektronenmikroskoop.

Literatuur

- AMELINCKX, S. (1964). The direct observations of dislocations. *Solid State Phys.*, Suppl. 6, 486 p.
- ANTUN, P. (1953). Les associations des minéraux denses du Mésozoïque luxembourgeois. *Ann.Soc.géol.Belg.* 76, B249-B271.
- BAILEY, E.H. & STEVENS, R.E. (1960). Selective staining of K-Feldspar and Plagioclase on rock slabs and thin sections. *Amer.Mineral.* 45, 1020-1025.
- BINTZ, J. & MULLER, Ad. (1966). Sur la représentation du Grès de Luxembourg sur la nouvelle carte géologique générale du Grand-Duché. *Arch.Inst.Gr.Duc.Lux., Sec.Sci.Nat., Phys., Math.* 31, 241-258.
- BINTZ, J., GUERIN-FRANIATTE, S., MOUTERDE, R. & MULLER, Ad. (1970). Résultats des recherches géologiques faites sur la tranchée du S.E.B.E.S. Tronçon Eschdorf-Nospelt, Nospelt-Rebiërg, Nospelt-Bridel. *Publ.Serv.Géol.Lux.* 20, 1-85.
- DAPPLES, E.C. (1971). Physical classification of carbonate cement in quartzose sandstones. *J.Sed.Petrol.* 41, 196-204.

- DAPPLES, E.C. (1971). Classification of carbonate cements in quartzose sandstones. In : *Carbonate Cements* (ed. O.P. Bricker), 19, 308-311. London : J. Hopkins.
- DE KIMPE, C. (1961). *Synthèse des minéraux argileux de la famille du kaolin*, 112 p. Louvain Institut Agronomique U.C.L. (Doctorat).
- DE METS, M. & LAGASSE, A. (1970). De Scanning Elektronenmikroskop. *Natuurwet.Tijdschr.* 52, 3-10.
- DEWALQUE, G. (1854). Note sur les divers étages de la partie inférieure du Lias dans le Luxembourg et les contrées voisines. *Bull.Soc.géol.France*, 2e sér., 11, 234-261.
- DEWALQUE, G. (1857). *Description du Lias de la province de Luxembourg*. 66 p. Liège : Dessain.
- DEWALQUE, G. (1868). *Prodrome d'une description géologique de la Belgique*. 501 p. Liège : Librairie polytechnique.
- DDEGLAS, D.J. (1968). Grain-size indices, classification and environment. *Sedimentol.* 10, 83-100. Amsterdam.
- D'OMALIUS D'HALLOY (1845). Sur le Grès de Luxembourg. *Bull.Soc.géol.France*, sér. 2, 2, 91-94.
- D'OMALIUS D'HALLOY (1862). *Abrégé de Géologie*. 626 p. Bruxelles : A. Schnée.
- DORMAL, V. (1894). C.R. de l'excursion de la Soc.belge Géol., Paléont. et Hydrol. dans les terrains triasiques et jurassiques des environs d'Arlon. *Bull.Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.*, 8, 102-129.
- DUMONT, A.H. (1842). Mémoire sur les terrains secondaires du Luxembourg. *Mém.Acad.roy.Brux.* 15, 36 p.
- DUMONT, A.H. (1849). Rapport sur la carte géologique de la Belgique. *Bull.Acad.roy.Brux.* 16, p. 351.
- DUMONT, A.H. (1852). *Carte géologique de la Belgique et des contrées voisines*, Bruxelles.
- FEUTH-SIEDEK, I., GUERIN-FRANIATTE, S. & MULLER, Ad. (1970). Le Lias inférieur sur le plateau de Burmerange. *Publ.Serv.Géol.Lux.* 20, 85-127.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. (1957). Brazos River bar, a study in

- the significance of grain-size parameters. *J.Sed.Petrol.* 27, 3-27.
- FOLK, R.L. (1959). A practical petrographic classification of limestones. *Bull.Am.Ass.Petrol.Geol.* 43, 1-38.
- FRANSOLET, A.M. (1970). Recherches minéralogiques sur le Permo-Trias des sondages de Campine. *Ann.Soc.Géol.Belg.* 93, 203-245.
- FRIEDMAN, G.M. (1959). Identification of carbonate minerals by staining methods. *J.Sed.Petrol.* 29, 87-97.
- FRIEDMAN, G.M. (1967). Dynamic Processes and Statistical Parameters Compared for Size Frequency Distribution of Beach and River Sands. *J.Sed.Petrol.* 37, 327-354.
- GABRIEL, A. & COX, E.P. (1929). A staining method for quantitative determination of certain rock minerals. *Amer.Mineral.* 14, 290-292.
- GASTUCHE, M.C., FRIPIAT, J.J. & DE KIMPE, C. (1961). La genèse des minéraux argileux de la famille du kaolin. I. Aspect colloïdal - II. Aspect cristallin. *Coll.Internat.C.N.R.S.* 105, 57-81.
- GLASS, H.D. (1958). Clay mineralogy of Pennsylvanian sediments in southern Illinois. *Clays and Clay miner.*, 5th Nat.Conf. 1956, 227-241.
- GLASS, H.D., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1956). Clay mineralogy of some basal Pennsylvanian sandstones, clays and shales. *Bull.Am.Ass.Petr.Geol.* 40, 750-754.
- GULINCK, M., LAGA, P. & LEGRAND, R. (1973). Le sondage d'Arlon. *Prof.Pap.Serv.Géol.Belg.*, nr. 9, 6 p.
- HALLAM, A. (1964). Liassic sedimentary cycles in western Europe and their relationship to changes in sea level. *6e Congr. Internat.Sediment.* 1, 157-164.
- HARY, A. (1974). Inventaire des traces d'activité animale dans les sédiments Mésozoïques du territoire luxembourgeois. *Publ.Serv.Géol.Lux.* 23, 91-175.
- HERBILLON, A. & GASTUCHE, M.C. (1962). Etude des complexes kaolinite-hydroxyde d'aluminium. Synthèse et genèse des trihy-

- drates cristallisés. *Bull. Groupe Franç. Argiles C.N.R.S.*, 14, 77-94, Paris.
- HUIZING, H.G.J. (1967). Geomorfologische problemen in het zuidoosten van België (omgeving van Florenville). *Publ. Fys. Geogr. Lab. Univ. Amsterdam*, nr. 10, 195 p.
- INMAN, D.L. (1952). Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.* 22, 125-145.
- JEROME, A. (1904). C.R. excurs. dans le Luxembourg belge et grand-ducal, de la Soc. belge de Géologie. *Bull. Soc. belge Géol., Paléont., Hydrol.* 18, 330-335.
- JEROME, A., FOURMARIER, P. & OONDELINGER, V. (1911). C.R. sess. extraord. Soc. belge Géol. tenue à Arlon et à Florenville du 16 au 20 sept. 1911. *Bull. Soc. belge Géol., Paléont., Hydrol.* 25, M313-M388.
- JOLY, H. (1907). *Le Jurassique inférieur et moyen de la bordure Nord-Est du Bassin de Paris*. Nancy.
- JOLY, H. (1936). Les fossiles du Jurassique de la Belgique. II. Lias inférieur. *Verhand. Kon. Nat. Mus. België*, nr. 79, 244 p.
- KEPPENS, E. (1972). *Bijdrage tot de sediment petrografie van het Rhetiaan in de provincie Luxemburg*, 108 p. Gent R.U.G. (Licentiaatsverhandeling).
- KITTRICK, J.A. (1967). Gibbsite-Kaolinite Equilibria. Wash. State Univ. Pullman. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31, 314-316.
- KITTRICK, J.A. (1970). Precipitation of kaolinite at 25°C and 1 atm. *Clays and Clay miner.* 18, 261-267.
- KLÜPFEL, W. (1917). Über die Sedimente der Flachsee im Lothringer Jura. *Geol. Rundschau* 7, 97-109.
- KLÜPFEL, W. (1920). Der Lothringer Jura. I. Lias. *Jahrb. Preuss. Geol. Landesanstalt* 39, 2, 165-372.
- KRINSLEY, D.H. & TAKAHASHI, T. (1964). A technique for the study of surface textures of sand grains with electron microscopy. *J. Sed. Petrol.* 34, 423-426.
- KRINSLEY, D. & DONAHUE, J. (1968). Diagenetic surface textures on quartz grains in limestone. *J. Sed. Petrol.* 38, 859-862.
- LEVELT, Th.W.M. (1965). Die Plateaulehme Süd-Luxemburgs und

- ihre Bedeutung für die morphogenetische Interpretation der Landschaft. *Publ.Serv.Géol.Lux.* 15, 215 p.
- LOMBARD, A. (1956). *Géologie sédimentaire. Les séries marines.* 722 p. Liège : Vaillant-Carmanne.
- LUCAS, J. (1963). La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias. *Mém.Serv. Carte Géol.Lorr.* 23, 202 p.
- LUCAS, J. & BRONNER-TASSEL, A.M. (1961). Evolution des argiles sédimentaires dans le bassin triasique du Jura français. *Bull.Serv.Carte Géol.Als.Lorr.* 14, 137-147.
- LUCIUS, M. (1948). *Das Gutland. Erläuterungen zu der Geologischen Spezialkarte Luxemburgs.* 406 p. Luxemburg.
- LUCIUS, M. (1955). Beiträge zur Geologie von Luxemburg. *Publ. Serv.Géol.Lux.* 2, 415 p.
- MAILLIEUX, E. (1946). L'âge des sables liasiques de Metzert. *Bull.Mus.roy.Hist.Nat.Belg.* 22, 4, 1-4.
- MARGOLIS, S.V. (1968). Electron microscopy of chemical solution and mechanical abrasion features on quartz sand grains. *Sediment.Geol.* 2, 243-256. Amsterdam.
- MAUBEUGE, P.L. (1948). Données stratigraphiques sur quelques horizons du Lias de la Belgique. *Bull.Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.* 57, 186-193.
- MAUBEUGE, P.L. (1950). Nouvelles données stratigraphiques sur le Lias de la province de Luxembourg. *Bull.Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.* 59, 231-239.
- MAUBEUGE, P.L. (1954). Le Trias et le Jurassique du Sud-Est de la Belgique. In : *Prodrome d'une description géologique de la Belgique* 385-416. Liège : Vaillant-Carmanne.
- MAUBEUGE, P.L. (1955). *Observations géologiques dans l'Est du Bassin de Paris.* 1082 p., 2 tomes. Nancy.
- MAUBEUGE, P.L. (1965). Contribution à la géologie de la province de Luxembourg et du Grand-Duché de Luxembourg : le problème du "Grès de Luxembourg". *Bull.Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.* 74, 316-345.

- McKINNEY, T.F. & FRIEDMAN, G.M. (1970). Continental shelf sediments of Long Island. New York, *J.Sed.Petrol.* 40, 213-248.
- MICHOT, P. (1958). Classification et terminologie des roches lapidifiées dans la série psammito-pélitique. *Ann.Soc.Géol. Belg.* 81, B311-B342.
- MONTEYNE, R. (1958). *Recherches sur le Lias inférieur du Sud de la Belgique*. I-II-III. Bruxelles, U.L.B. (Doctorat).
- MONTEYNE, R. (1959). La limite Hettangien-Sinémurien dans l'Est du Luxembourg belge. L'âge des "Sables de Metzert". *Bull. Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.* 68, 125-133.
- MONTEYNE, R. (1960a). Les stratifications obliques dans l'Hettangien et le Sinémurien belges. *Bull.Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.* 69, 42-47.
- MONTEYNE, R. (1960b). Etude granulométrique des sables du Lias inférieur belge. *Bull.Soc.belge Géol., Paléont., Hydrol.* 69, 48-65.
- MONTEYNE, R. (1966). *Paléogéographie du Bas-Luxembourg au Jurassique inférieur*. Pays Gaumais, 27e-28e ann., 41 p. Virton.
- MONTY, C. (1963). Bases d'une nomenclature des roches calcaires marines. *Ann.Soc.Géol.Belg.* 86, B88-B124.
- MULLER, J.E. (1943). Sedimentpetrologie van het dekgebergte in Limburg. *Meded.Geol.Stichting*, Serie CII 2, nr. 2, 78 p. Maastricht.
- MULLER, A. (1967). Contribution à la connaissance du Lias inférieur au Grand-Duché de Luxembourg. 1. Die Mergel und Kalke von Strassen. *Publ.Serv.Géol.Lux.* 17, 1-135.
- MULLER, A. (1970). Paysage géologique du Luxembourg : Le quadrilatère Dalheim, Medingen, Hassel, Altwies. *Arch.Inst.Gr.Duc. Lux., Sect.Sci.Nat.Phys.Math.*, 34, 383-417.
- MULLER, A. (1974). Die Trias-Lias Grenzsichten Luxemburgs. Faziesentwicklung am NE-Rand des Pariser Beckens. *Publ.Serv. Géol.Lux.* 23, 1-89.
- MULLER, A., PARTING, H. & THOREZ, J. (1973). Caractères sédimentologiques et minéralogiques des couches de passage du Trias au Lias sur la bordure Nord-est du Bassin de Paris. *Ann.Soc.*

- Géol. Belg.* 96, 671-707.
- MULLER, A. & RASCHE, P. (1971). Der Luxemburger Sandstein (Hettangien) im Gebiet Syren, Munsbach, Sandweiler, Itzig, Hassel. *Bull. Publ. Serv. Géol. Luxemb.* 4, 1-28.
- PASSEGA, R. (1957). Texture as characteristic of clastic deposition. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 41, 1952-1984.
- PASSEGA, R. (1962). Problem of comparing ancient with recent sedimentary deposits. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.* 46, 114-118.
- PASSEGA, R. (1964). Grain size representation by C.M. patterns as a geological tool. *J. Sed. Petrol.* 34, 830-847.
- PASSEGA, R. & BYRAMJEE, R. (1969). Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentol.* 13, 233-252.
- PIRLET, H. (1965). Classification des calcaires de la série des aréno-cryptites. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 88, 395-410.
- PITTMAN, E.D. (1972). Diagenesis of Quartz in Sandstones as revealed by scanning electron microscopy. *J. Sed. Petrol.* 42, 507-519.
- POUJOL, P. (1961). La série liasique du Bassin de Paris. Essai de corrélations entre les sondages de la régie autonome des Pétroles. *Mém. B.R.G.M.* 4, 577-616.
- PURDY, E.G. (1963). Recent calcium carbonate facies of the Great Bahama Bank. *J. Geol.* 71, 334-355. Chicago.
- PURSER, B.H. (1969). Syn-sedimentary marine lithification of Middle Jurassic Limestones in the Paris Bassin. *Sedimentol.* 12, 3/4 Spec. Issue, 205-230.
- SAHU, B.K. (1964). Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *J. Sed. Petrol.* 34, 73-83.
- SINDOWSKI, K.H. (1958). Schüttungsrichtungen und Mineral-Provinzen im westdeutschen Buntsandstein. *Geol. Jahrb.* 73, 277-294.
- SMITHSON, F. & BROWN, G. (1954). The petrography of dickitic sandstones in North Wales and Northern England. *Geol. Mag.* 91, 177-188.
- SMOOT, T.W. (1960). Clay mineralogy of pre-Pennsylvanian sandstones and shales of the Illinois Basin, Part I. *Illinois*

- State Geol. Surv.* 286, 20 p.
- STEININGER, H. (1828). Description géognostique du Grand-Duché de Luxembourg. *Mém. cour. Acad. roy. Brux.* 7.
- TERQUEM, O. & PIETTE, E. (1862). Le Lias de la Meurthe, de la Moselle, du Grand-Duché de Luxembourg, de la Belgique, de la Meuse et des Ardennes. *Bull. Soc. géol. France*, 2e série, 19, 322-394.
- THOREZ, J. (1964). Sédimentation rythmique du Famennien supérieur dans la vallée du Hoyoux. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 87, M3-M50.
- THOREZ, J. (1969). *Sédimentologie du Famennien Supérieur dans le synclinorium de Dinant (Belgique)*. Liège, U.L.G. (Doctorat)
- THOREZ, J. & BOURGUIGNON, P. (1973). Minéraux argileux des argiles de dissolution des calcaires dinantiens en Condroz. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 96, 59-85.
- TRASK, P.D. (1930). Mechanical analysis of sediments by centrifuge. *Econ. Geol.* 25, 581-599.
- VALK, W. (1945). Sedimentpetrologie van het Perm en de Trias in den ondergrond van Nederland. *Med. Geol. Stichting Geol. Bur. Mijnb. Heerlen*. J. versl. 1942-43, 17 p. Maastricht.
- VISHER, G.S. (1969). Grain-size distribution and depositional processes. *J. Sed. Petrol.* 39, 1074-1106.
- WARNE, S.St.J. (1962). A quick field or laboratory staining scheme for the differentiation of the major carbonate minerals. *J. Sed. Petrol.* 32, 29-38.

- Microfoto 1 Organoklasthoudende hypokalkpsammiet
(Organoklasthoudende hypokalkkwartsareniet)
 Gepolariseerd licht, nicols gekruist.
 Boormonster 94,0
 Bovenaan : groot calcietskristal met monokristal-
 lijn aspekt in uitdovingsstand; fijne
 kwartskorrels in centraal gedeelte in-
 gesloten, poecilistische structuur.
- Microfoto 2 Psammitische kalkargilliet met horizontale klei-
 ige band
(Kwartsarenitische kalkargilliet)
 Gepolariseerd licht, nicols gekruist
 Boormonster 27,5
- Microfoto 3 Organoklastische kalkpsammiet
(Organoklastische kalkkwartsareniet)
 Gepolariseerd licht, nicols gekruist
 Boormonster 93,0
- Microfoto 4 Psammitische pseudo-oölitische organoklast
(Kwartsarenitische pseudo-oölitische organoklast)
 Gepolariseerd licht, nicols gekruist
 Boormonster 45,0
- Microfoto 5 Detail 45,0
 Sferische deeltjes. Centraal gedeelte meestal leeg;
 soms met kwartskorrel (centrum - links onder) of met
 sekundair calciet (rechts boven). Samengestelde lob-
 vormige structuur (centrum boven - links boven).
 Fijne radiaire calcietomlijsting van de partikels.
- Microfoto 6 Detail 45,0
 Sferisch deeltje met kwartskorrel in centrum, en
 mikrokristallijne omlijsting met radiaire structuur.
 De fijne langwerpige calcietskorrels loodrecht op het
 oppervlak van het sferisch partikel konden zich niet
 ontwikkelen aan het contact met de kwartskorrels.
 Bemerkt de korrosie van de kwartskorrels rechts bo-
 venaan; links bovenaan : overgang van mikrokristal-
 lijn radiaal cement naar onregelmatig spatig cal-

cietcement.

Microfoto 7 Granaatkorrel met geëtst oppervlak.

Doorvallend licht.

S.E.M. Microfoto 8 Intens geëtste kwartskorrel met centrale oplossingsgroef.

Natuurlijk monster 51,5

S.E.M. Microfoto 9 Detail van het centraal gedeelte : komplekse polygonale en V-vormige korrosiefiguren.

S.E.M. Microfoto 10 Geëtste kwartskorrel met in centrum samengesteld V-vormige etsfiguur; duidt een dislokatie aan die het kristaloppervlak snijdt. Ontkalkt en ontijzerd monster 51,5.

S.E.M. Microfoto 11 Detail nr. 51,5.

S.E.M. Microfoto 12 Spleijvlakken, vrijgemaakt door intense chemische etsing. Ontkalkt en ontijzerd monster 48,5.

S.E.M. Microfoto 13 Detail. Intense etsing op de vlakken.

S.E.M. Microfoto 14 Kwartskorrels met uitgeprepareerde georiënteerde spleijtrichtingen. Ontkalkt monster 85,0.

S.E.M. Microfoto 15 Detail. Regelmatig georiënteerde V-vormige en triangulaire etsfiguren. Mogelijk sekundaire kwartsgroei ?

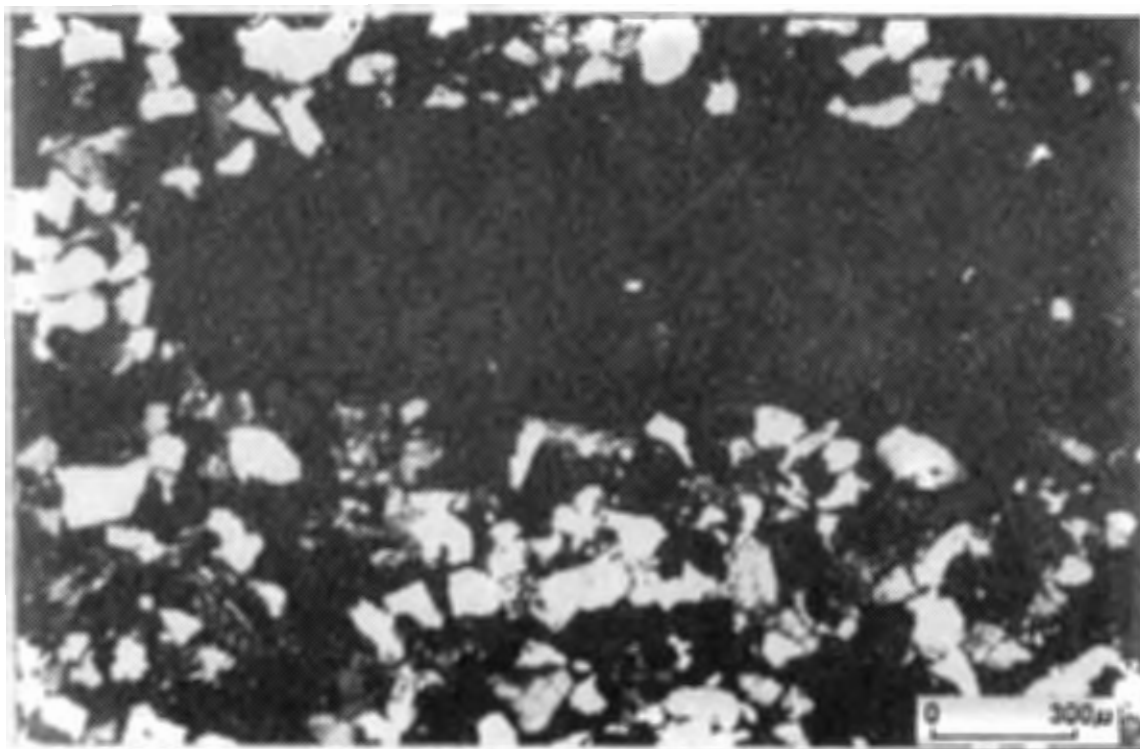
S.E.M. Microfoto 16 Goed ontwikkeld kristalvlak, wellicht ontstaan door samenkomen van sekundaire kwarts-overgroeiingen.

Natuurlijk monster 51,5.

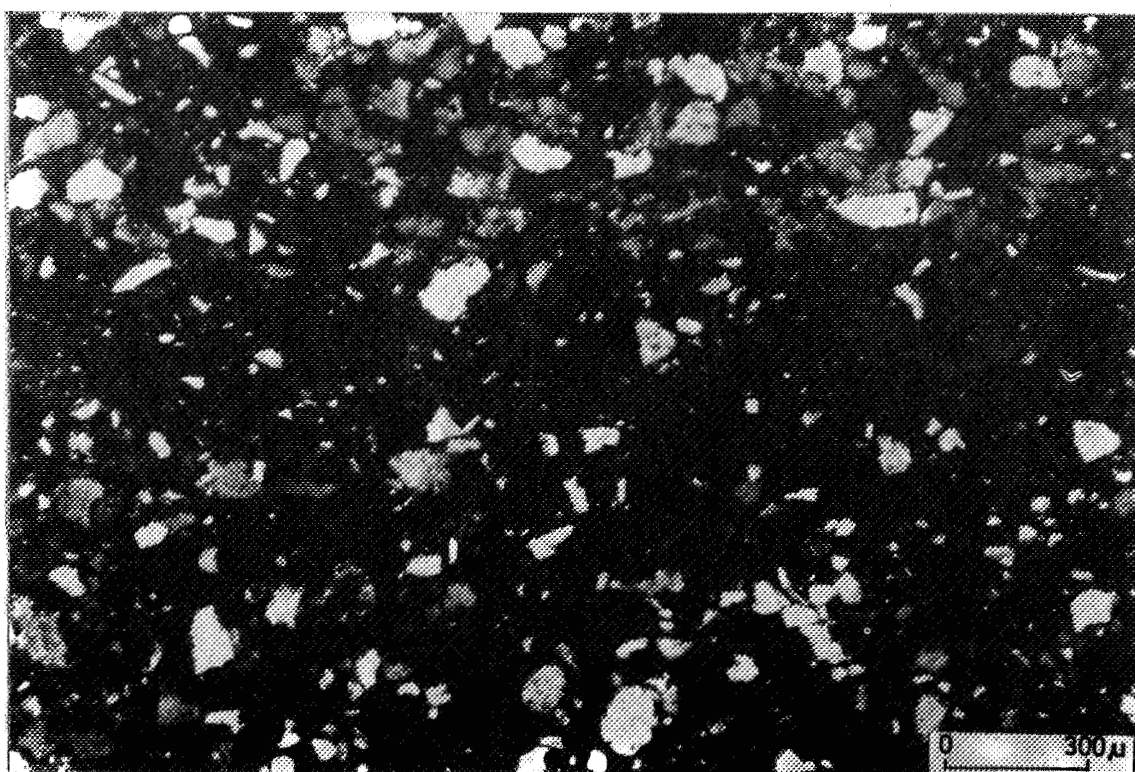
S.E.M. Microfoto 17 Goed ontwikkelde sekundaire kwartskristallen met een hexagonale vorm.

Ontkalkt en ontijzerd monster 48,5.

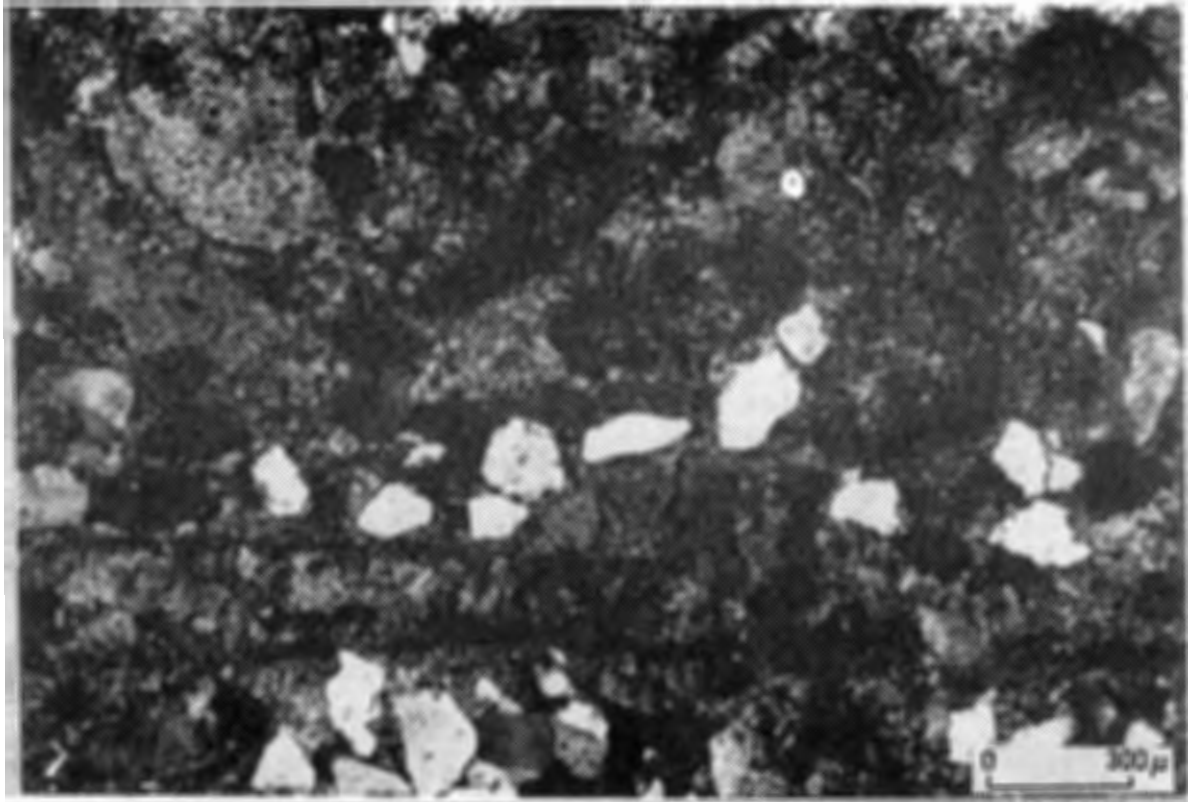
S.E.M. Microfoto 18 Detail. Sekundaire kwartskristalletjes groeien uit met dezelfde kristallografische oriëntatie.



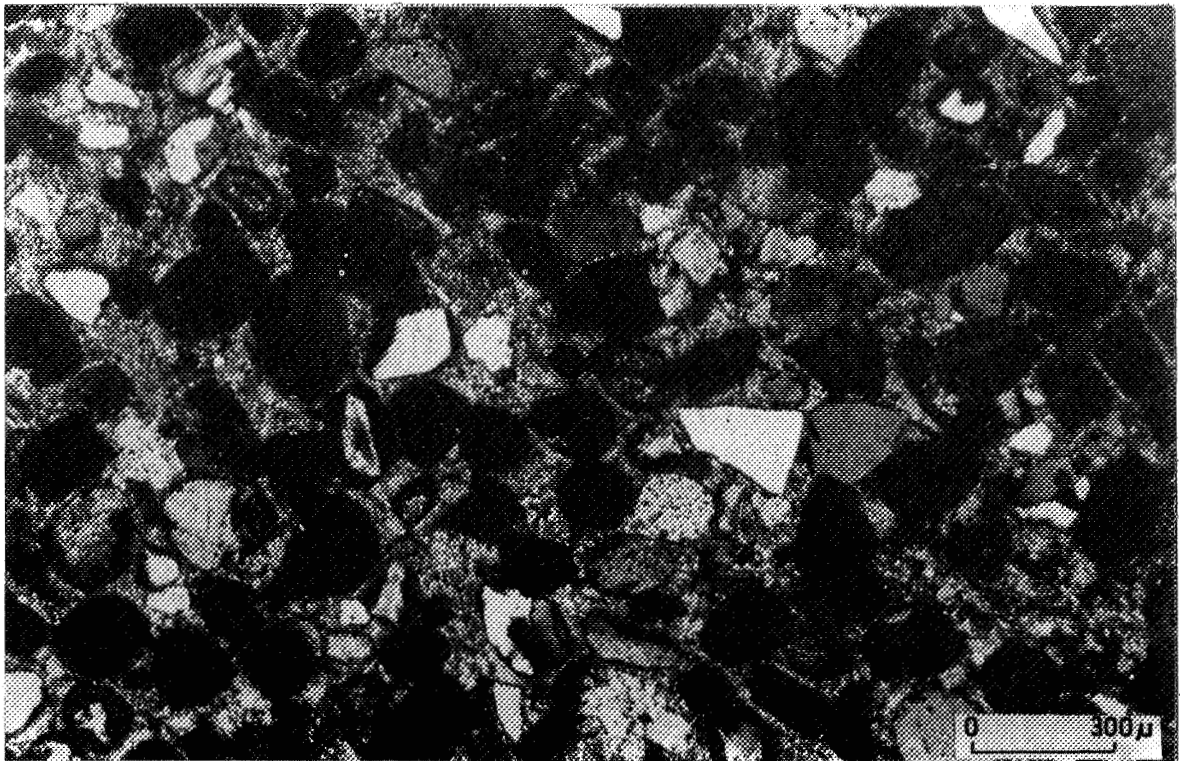
Microfoto 1



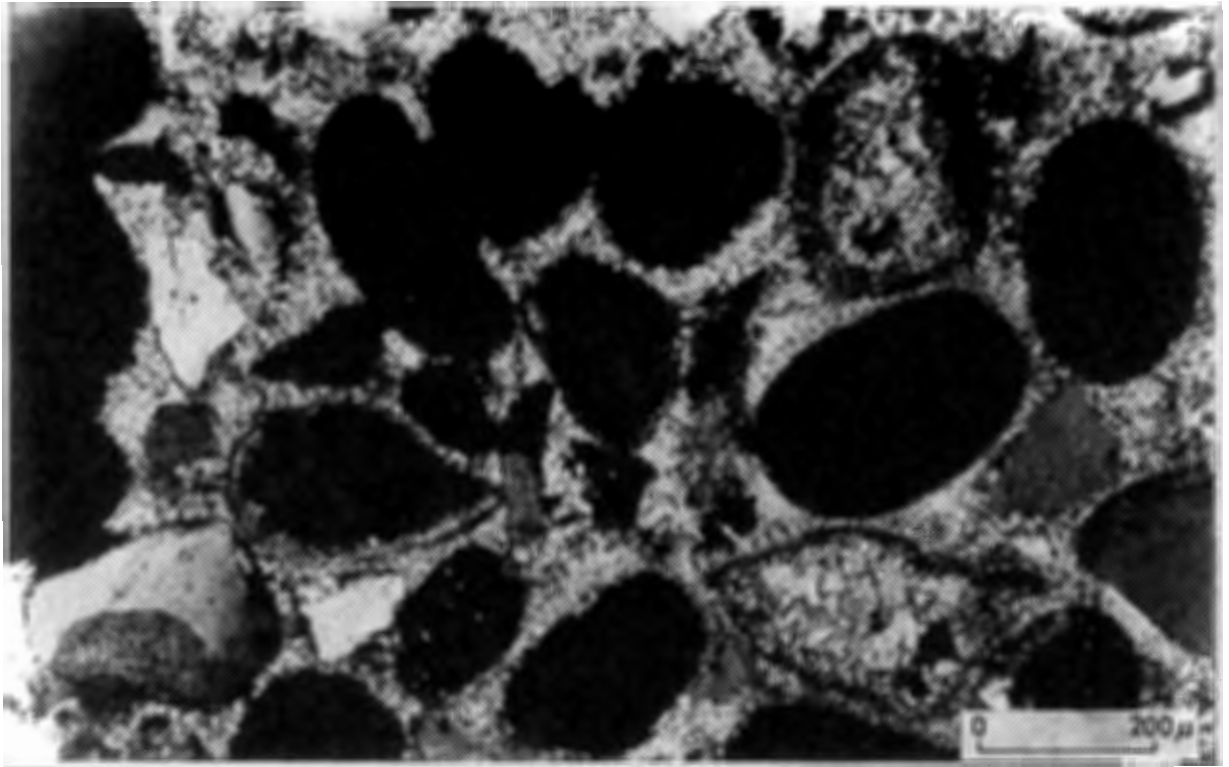
Microfoto 2



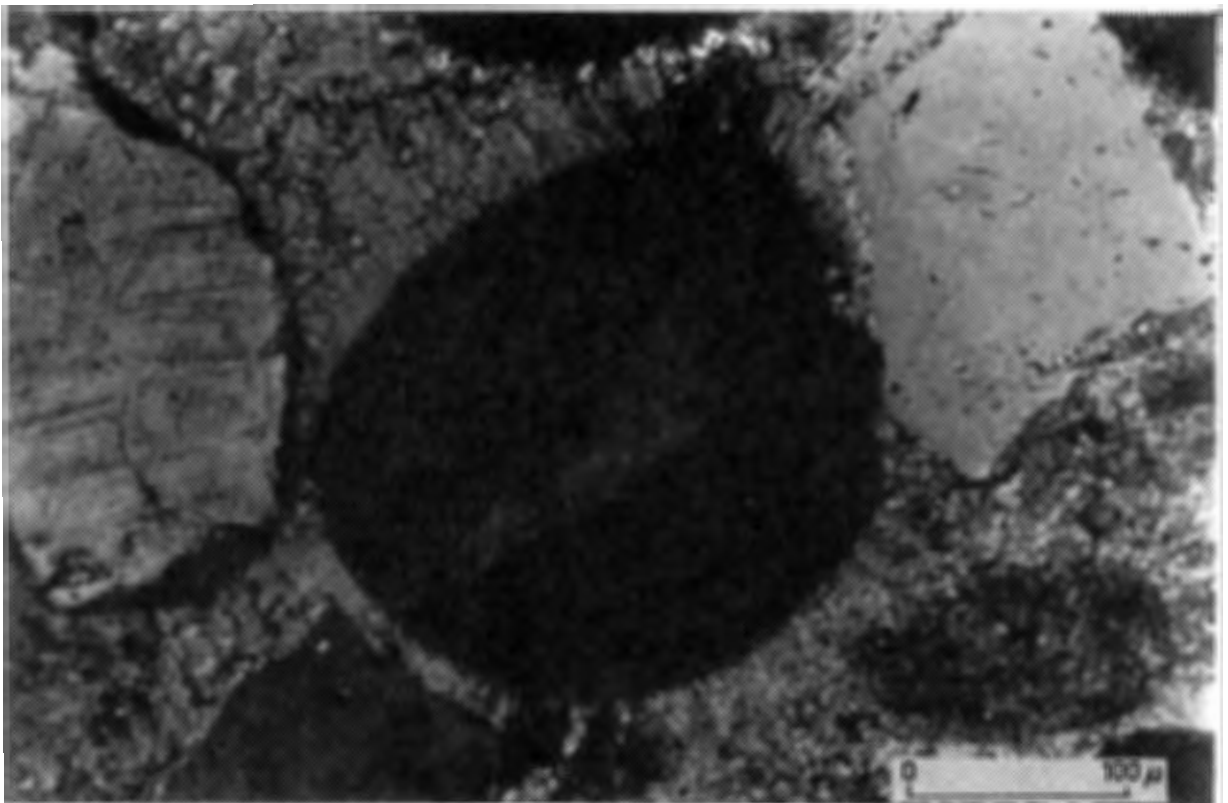
Microfoto 3



Microfoto 4



Microfoto 5

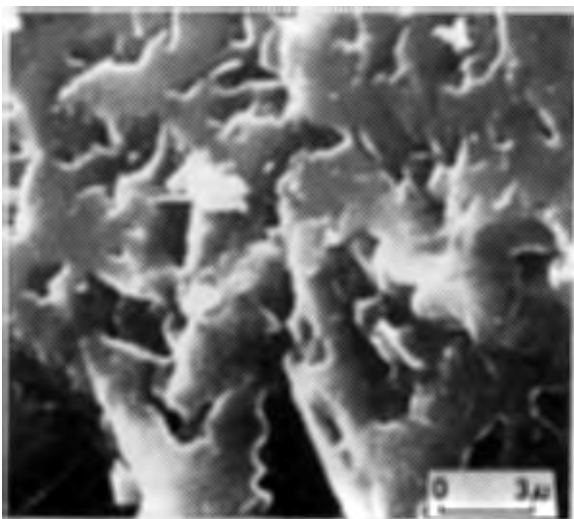
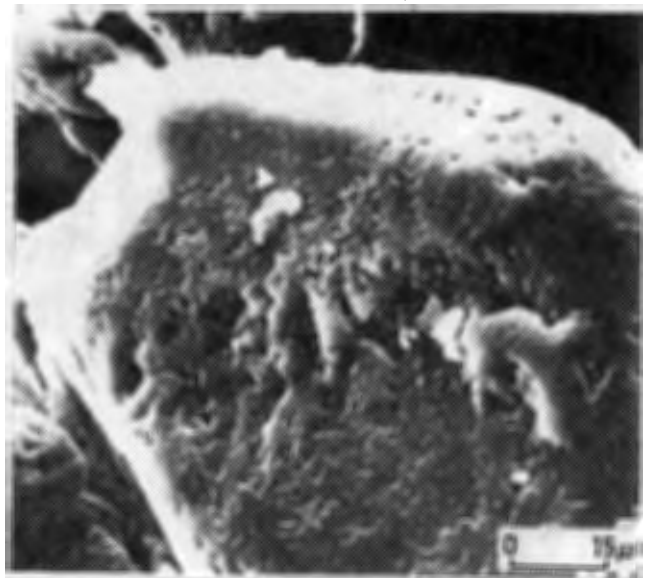


Microfoto 6



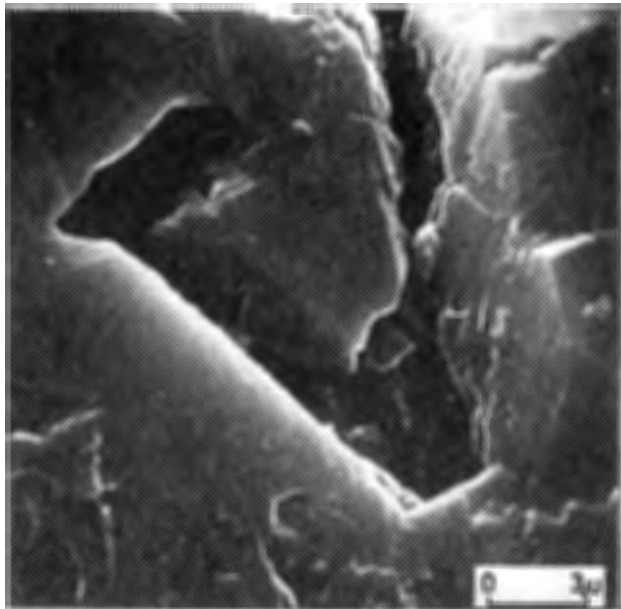
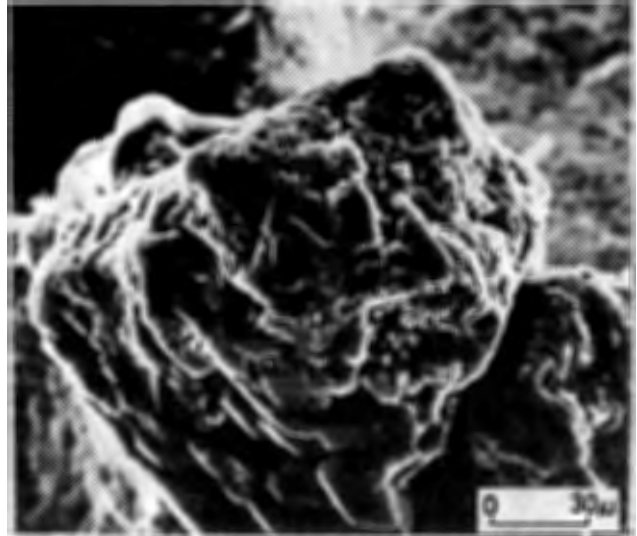
Microfoto 7

S.E.M. Microfoto 8

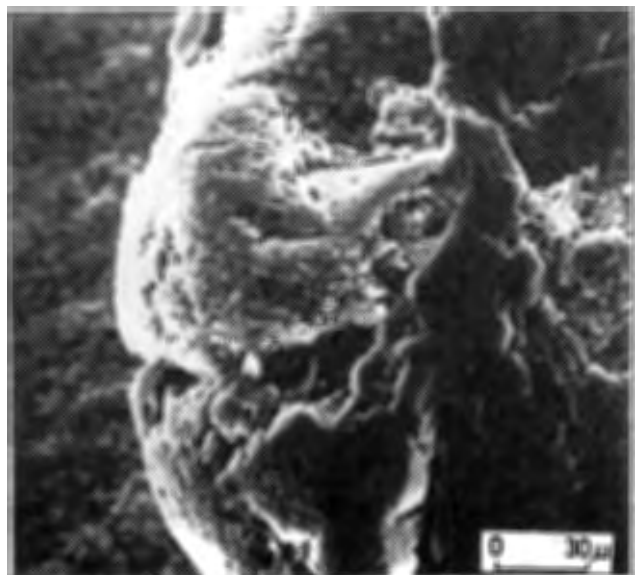


S.E.M. Microfoto 9

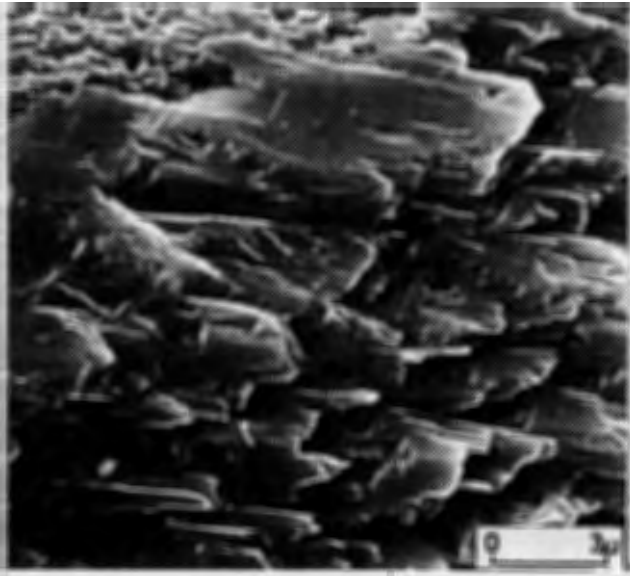
S.E.M. Microfoto 10



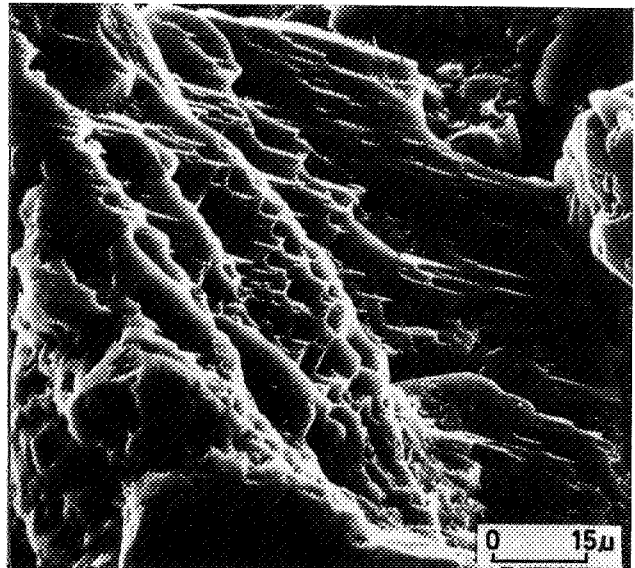
S.E.M. Microfoto 11



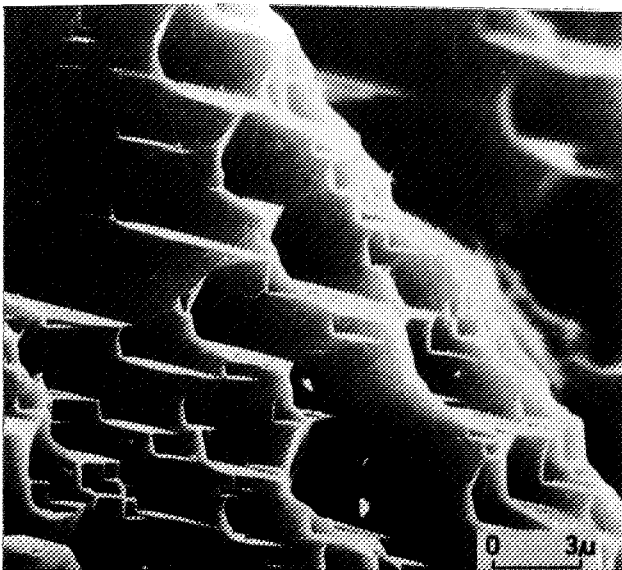
S.E.M. Microfoto 12



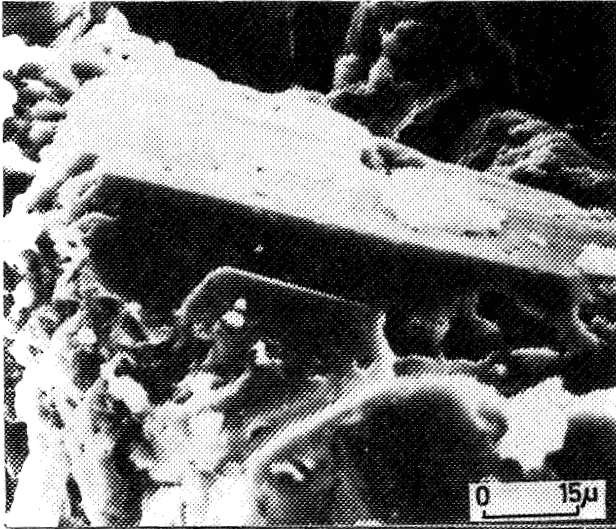
S.E.M. Microfoto 13



S.E.M. Microfoto 14

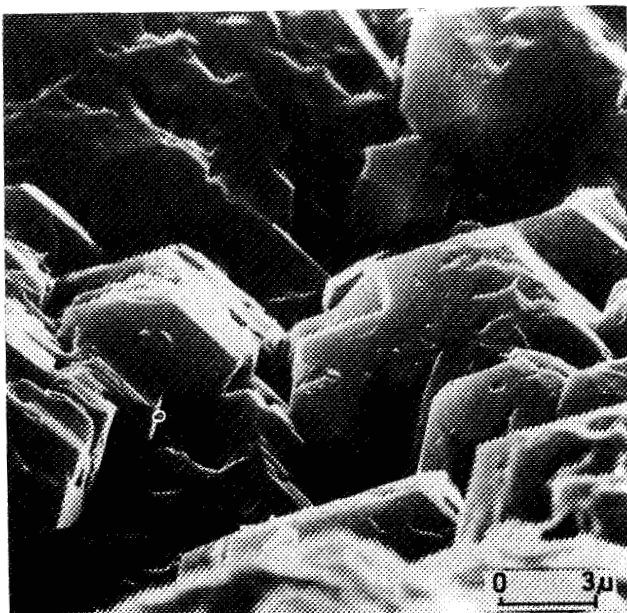
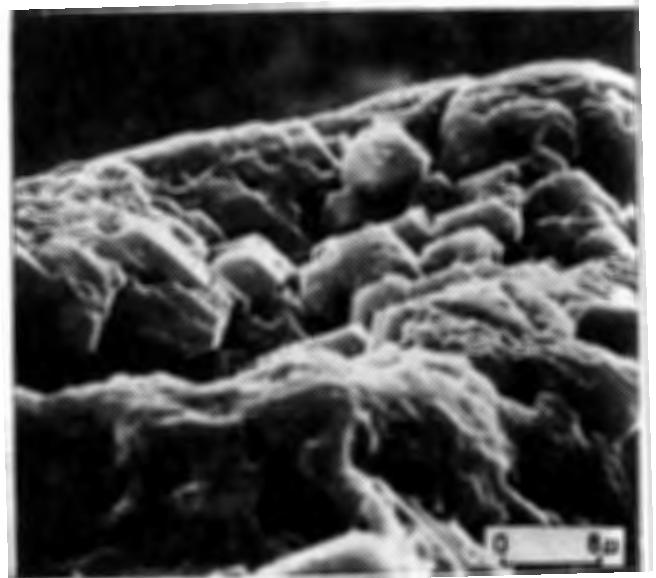


S.E.M. Microfoto 15



S.E.M. Microfoto 16

S.E.M. Microfoto 17



S.E.M. Microfoto 18