

Stratonomie des séries du Flysch

Autor(en): **Lombard, Augustin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **56 (1963)**

Heft 2

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-163039>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Stratonomie des séries du Flysch

Par Augustin Lombard (Genève)

Avec 10 figures et 1 tableau dans le texte

Sommaire

La disposition du flysch en couches distinctes est l'un des caractères les plus constants de ce faciès. Epaisseur et composition des strates sont des éléments déterminants et caractéristiques qui peuvent être utilisés pour subdiviser et comparer les séries. L'auteur propose d'introduire des mesures statistiques de stratonomie qui compléteront les autres critères déjà en usage. L'introduction de facteurs numériques doit conduire à une classification générale du flysch.

La variation des épaisseurs et des lithofaciès est également introduite. Elle est le complément de la première catégorie de mesures mais n'a pas d'expression numérique.

Deux exemples montrent l'application des méthodes quantitatives. Le premier, dans le flysch ultra-helvétique externe, montre une stratification régulière mais à faciès monotone.

Le second est pris dans le Wildflysch de base de la série du Niesen et présente au contraire une stratification chaotique de faciès variés.

Abstract

The bedding of the flysch is a typical feature of this kind of deposits. Thickness and frequency of the stratas can be used for subdividing and correlating the series.

Statistical factors are proposed. They will complete the other criteria and lead to a general classification of the flysch.

The variations of the facies and of the thickness are also treated. They put in evidence a style of bedding which is typical for each unit.

These methods are applied to two series. One is the ultra-helvetic flysch of the Voirons, with regular bedding but monotonous lithology. The second is a wildflysch sequence with chaotic bedding and a more extensive set of facies.

I. INTRODUCTION

Plusieurs auteurs se sont déjà attachés à exprimer la stratification du flysch par des valeurs numériques.

N. B. VASSOEVICH (1948) part de monostrates sommaires I, II, et III. Ce sont des unités de granulométrie et de lithologie qui vont servir de paramètres. Elles sont mesurées et comparées suivant un système complexe qui conduit à des unités de groupement. Les *monostrates* lithologiques de N. B. VASSOEVICH sont différentes des *strates* utilisées dans ce travail et qui sont ici les unités de référence. Strates et interstrates sont mesurées par leur fréquence et leur épaisseur. Le faciès lithologique intervient secondairement. Les deux points de départ sont donc différents.

Ces mesures ont été appliquées à d'autres faciès que le flysch.

POTTER et SIEVER (1955) disposant d'un réseau de forages, ont pu étendre leurs mesures à tout le bassin d'Illinois.

Ils ont introduit l'expression numérique de la variance des strates et de leur lithologie. L'approche de la variation dans l'aire étudiée a fait l'objet d'un choix de stations. Celles-ci sont réparties de manière à obtenir une répartition uniforme des observations.

De telles précautions ne peuvent intervenir dans les bassins alpins internes où les coupes dépendent des affleurements et de leur répartition capricieuse.

E. F. MAC BRIDE (1962) a introduit des mesures stratonomiques dans la formation de Martinsburg (Ordovicien) dans le centre des Appalaches. Il a pu comparer les valeurs obtenues dans des coupes réparties sur 400 miles et les a confrontées avec les directions des paléocourants.

L'orientation de ces études est différente de celle proposée dans ce travail. Les bases sont cependant communes.

La recherche de paramètres présentée ici est adaptée aux conditions alpines d'affleurements et de conservation des séries. Les coupes continues et intactes sont rares. Il faut tenter d'en tirer parti en tenant compte du caractère fragmentaire des résultats, en procédant par auscultations («sampling» d'après V. C. KELLEY, 1956, p. 297).

Les séries soumises à l'analyse stratonomique doivent être préalablement datées et analysées du point de vue stratigraphique, pétrographique, lithologique et structural. La stratonomie vient en complément.

La base des données est une analyse complète, banc par banc, suivant la méthode simplifiée proposée ailleurs (A. LOMBARD, 1956, A. H. BOUMA, 1961 et d'autres).

Le lever sera simplifié et l'on ne prendra que l'essentiel pour la mis en courbe qui comprendra :

- épaisseurs des strates
- épaisseurs des interstrates
- épaisseurs des lithofaciès
- limites de lithofaciès et structures de litage.

Les lithofaciès doivent être également simplifiés et ramenés à 12 termes de la série virtuelle générale. Ces termes figurent en principe dans toutes les séries et permettent des comparaisons à grande échelle.

Dans les analyses régionales on pourra utiliser une autre échelle, mieux adaptée à la formation locale. Des subdivisions et des classifications pétrographiques ont été faites par F. DE QUERVAIN (1928) et M. VUAGNAT (1952). Elles peuvent être intégrées dans l'analyse stratonomique au même titre que d'autres méthodes.

Le flysch, avec ses nombreuses variétés, est un sédiment si complexe qu'il faut l'étudier sous divers angles, ne serait-ce que pour le mieux décrire.

La pétrographie des couches apporte des renseignements sur les aires de production du sédiment. La stratonomie donne une notion complémentaire du mode de dépôt et de la mise en place. Les relations entre la stratonomie et les aires de sédimentation seront étudiées dans un autre travail.

II. DÉFINITIONS

a) Faciès stratonomique

On désigne sous ce terme, et sous un angle descriptif, l'ensemble des caractères de la stratification et du litage. Il s'y ajoute les marques de bases et de sommets de couches, la continuité ou l'interruption des strates, les textures et les structures,

les épaisseurs ainsi que les variations verticales ou horizontales de chacun de ces éléments.

b) La stratification

La stratification est une disposition des sédiments en unités ou *strates* (syn.: couches, bancs), séparées par des *interstrates*. Une classification sommaire d'après les épaisseurs conduit à distinguer les *pachystrates* ou couches très épaisses, des *laminites* groupées à leur tour par classes d'épaisseurs et par fréquences dans les séries observées.

Strates et interstrates n'ont pas la même composition. Les strates correspondent à des phases actives de sédimentation détritique grossière ou fine. Les interstrates sont en matériel résiduel ultra-fin, argileux ou calcaire, parfois mixte, résultant de phases passives de dépôts, ou de remaniements de ce matériel.

Entre strates et interstrates, il peut y avoir une limite nette ou un passage rapide ou progressif.

Les interstrates peuvent devenir des *joints* ou disparaître. On a alors banc sur banc, sans joint réel sédimentaire avec une simple surface de séparation.

Les interstrates schisteuses peuvent aussi passer à des strates schisteuses en s'épaississant. Le matériel colloïdal n'est plus un dépôt résiduel passif mais s'accumule normalement en phase active mais lente.

Les strates sont caractérisées par leur épaisseur, leur forme géométrique, leurs surfaces limites, leur fréquence par rapport aux interbancs, leur composition lithologique et leur faune ainsi que la texture du sédiment ou son litage.

La variation de ces critères stratonomiques d'épaisseur, de fréquence et de composition, intervient dans les définitions de la stratification. Leur retour périodique en fait une succession essentiellement rythmique.

c) Le litage

Les strates et interstrates sont des unités distinctes de première échelle de grandeur à l'intérieur desquelles apparaissent des structures secondaires qui forment le *litage*. Elles correspondent à des changements dans la composition du sédiment, dans celle des impuretés, des clastiques accidentels organiques ou minéraux, de la granulométrie, de la stratification entrecroisée, des glissements, du zonage, de nombreux effets de diagenèse, de remaniements. Cette énumération, incomplète d'ailleurs, montre qu'il s'agit de structures internes des strates produites au cours des phases actives de la formation primaire des strates.

Il y a des exemples fréquents où stratification et litage convergent et il est difficile de distinguer l'un de l'autre (V. ci-dessous, les laminites de 2^e ordre). Chacun résulte de facteurs propres et distincts.

d) Surface limites

Les surface limites des strates présentent, soit au toit, soit au mur, de nombreuses traces organiques ou mécaniques. Elles permettent, comme le litage, d'expliquer bien des processus de la mise en place du sédiment. Ces surfaces sont nettes ou floues, suivant les formations. La base des strates détritiques est souvent nette, ainsi que la surface supérieure ou inférieure des strates calcaires. Dans les deux cas, ce sont des surface d'érosion ou d'halmyrolyse.

Ces surface limites existent aussi dans le litage mais suivant une autre échelle moins distincte.

e) Lithologie et granulométrie des strates

Les deux notions sont étroitement liées. La composition pétrographique des strates s'étend à toute la gamme des sédiments. Une strate est en général formée d'un seul type lithologique mais cette règle montre de nombreuses exceptions, surtout dans les dépôts détritiques à graded-bedding. Rappelons que presque tous les calcaires du flysch sont détritiques, même les lutites, et ces sédiments se granoclassent bien souvent suivant leurs composants organiques ou minéraux.

On aura des strates monogéniques; d'autres présentent un polygénisme limité à une simple variété de grain (grossier – moyen – fin). Il peut s'étendre à un changement plus complet de type pétrographique, aux calcaires par exemple. Le classement lithologique peut être anormalement compliqué par du litage.

Pour simplifier l'emploi des données lithologiques-granulométriques et les adapter à la classification générale des flysch, rappelons que l'on utilisera ici une série de 12 termes lithologiques représentés dans ces séries. Ils sont ordonnés suivant la série virtuelle générale.

Série virtuelle générale:

- 12 Calcaires bio-micrites
- 11 Calcaires micrites
- 10 Marnes et marno-calcaires
- 9 Diagénétiques
- 9 Colloïdes-«schistes»
- 7 Silt
- 6 Grès fins (classe 1, A.G.I.)
- 5 Grès moyens (classe 2, A.G.I.)
- 4 Grès grossiers (classes 3–4, A.G.I.)
- 3 Conglomérats fins (grains)
- 2 Conglomérats moyens (galets)
- 1 Conglomérats grossiers (blocs)

Pour les leviers régionaux, on n'utilise que les termes de la série virtuelle locale. C'est ainsi seulement que le groupement lithologique ainsi établi peut être utilisé pour les études statistiques.

Il se peut que ces simplifications altèrent ou déforment l'aspect premier d'une série. Rappelons qu'elles n'interviennent que pour l'expression numérique de la stratonomie en vue de synthèses. Les résultats obtenus n'ont pas à être influencés par ces critères dont ils restent indépendants.

f) Laminites

Le terme de laminite est d'ordre descriptif et rappelle le caractère dominant de ces sédiments: la texture à laminations. (G. H. OTTO, 1938). A l'échelle de la stratification, les couches sont très individualisées et à celle du litage, elles sont nettement zonées et formées de laminae (laminations) de styles divers.

Les laminites sont des strates de roches sédimentaires (du groupe du flysch) peu épaisses, distinctes les unes des autres, souvent groupées en séquences, prenant

à l'affleurement un aspect réglé et rythmique, régulier dans son ensemble et varié dans le détail.

La composition lithologique n'intervient pas dans la définition. Dans les séries ces laminites peuvent être divisées suivant deux échelles (ordres) de grandeur au moins.

Laminites de premier ordre (laminites I)

Ce sont des couches unitaires dont l'ensemble forme une série. Chacune de ces strates atteint un maximum d'environ 50 cm d'épaisseur et mesure en moyenne entre 30 et 5 cm et même moins. Leurs surface-limites sont planes-parallèles sur de grandes longueurs ou lenticulaires-allongées. Leur texture est soit entièrement homogène soit zonée-laminée. Le graded bedding est rare ou mal développé ainsi que les sole marks. Exceptionnellement, celles-ci sont remarquablement nettes à la base de couches minces.

Ces couches ont été signalées et décrites à diverses reprises (J. BOKMANN, 1953) dans les flysch et les grauwackes d'Europe et des Etats-Unis. W. H. TWENHOFEL (1932, p. 603) a déjà marqué la distinction entre ces ordres de stratification, suivi par F. J. PETTIJOHN (1957, p. 121) W. KRUMBEIN et L. L. SLOSS (1951, p. 97) et d'autres.

Laminites de deuxième ordre (laminites II)

Ce sont des laminites fines de litage (comprises dans une strate) et qui forment soit la totalité de la monostrate, soit son sommet seulement. Elles apparaissent dès que le faciès de la roche est détritique et mal classé.

Les interbanco schisteux sont par définition des laminites de cet ordre.

Ces laminites II peuvent être planes-parallèles (zones), planes-lenticulaires, obliques, entrecroisées, ondulées, contournées ou plissées, voire irrégulières.

Laminites mixtes I et II

Les laminites des deux ordres de grandeur peuvent converger lorsque les laminites I diminuent d'épaisseur au point de rejoindre les dimensions des laminites II.

C'est d'ailleurs cet apparentement qui nous a incités à grouper ces formations sous le même terme.

Laminites et turbidites.

Les laminites I se distinguent des turbidites par :

l'absence de graded bedding

la minceur des monostrates

la rareté ou l'absence de sole marks

les laminations fines de deuxième ordre

l'absence fréquente de surface d'érosion à la base des strates

le passage progressif d'un banc à l'interbanc schisteux soit vers le haut, soit vers le bas.

Certaines séries mixtes sont formées de turbidites et de laminites alors que d'autres n'ont que l'une ou l'autre de ces textures. Celle des laminites exclusives est fréquente.

Il n'y a pas de séparation nette entre les deux groupes. C'est pourquoi il peut y avoir doute, dans certaines séries, sur l'attribution d'une strate à l'un ou à l'autre

des deux types. Car ici encore, il peut y avoir convergence. Mais l'existence normale de textures pures et caractéristiques de l'un et l'autre groupe démontre bien l'individualité des deux formations, avec un certain lien de parenté. Ainsi des laminites II couronnent les sommets de turbidites. Pour M. KSIACZKIEWICZ (1952) ce sont des courants de turbidité de faible densité. PH. KUENEN (1953) les considère comme turbidites de courants diminuant d'intensité et E. TEN HAAF (1956) les explique par des tourbillons de courants de turbidité. Ici, elles sont supposées être des phases de sédimentation de matériel remanié et de seconde génération. La première est directement terrigène littorale.

g) Multistrates

Laminites et turbidites coexistent souvent et se succèdent, formant des associations séquentielles ou aséquentielles. On a appelé multistrate, une succession de ces couches qu'apparentent nettement des ressemblances ou des affinités d'épaisseurs de strates, de fréquences ou de lithologie.

h) Laminites versus turbidites

Suivant des théories en cours, les formations à caractère de flysch sont constituées par des couches détritiques à matériel allochtone, les turbidites contrastant avec les couches argilo-schisteuses qui forment le fond autochtone de la sédimentation.

Faits et théories sont suffisamment connus et exposés dans une abondante bibliographie pour n'y point revenir ici. L'analyse de nombreuses séries de flysch alpins montre manifestement que tous les bancs, même les plus minces, ne peuvent pas être assimilés à des turbidites. En effet, à part les couches turbides (forte épaisseur, graded bedding, sole marks d'écoulement, laminations fines au sommet du blanc), il existe des séries avec de nombreux bancs plaquetés, d'épaisseurs diverses, qui ne présentent *aucun* des caractères de turbidites; ils alternent avec les schistes. Ce sont les «laminites» définies ci-dessus. Ce terme est descriptif et ne peut se comparer avec celui de «turbidites» d'essence génétique. C'est pourquoi il est proposé de placer ce terme de turbidites dans le groupe des «granostrates»: couches dont le graded bedding est le caractère principal.

On a des pachystrates simples, semblables à d'épaisses laminites I et des granostrates à type de turbidites.

Une série de flysch peut être constituée
de laminites
de laminites et granostrates
de granostrates.

	Granostrates	Laminites
Epaisseur	Forte (>0,5 à 0,8 m)	Faible (<0,5 à 0,8)
Granulométrie	Moyenne, à faible ou nul granoclassement	Moyenne à grossière
Variation grano	Mélange hétérométrique	Mélange homométrique
Marques de mur	Fréquentes marques d'écoulement et de charge	Fréquentes, surtout d'écoulement
Evolution de faciès	Lithoséquences	Aséquentielles
Laminations	Au sommet de la couche	Absentes ou alors dans toute la couche

Les définitions essentielles sont rappelées dans la table comparative précédente qui est à prendre avec beaucoup de souplesse; elle résume les traits principaux de ces structures.

Mode de formation

Les laminites I se rattachent au mécanisme général de la sédimentation des roches clastiques (silicieuses, calcaires et autres). Elles résultent du déplacement massif et laminaire des particules par gravité, le long des fonds marins inclinés (DZULINSKI S., & RADOMSKI, A. 1955).

Les laminites II sont un cas limite du précédent, à une autre échelle. Le sédiment subit un transport fractionné et laminaire. La resédimentation est plus ou moins rapide pour chaque lamina et lente pour la somme des petits transports dont le total forme la strate.

Les agents principaux sont: la gravité pour les particules pondérables et l'eau en mouvement pour les suspensoïdes. La dimension des particules joue un rôle prépondérant dans le mode de transport et la texture finale du dépôt. Dans le cas de laminites II, la texture zonée est due à la traction par gravité le long d'une pente. La traction du courant de l'eau agit par contre sur le matériel fin des laminites II, du type oblique ou entrecroisé (K. J. Hsu, 1960).

Lorsqu'une strate présente une texture massive puis un sommet zoné, cela indique qu'en cours de la mise en place, le mécanisme de transfert par gravité a été suivi de celui par traction et suspension dans l'eau. Le passage de l'un à l'autre est progressif et s'inscrit dans la phase active de la formation d'une strate.

i) Alternances

Ce sont des successions régulières de laminites I et de schistes en proportions égales. Dans ce cas, les laminites n'ont aucun critère de polarité. C'est un cas particulier de laminites I, répétées selon un rythme alternant a - b - a - b etc. (a = grès, b = sch, ou a = calcaire et b = calcschiste) et dans lequel les détritiques ont environ les mêmes épaisseurs et fréquences que les schistes.

Elles sont notées B dans le tableau 1.

j) Séquences lithologiques

La séquence de termes lithologiques a déjà été définie ailleurs par l'auteur. Cette notion intervient pour classer des séries de flysch lorsque la gamme des lithofaciès varie beaucoup d'un bassin à l'autre et même à l'intérieur d'un même bassin. Ainsi un flysch pourra n'avoir que des successions de grès moyen - grès fin - silt - alors qu'un autre aura des conglomérats passant du matériel plus fin jusqu'à des calcaires. Ceci relève de la lithologie pure. Cette notion de séquence ne tarde pas à intervenir lorsque la série des roches s'enchaîne suivant un ordre virtuel normal, ce qui est fréquent.

Ces enchaînements se répètent sur un mode rythmique et ces figures séquentielles sont autant de critères à utiliser.

k) Séquences de strates

Ce sont des successions de couches dans les séries naturelles. Exprimées par la courbe des épaisseurs, elles montrent une variation verticale des épaisseurs de strates et d'interstrates vers une augmentation, une diminution ou d'autres ten-

dances encore qui se retrouvent d'une série à l'autre. Ces séquences se répètent souvent en rythmes. Leur style est caractéristique de certaines formations. Ce style, s'il n'est pas désordonné, se ramène à quelques figures fondamentales (fig. 1) semblables à celles des séquences lithologiques.

sand shale	ultra- fines 0-1 détrit.	a) fines < 1 - 5 cm.	b) minces 5 - 25 cm.	c) moyennes 25-50cm.	d) épaisses 50-100 cm.	e) pachystrates > 1m.	ultrapachystr. 0 schiste
sch. < $\frac{sg}{sh} < 1$ détr. < 1 C	C C tout schiste	Ca 0-5	Cb 5-25	Cc 25-50	Cd 50-100	Ce > 1m.	
sch. = $\frac{sg}{sh} = 1$ détr. = 1 B		Ba 0-5	Bb 5-25	Bc 25-50	Bd 50-100	Be > 1m.	B B alternances
sch. > $\frac{sg}{sh} > 1$ détr. > 1 A		Aa 0-5	Ab 5-25	Ac 25-50	Ad 50-100	Ae > 1m.	A A tout grès

Fig. 1. Groupes stratonomiques suivant le rapport des grès et schistes et des épaisseurs de strates de grès. L'application aux séries calcaires est possible.

Les stratoséquences ne correspondent pas nécessairement aux lithoséquences. Elles existent en deux ordres de grandeur au moins, suivant lesquels les séquences évoluent en mégaséquences.

Ces mégaséquences correspondent souvent aux multistrates dont il a été question plus haut.

III. STRATONOMIE APPLIQUÉE

a) Description numérique sommaire

Il arrive souvent qu'un affleurement de flysch n'ait pas l'épaisseur requise pour procéder à un lever stratonomique valable. On peut alors le décrire en première approximation et exprimer sa stratonomie par une série de formules simples qui consistent en :

1) Rapport clastiques/schistes (voir fig. 1)

Le premier critère à utiliser (par mesure ou par estimation) est la proportion d'ensemble entre matériel détritique (strates) et matériel schisteux (interstrates). Elle est obtenue en mesurant les épaisseurs de toutes les couches et donne le rapport dit «clastic ratio» que l'on va diviser en trois groupes :

C) plus de schistes que de détritiques. C'est un flysch schisto-gréseux.

B) autant de détritiques que de schistes. Faciès en «alternances» (Détr. = Sch.).

A) plus de détritiques que de schistes. (détr. > sch.). C'est un flysch grésoschisteux, avec deux termes extrêmes: la série est entièrement détritique et la série est entièrement en schistes.

Plus tard, ce rapport prendra une expression numérique, basée sur un lever complet.

Pour les flysch calcaires et les autres séries sédimentaires nonflysch, ce rapport est transformé et adapté. Il devient alors le

$$\text{rapport } \frac{\text{strates}}{\text{interstrates.}}$$

2) Groupement par épaisseurs des couches de détritiques (strates)

Dans chacune des catégories A, B et C précédentes, on va estimer l'épaisseur moyenne des strates positives de détritiques et, pour simplifier, on a adopté 5 classes d'épaisseurs basées sur des valeurs empiriques mesurées sur de nombreuses coupes.

a) couches ultra fines	:	0 - 1 cm
a') couches fines	:	1 - 5 cm
b) couches minces	entre :	5 et 25 cm
c) couches moyennes	entre :	25 et 50 cm
d) couches épaisses	entre :	50 et 100 cm
e) couches pachystrates	:	> 1 m
e') couches ultra pachystrates	:	entièrement détritiques sans interstrates.

Ce groupement, forcément schématique, peut être raffiné et le nombre des classes augmenté. A. H. BOUMA (op. cit. p. 69, 109 etc.) utilise par exemple: 0-2 cm, 2-4 cm, 4-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-100 cm, 100-200 cm, 200-400 cm, 400-1000 cm; > 1000 cm.

Ce groupement est aisé dans les séries dont les bancs ont des épaisseurs constantes et régulières mais on connaît de nombreux exemples de macignos et de flysch désordonnés où se rencontrent des couches d'épaisseurs variables et parfois extrêmes. Il est utile de mettre ce critère de variabilité en évidence puisqu'il permet précisément de caractériser certaines successions. C'est alors qu'intervient la formule suivante:

3) Formule stratonomique élémentaire

Les catégories du rapport $\frac{\text{strates}}{\text{interstrates}}$ sont notées A.B.C. et a, b, c, etc. suivant les groupements ci-dessus.

Exemple: A_c ou A_{25-50} ou A_c30 suivant les cas.

S'il se mêle des bancs très épais ou très minces, on notera les extrêmes:

$$A_c 50-100 \begin{cases} 250 \text{ pour les plus épais} \\ 12 \text{ pour les plus minces.} \end{cases}$$

4) Compléments lithologiques

La formule sera complétée par les caractères lithologiques ainsi que le donne le chapitre suivant.

Formule de notation

a) On complètera les notations stratonomiques d'épaisseurs et de fréquences par celles qui caractérisent les lithofaciès, dans leur ordre virtuel.

Prenons l'exemple d'un flysch composé de grès grossiers, moyens, fins et de schistes.

On aura: $A_c 30 \begin{cases} 60 \\ 5 \end{cases} Gr_{gr}-Gr_m-Gr_f-sch.$

b) Le nombre des bancs et leurs épaisseurs par lithofaciès sont adjoints et exprimés en % de la série mesurée.

On obtient par exemple:

$A_c 30 \begin{cases} 60 & 26 & 24 & 30 & 20 & \text{pour les épaisseurs} \\ Cgl. & Gr_{gr} - Gr_m - Gr_f - sch. \\ 5 & 10 & 15 & 30 & 45 & \text{pour les fréquences.} \end{cases}$

c) Des notations complémentaires pourront être adjointes pour indiquer l'essentiel, soit:

les relations entre strates : passage :) ou séparation : ----

les textures principales:

granoclassement: ----- ou G.
Laminites: L. II. P-P planes parallèles
Laminites: X entrecroisées
Laminites: C contournées
Laminites: M massives

les séquences lithologiques

les séquences d'épaisseurs

d) La formule ainsi obtenue est souple et peut être simplifiée ou adaptée aux faciès des flysch calcaires et des molasses.

V. C. KELLEY (1956) a introduit l'index de stratification qui tient compte sommairement du nombre de strates et de l'épaisseur. R. DOTT (1958) l'a repris et appliqué à des séries calcaires. Nous l'avons utilisé sous une autre forme.

5) Paramètres quantitatifs

Plusieurs auteurs ont été consultés et leurs travaux ont servi de base à cette partie de notre étude.

J. BOKMAN (1953) a calculé la distribution des épaisseurs dans le géosynclinal des Ouachita (Stanley & Jackfork fm.), séparant les trois lithofaciès principaux.

Les définitions ont été empruntées à R. A. CADIGAN (1961), à D. L. INMAN (1952) pour la discussion des paramètres, à V. C. KELLEY (1956) qui a introduit l'élément statistique, recommandant le lever banc par banc et l'échantillonnage des coupes partielles, à W. C. KRUMBEIN et F. J. PETTIJOHN (1938) pour la déviation standard et à G. H. OTTO (1949) pour l'emploi de l'échelle logarithmique dont H. C. PAGE (1955) a donné une échelle de conversion. P. E. POTTER et R. SIEVER (1955) en ont fait l'application à des séries calcaires.

D. J. STANLEY (1961) a basé ses analyses sur des valeurs moyennes, non statistiques comme par exemple le rapport $\frac{\text{clastiques}}{\text{schistes}}$ les rapports d'épaisseurs au nombre total des bancs grossiers, nombre de bancs stratifiés par unité de 50 m. Ces mesures prennent tout leur sens lorsqu'elles portent sur une région.

A – Un premier groupe de valeurs s'obtient par des comptes à partir du lever original, banc par banc. Ce sont :

- a) Epaisseur par lithofaciès en valeurs absolues et en % de l'épaisseur totale de la coupe levée.
- b) Nombre de strates (sans interstrates) par lithofaciès en valeurs absolues et en % de la coupe levée.
- c) Totaux de a et de b absolus et en %.

Les classes de lithofaciès ont été fixées à 12 pour toutes les séries du flysch afin d'avoir une échelle commune de référence pour de futures classifications.

Leur ordre est celui de la série virtuelle générale. (ci-dessus, page 486).

Ces 12 catégories peuvent être diminuées ou augmentées suivant les faciès régionaux.

B – Un deuxième groupe de valeurs se calculera à partir de constructions graphiques et conduira à l'étude statistique des résultats. Ce sont :

- a) Epaisseurs totales par lithofaciès

Il s'agit du graphique des valeurs déjà obtenues ci-dessus sous A, a) comparées au lithofaciès.

En abscisses figurent les épaisseurs et en ordonnées les classes lithologiques.

On trouvera plus loin un commentaire sur les lithofaciès.

La courbe des fréquences montre quel est le faciès prédominant et la répartition des autres termes. Elle n'offre d'intérêt que pour des séries à termes lithologiques nombreux.

La courbe cumulative donne le lithofaciès correspondant à la médiane Q_{50} et aux quartiles Q_{25} et Q_{75} .

Ces valeurs sont plus précises que l'indice de stratification utilisée par R. DOTT jr. (1958).

- b) Nombre de strates par lithofaciès

Ce graphique exprime une autre propriété moins importante de la série. Les résultats sont surtout intéressants lorsqu'on les compare à d'autres séries du même bassin.

- c) Nombre de strates et interstrates par classes d'épaisseurs.

La courbe de fréquence donne la distribution suivant la classe d'épaisseur des strates formant la série. L'histogramme peut comporter le % des lithofaciès dans chaque classe d'épaisseur.

La courbe cumulative permettra d'exprimer le classement et la dispersion (cf. KELLEY, 1956) à partir de M, Q_{25} et Q_{75} .

Ici encore la comparaison des valeurs d'une série à l'autre est plus révélatrice que les valeurs absolues.

Les courbes peuvent être construites pour chaque groupe lithologique.

D. J. ATKINSON (1962) a appliqué l'analyse statistique à des séries détritiques analogues à des flysch alpins. Disposant de grands nombres, il a traité les épaisseurs des divers lithofaciès et tiré des conclusions originales sur la distribution des faciès et leur dispersion.

Dans le chapitre suivant, on examinera la variation et l'évolution des épaisseurs et des lithofaciès. Elles complètent les données ci-dessus. Les courbes sont construites à partir du levé banc par banc.

6) Variation des épaisseurs dans le sens vertical (voir fig. 2)

C'est une courbe qui se construit à partir de la coupe naturelle. Les abscisses sont logarithmiques et les ordonnées correspondent à une unité de longueur (1 cm, $\frac{1}{2}$ cm par exemple) par strate.

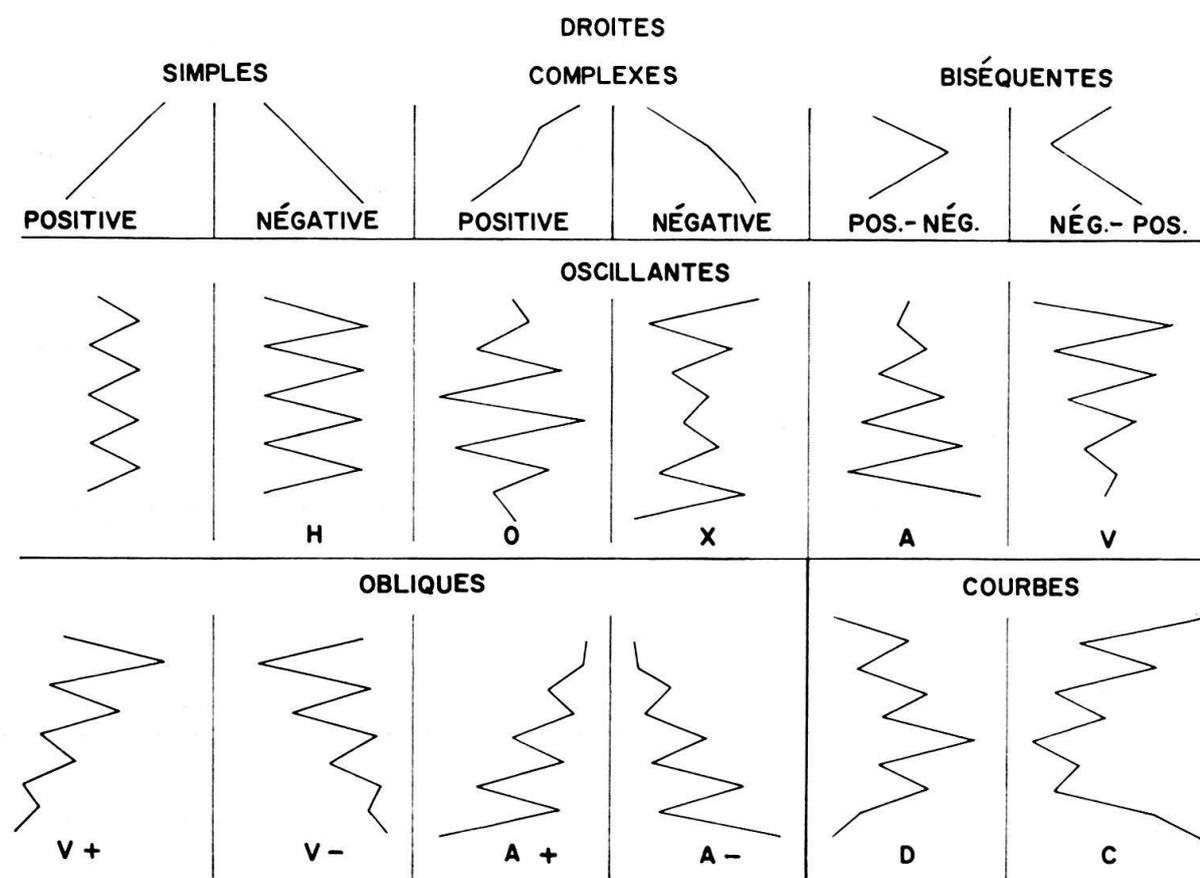


Fig. 2. Types principaux de courbes oscillantes: Variations d'épaisseurs, évolution des lithofaciès.

Cette courbe est très figurative. On l'établit en portant un point le long de l'ordonnée pour chaque strate de la série. L'abscisse de ce point correspond à son épaisseur suivant une échelle logarithmique. On joint tous les points. Les lithofaciès n'interviennent pas directement mais on peut les introduire en joignant les points des strates de même composition. On obtient ainsi des courbes pour les grès, pour les schistes, etc.

Les variations de la courbe marquent un style très souvent oscillant et la courbe enveloppe de ces oscillations forme des figures qui se retrouvent d'une coupe à

l'autre: croissants en C, en D, lentilles dressées, colonnes, etc. Ces figures se développent et s'interrompent, permettant des divisions de la série par groupes de couches. On peut les comparer aux divisions données par la courbe lithologique.

Il sera certainement possible d'en tirer des déductions génétiques.

La comparaison, dans un même graphique, de la courbe des épaisseurs et de la courbe lithologique permet d'établir des caractères propres à cette série.

La courbe des épaisseurs est toujours significative car elle met en évidence des variations progressives croissantes ou décroissantes, simples ou oscillantes, uniques ou répétées des strates.

Nous n'avons pas pu mettre ces variations en formules numériques mais il est possible d'utiliser un certain nombre de symboles qui abrègent les descriptions. Ils expriment l'allure de la courbe ou de sa courbe enveloppe.

La courbe permet de faire des subdivisions dans la série naturelle. Il y a des changements dans le style des oscillations et des retours rythmiques qui sont autant de points de repère.

La confrontation de la courbe des épaisseurs et de celle des lithofaciès conduit à des comparaisons sur les limites et les épaisseurs des unités mises en évidence par chacun des deux critères. Seule cette analyse mixte conduira à des déductions génétiques.

Sur le plan des origines et du mode de formation de la stratification, la courbe des épaisseurs doit conduire très loin. Sans entrer ici dans des détails, elle reflète le mode de mise en place, la forme et la déformation du bassin pendant la sédimentation et l'activité de la sédimentation.

Auparavant, voici le résumé des données numériques de stratonomie obtenues par ces opérations:

Données numérique de stratonomie:	Légende des nombres, voir page 484											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Classes lithologiques												
2. Epaisseur par lithofaciès												
3. Epaisseur en % de l'épais. totale												
4. Nombre de strates par lithofaciès												
5. Nombre en % du total d. strates												

6. Epaisseurs moyennes par lithofaciès

7. Nombre de strates

8. Indice de stratification: $\frac{\text{n. d. str.} \times 100}{\text{épaisseur totale.}}$

9. a) Mode. Cette valeur n'est pas souvent utilisable, pour des raisons théoriques

b) Médiane, (notée Q_{50} ou M)

c) Quartiles Q_{25} et Q_{75} (notés Q_1 et Q_3) qui permettront d'établir:

$$\text{Coefficient de dispersion arithmétique: } So_a = Q_3 - Q_1$$

$$\text{Coefficient de dispersion géométrique: } So_g = Q_3 / Q_1$$

$$\text{Coefficient de dissymétrie arithmétique: } Sk_a = (Q_1 + Q_3 - 2M) / 2$$

$$\text{Coefficient de dissymétrie géométrique: } Sk_g = Q_1 \cdot Q_3 / M$$

D. J. ATKINSON (1962) a mis en évidence des séquences rythmiques, démontrant par des considérations statistiques la tendance des lithofaciès à s'ordonner suivant la succession virtuelle adoptée ici.

7) Variation du nombre de strates en verticale

Le nombre de strates est compté de mètre en mètre et reporté en abscisses selon une échelle semi-logarithmique.

L'évolution de ce nombre des strates est ainsi mise en évidence mais il a paru, à l'expérience, que la courbe n'est pas très significative et se ramène à celle des épaisseurs dont elle est l'inverse.

8) Variation des lithofaciès en verticale

a) Classification des lithofaciès

L'évolution des lithofaciès est déterminante pour la classification d'une série. Dans ses traits essentiels, la composition lithologique consiste en une gamme s'étendant des détritiques les plus grossiers aux silts puis aux argiles et aux calcaires avec des termes de passage. Il est possible, en schématisant, de ramener les composants à leurs caractères granulométriques, ce qui permet de les classer logiquement (en 10 à 12 classes conventionnelles) suivant une série dite virtuelle réalisée plus ou moins complètement dans des séries naturelles.

Une série sera déterminée par le nombre des composants lithologiques des strates, leur emplacement dans la série virtuelle et leur dispersion. Telle série n'aura que des grès moyens et des schistes, une autre n'aura que des détritiques, une autre encore comprendra des grès grossiers et des calcaires, avec des silts et des marnes. La gamme des lithofaciès est donc un élément déterminant.

Pour les besoins de la mise en graphiques et pour les comparaisons, on a disposé la série virtuelle en classes lithologiques communes à toutes les formations à caractère flysch. Cela conduira à une classification d'ensemble.

b) Evolution des lithofaciès

L'observation de multiples séries montre que dans la plupart des cas les couches lithologiques ne se succèdent pas au hasard mais s'enchaînent en «séquences lithologiques» typiques, souvent récurrentes et disposées suivant les trois ordres de grandeur habituels. Rappelons que les cyclothèmes molassiques, pennsylvaniens et autres sont des cas particuliers qui s'encadrent dans cette notion générale de la séquence lithologique.

Une série naturelle sera non seulement déterminée par les termes lithologiques décrits ci-dessus, mais encore par les successions séquentielles. La courbe lithologique les met en évidence avec leur style, amplitude, fréquence, tendance et interruptions.

N'étant pas arrivé à mettre ces caractères en formules, on a proposé des expressions symboliques et condensées: séquences positives, négatives, oscillantes et complexes.

La courbe lithologique est indépendante de celle des épaisseurs. En effet, les processus à l'origine de ces deux caractères sont différents bien que parallèles et simultanés. Cette courbe permet d'établir des divisions et des unités dans la série naturelle.

La comparaison des deux courbes mentionnée ci-dessus est donc indispensable car leurs données ne concordent pas toujours.

Cette confrontation, encore à ses débuts, conduira certainement à des hypothèses sur la formation des séries.

9) Conclusions

Cette simplification semi-quantitative doit être continuellement complétée par les observations de détail de l'analyse sédimentaire (A. H. BOUMA, 1962). Plusieurs caractères ne pourront jamais être exprimés par des paramètres et cependant ils sont indispensables à la classification. Ce sont surtout les structures de litage, la diagenèse et la part des organismes.

D'autres facteurs de détail seront mesurables mais ils n'interviennent pas dans les ensembles.

Sur le plan statistique, l'application des premiers paramètres proposés dans cette étude sera certainement complétée par d'autres. Cela dépendra des observateurs et de leur interprétation personnelle ainsi que des séries naturelles et régionales si différentes dès qu'on les observe dans le détail.

10) Extension des observations en horizontale

L'objet même des mesures dans les séries naturelles alpines se présente de telle manière que l'observation comparée d'une coupe à l'autre est très rarement réalisable. C'est pourtant le but à atteindre car ainsi seulement on parviendra aux synthèses d'une aire ou d'un bassin sédimentaire. Seules des corrélations sûres permettront d'atteindre ce but. Pour l'instant, il faut se borner à des approximations encore fragiles et se limiter à quelques cas favorables.

L'analyse selon une verticale isolée n'est qu'une première étape d'échantillonnage.

11) Limites du traitement statistique

Suivant les auteurs, la mise en nombres de phénomènes naturels peut être développée plus ou moins loin. Certains sont opposés au principe même de l'opération. Seule une grande réserve dans l'interprétation justifie ces tentatives.

L'expérience des premières applications montre que des observations analytiques très méticuleuses des faits conduisent à des constructions valables. Leur utilité est incontestable car elles stimulent une observation objective et plus précise qu'auparavant. Elles semblent également permettre une approche plus perspicace des phénomènes de la sédimentation.

A condition toutefois de ne pas perdre de vue le cadre naturel et complexe du milieu générateur.

Les paramètres ont été empruntés à diverses sources, à A. MONJALLON (1961) pour les généralités et à W. H. TWENHOFEL et TYLER (1941) pour diverses applications à la granulométrie, transposées ensuite dans la stratonomie.

Je remercie mon collègue A. LINDER, professeur de statistique à la Faculté des Sciences et à l'École Polytechnique fédérale. Il a bien voulu m'orienter lors de mes premières études et m'aider de ses conseils.

IV. APPLICATIONS ET EXEMPLES

1° Stratonomie de la série de Fillinges (voir fig. 3)

A. Généralités

a) Lithologie

La description géologique de cette série est connue. (A. LOMBARD, 1940). C'est un flysch paléocène polygénique affleurant dans une carrière située sur la route

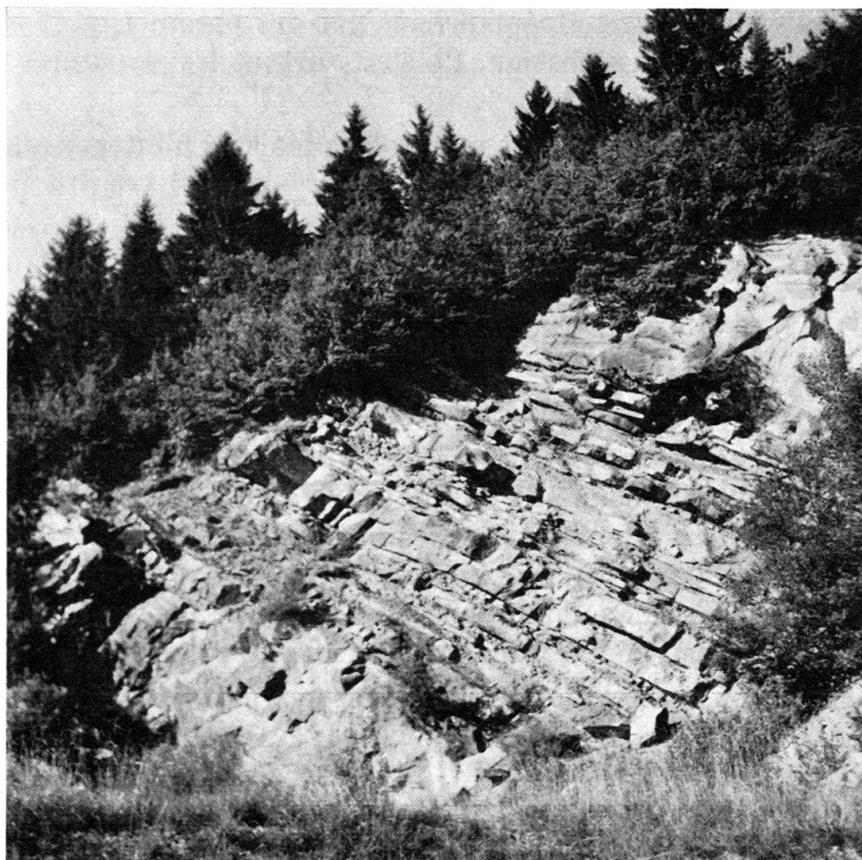


Fig. 3. La carrière de Fillinges, Haute-Savoie. Flysch grès-schisteux paléocène, ultra-helvétique. Deux épaisses granostrates (turbidites auct.) marquent la base et le sommet de l'affleurement. Entre deux s'intercalent des laminites d'épaisseurs très variables.

nationale N. 507 d'Annemasse à St-Jeoire, à 11 km d'Annemasse. Il appartient à la nappe ultra-helvétique, dans les Préalpes externes.

Les marques et pistes sont fréquentes. Quelques-unes sont très belles (A. LOMBARD, 1940, fig. 48-63) et ont été attribuées à l'époque déjà à des contournements et à de la fluxion de sédiments mous J. C. CROWELL (1955) en a relevé l'orientation.

La multistrata mesurée ici, comprend le gros banc double et les laminites sus-jacentes jusqu'à la base du gros banc de turbidite suivant non compris.

Le grès qui la forme est homogène par sa composition et varie peu en granulométrie. Il consiste en minéraux variés dérivant de granites à feldspaths gris et roses, de rares chloritoschistes et de grès connus dans les conglomérats du Vouan situés un peu plus haut dans la série.

Les organismes sont des fragments calibrés de Nummulites, Discocyclines, *Lithothamnium* et quelques Foraminifères planctoniques. Le ciment est calcitique.

Les bancs minces et quelques interstrates schisteuses présentent des fragments charbonneux et flottés de végétaux.

La stratification est bien marquée et consiste, pour la partie visible, en deux multistrates formées chacune d'une épaisse turbidite suivie de laminites I. La multistrate inférieure fait l'objet de l'étude stratonomique ci-après.

Le litage est monotone. La partie inférieure des strates est homogène et rarement granoclassée, alors que le reste est zoné en laminites II planes parallèles. Le sommet a des laminites fines obliques ou ondulées.

b) Classification sommaire:

1. Rapport: clastiques/schistes

Épaisseur totale des bancs de grès: 17.87 m

Épaisseur totale de bancs de schistes: 4.96 m

Rapport: 3,6

Groupe: A, ou schiste grès-schisteux.

2. Groupement par épaisseurs des couches détritiques

L'épaisseur moyenne qui servira à placer la série dans la classification des sous-groupes est peu représentative car les épaisseurs sont irrégulières. On compte 67 strates sur une épaisseur de 17,87 m. La moyenne est de 0,26 m.

Les épaisseurs extrêmes sont 6,81 m (couches 1+2) et 0,01 m.

3. Formule élémentaire:

Groupe A, sous-groupe c ou 25-50, ce qui s'écrit: $A_c = 26 \begin{matrix} < 6.81 \\ < 0.01 \end{matrix}$

4. Compléments lithologiques:

grès grossiers: épaisseur en %:	5	nombre en %:	1
grès moyens: épaisseur en %:	51	nombre en %:	11
grès fins: épaisseur en %:	22	nombre en %:	40
schistes: épaisseur en %:	22	nombre en %:	48

ce qui se note:

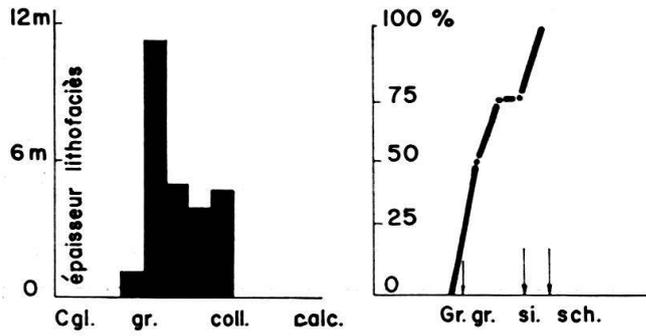
$$A_c = \begin{matrix} 5 & 51 & 22 & 22 (\% \text{ ép.}) \\ \text{gr. gr} & - \text{gr. m.} & - \text{gr. f.} & - \text{sch.} \\ 1 & 11 & 40 & 48 (\% \text{ fréq.}) \end{matrix}$$

c) Paramètres numériques

	gr. gr	gr. m.	gr. f.	sch.
A. Épaisseur par lithofaciès	120	1155	512	496
Épaisseurs en % de l'ép. totale	5	51	22	22
Nombre de strates p. lithofaciès	2	14	51	61
Nombre de strates en % du tot. de strates	1	11	40	48

Épaisseurs totales: 22 m 83

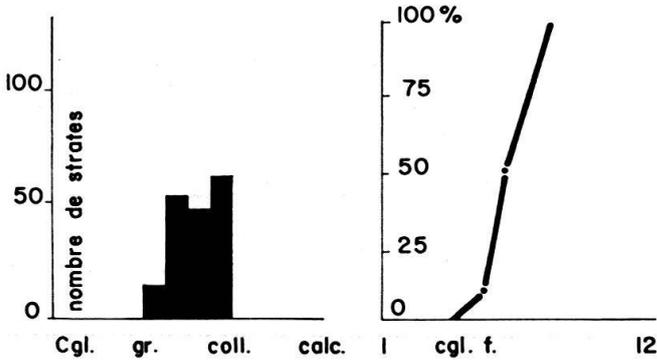
Nombre total de strates: 128



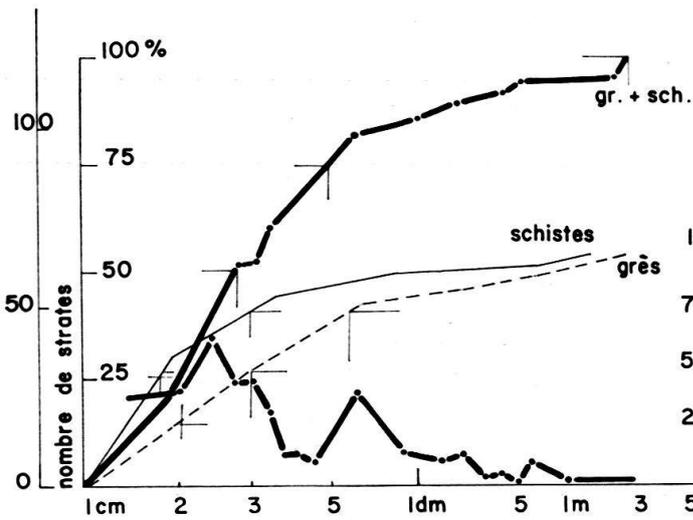
A. ÉPAISSEURS PAR LITHOFACIÈS.

LÉGENDE DES LITHOFACIÈS.

- | | | |
|--------------------|---------------|--------------|
| 1. Congl. grossier | 5. Grès moyen | 9. Diagénét. |
| 2. .. moyen | 6. .. fin | 10. Calcsch. |
| 3. .. fin | 7. Silt | 11. Calc. I |
| 4. Grès gross. | 8. Schiste | 12. Calc. II |



B. NOMBRE DE STRATES PAR LITHOFACIÈS.



C. NOMBRE DE STRATES PAR CLASSES D'ÉPAISSEURS

D. VARIATION DES ÉPAISSEURS.

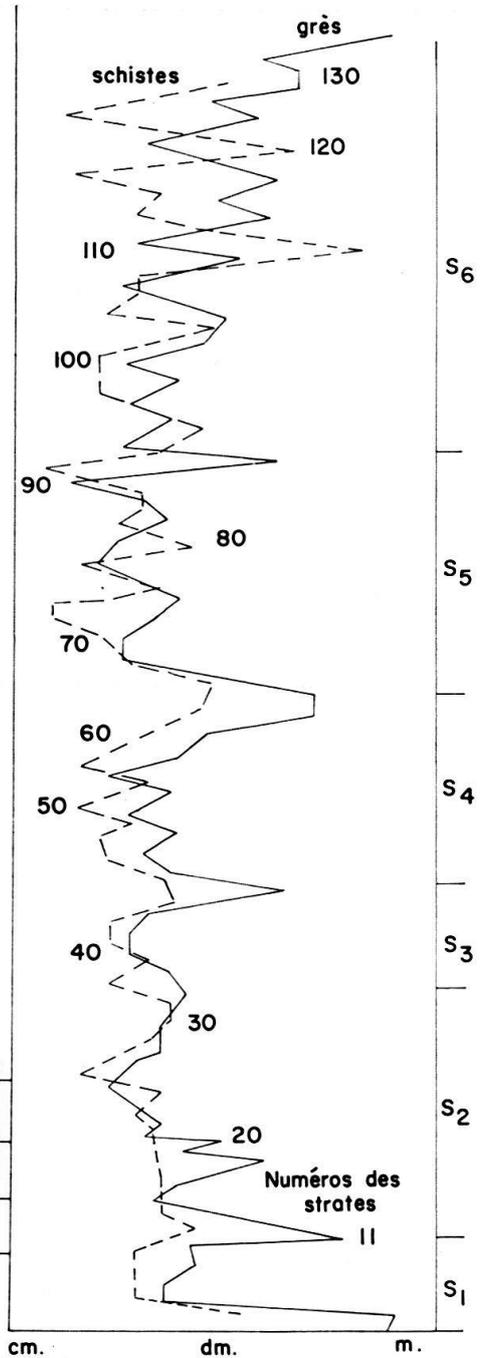
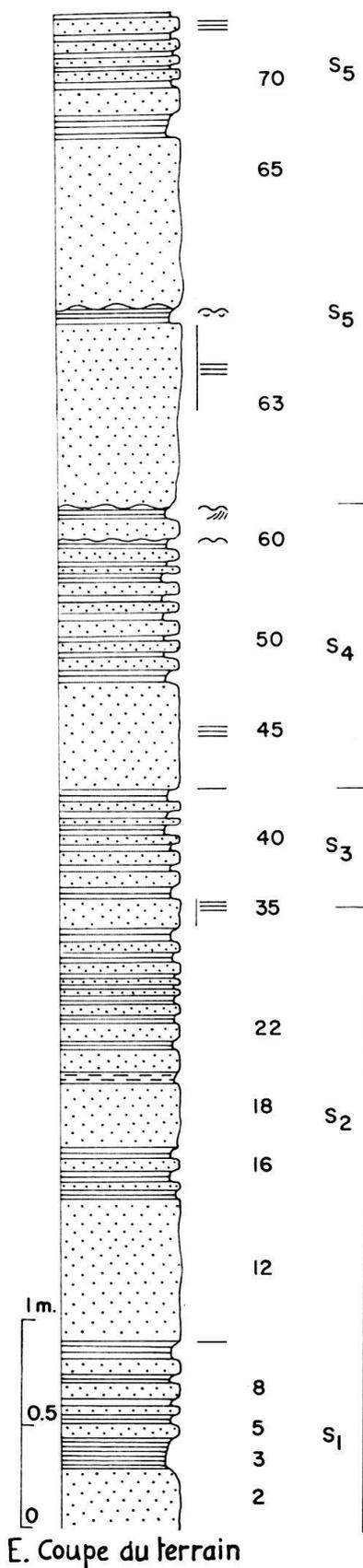


Fig. 4a. Coupe de la carrière de Fillings. Flysch ultra-helvétique paléocène. Stratonomie.



E. Coupe du terrain

B. Diagrammes (voir fig. 4).

1. Epaisseurs des strates positives et passives (grès et sch.), suivant les classes lithologiques (fig. 4, A).

Le maximum tombe dans les grès moyens. Il domine nettement les autres valeurs. Les schistes n'occupent qu'un rang inférieur; on remarque ainsi la prédominance de la sédimentation positive active et le faible étalement de la gamme des faciès lithologiques. Conglomérats, silts et calcaires sont absents.

La médiane Q_{50} se trouve dans la catégorie 5 (grès moyen), Q_{25} dans le grès fin 4 et Q_{75} dans les schistes 7. (Fig. 4, N° A).

Sur 22,83 m mesurés, 5% des strates tombe dans les grès grossiers, 51% dans les grès moyens, 22% dans les silts et 22% dans les schistes.

2. Le nombre de strates par lithofaciès (fig. 4, B).

Un premier maximum (évident) apparaît dans les schistes et un 2^e dans 6, les grès fins. Q_{50} = grès fin, Q_{25} = grès moyen et Q_{75} = grès fin. (Fig. 4, N° 2).

1% tombe dans les grès grossiers, 2% dans les grès moyens, 40% dans les grès fins et 48% dans les schistes et colloïdes des interbanes.

3. Nombre de strates et interstrates par classes d'épaisseurs (fig. 4, C).

Les diagrammes ont été simplifiés. On obtient les valeurs suivantes:

La courbe de fréquences des grès et schistes accuse deux maxima, l'un à 3,5 cm, l'autre à 13 cm. La courbe des schistes montre un maximum à 0,025 m puis décroît vers les grandes épaisseurs. La courbe des grès à un maximum étale entre 0,025 m et 0,08 m puis décroît plus haut.

Pour les grès et schistes

$$Q_{50} = 0,03 \text{ m}, \quad Q_{25} = 0,017, \quad Q_{75} = 0,06 \text{ m}$$

Pour les schistes

$$Q_{50} = 0,021 \text{ m}, \quad Q_{25} = 0,014, \quad Q_{75} = 0,041 \text{ m}$$

Pour les grès

$$Q_{50} = 0,041 \text{ m}, \quad Q_{25} = 0,019, \quad Q_{75} = 0,10 \text{ m}$$

Fig. 4b. Carrière de Fillings. Série lithologique.

Ces nombres auront une valeur de comparaison mais ne donnent pas une image absolue très fidèle.

Les épaisseurs moyennes par lithofaciès sont :

grès grossier	60 cm
grès moyen	10 cm
grès fin	10 cm
schiste	8 cm

L'épaisseur moyenne d'une strate = 18 cm. (schistes compris) et pour l'épaisseur d'une strate de grès = 26 cm.

Indice de stratification: 56

Mode: 3,5 cm

Médiane: 4,4 cm

Quartiles: $Q_1 = 2,6$ cm. $Q_3 = 11$ cm

Coefficient de dispersion arithmétique: $So_a = 8,4$

Coefficient de dispersion géométrique: $So_g = 4,2$

Coefficient de dissymétrie arithmétique: $Sk_a = 4,8$

Coefficient de dissymétrie géométrique: $Sk_g = 6,5$

La coupe E de la fig. 4 montre les diagrammes construits à partir de la série naturelle. En C et en D, les courbes ont été construites en séparant les grès des schistes. On constate un certain parallélisme des deux formes de dépôts, sauf au sommet de la coupe, pour l'évolution des épaisseurs.

4. Variation de l'épaisseur des strates dans la série naturelle

La coupe E de la fig. 4 donne une partie du lever banc par banc avec l'épaisseur réelle des strates, leurs faciès et textures. A partir de ce graphique, on a construit la courbe des épaisseurs, afin de voir leur évolution.

Celle-ci se traduit par une courbe oscillante. Pour plus de clarté, on l'a décomposée en a) courbe des grès et b) courbe des schistes.

La courbe des grès montre un style caractéristique qui se répète: Un banc épais marque l'origine d'une courbe oscillante en A -, épaisse, suivie d'une brève S +. On a pu subdiviser la multistrate en séquences d'épaisseurs:

S_1 des couches 1 à 12	A- couches 1-10	S+ : 11-12
S_2 des couches 13 à 35	A- couches 12-26	S+ : 27-35
S_3 des couches 36 à 45	A- couches 35-41	S+ : 41-45
S_4 des couches 46 à 65	A- couches 45-57	S+ : 57-63
S_5 des couches 66 à 89	A- couches 63-97	S+ : 97-99

Dès la couche 90, ce rythme est détruit et l'on a une séquence oscillante à légère tendance positive, augmentant d'amplitude jusqu'au très gros banc de base de la multistrate suivante.

Ainsi est mis en évidence un mécanisme de mise en place des sédiments par arrivées successives. Celles-ci sont fortes d'abord puis décroissent. On distingue donc nettement les strates plus épaisses d'impulsion de type granostrates, suivies chacune d'apports décroissants déposés en laminites I.

En fin de multistrata, la séquence S_6 voit les impulsions s'accroître par une courbe oscillante en $V+$, pour aboutir finalement à la nouvelle multistrata. Ces rythmes d'épaisseurs sont englobés dans des mégaséquences.

La démonstration de la différence entre granostrates et laminites est apportée, bien que les premières n'en aient pas les caractères déterminants. L'absence de granoclassement est due à la monotonie du matériel, à son triage.

On remarquera la ressemblance de ce style stratonomique avec celui de Zollhaus où la multistrata décrite à Fillinges se répète 3 fois.

La courbe des schistes correspond à celle des périodes passives, sans apports terrigènes. Son évolution est à peu près parallèle à celle des détritiques, avec un léger décalage. Il y a donc une relation entre le temps écoulé entre les épandages clastiques et l'épaisseur de ceux-ci.

5. Variation du nombre des strates dans la série naturelle (voir fig. 5)

La courbe comprend les grès et les schistes. Elle consiste en trois séquences en D dont la 1^{re} croît de la base de la coupe à 8 m pour retomber brusquement à 9 m; la 2^e culmine entre 11 et 13 m; la 3^e part de 13 m et revient à 1 à 19 m.

Ces trois séquences se succèdent en une mégaséquence, montrant que par trois fois, le nombre des strates a passé par un maximum mais l'ensemble s'encadre dans la multistrata qui est ainsi mise en évidence.

S_1 , avec ses quelques oscillations, a la même extension que les 4 premières séquences (jusqu'au banc 65) S_2 va jusqu'à 110 et comprend S_5 d'épaisseur et la

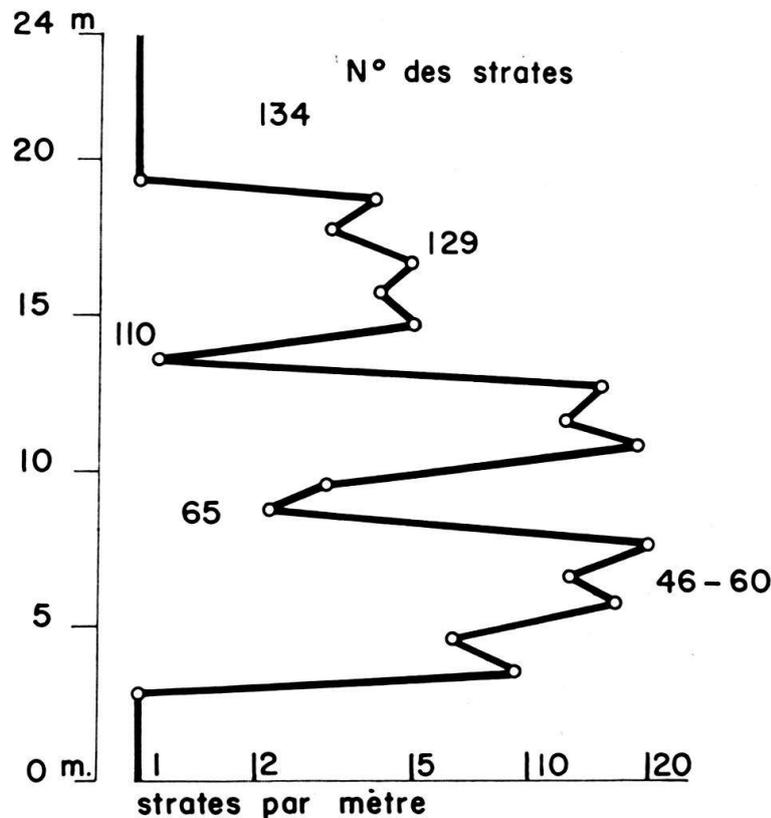


Fig. 5. Série de Fillinges. Variation du nombre de strates par mètre linéaire le long de la coupe naturelle. La courbe présente 3 séquences oscillantes en D , formant à leur tour une mégaséquence.

forte pointe de schistes. S_3 se trouve dans les oscillations croissantes annonçant la grosse turbidite supérieure. Il n'y a pas de concordance entre les deux courbes, ce qui vient probablement, et en partie, du mode de construction de la courbe des fréquences.

6 Variation du lithofaciès dans la série naturelle

La composition du flysch est limité ici à un nombre restreint de termes lithologiques et la courbe d'évolution des lithofaciès n'a guère de signification.

2° Série calcaréo-conglomératique du flysch du Niesen

A. Introduction

La coupe a été levée le long des rochers à la bifurcation des routes du Sépey aux Mosses et au Pillon (voir fig. 6). Elle comprend une succession de faciès grossiers, voisins d'un wildflysch, passant par rythmes à des grès, schistes et calcaires. La présence de conglomérats est localisée à cette extrémité SW de la nappe. Elle correspond à l'arrivée d'émissaires torrentiels dans la mer. Le matériel, après un certain transport, est stratifié et classé. La microfaune est marine et donne un âge maestrichtien. (*Siderolites*, *Miscellanea*).



Fig. 6. Bifurcation des routes des Mosses et du Pillon (Vaud). Flysch conglomératique basal de la nappe du Niesen, maestrichtien. La série est renversée. Elle consiste en un sommet de multistrat à laminites (moitié supérieure de la photo) et en une base conglomératique très grossière de la multistrat suivante.

La composition des galets consiste en granites gris ou verdâtres, en micaschistes, chloritoschistes et grès sombres. Les formes sont parfois arrondies mais surtout anguleuses. Les dimensions maximales atteignent 0,60 m.

Les grès sont composés du même matériel polygénique que les conglomérats mais plus fin, à ciment de calcite. Parfois ce sont des grauwaekes.

Les calcaires, rares à ce niveau, sont microcristallins et stériles. Granostrates et laminites sont toutes deux représentées. Les textures présentent de nombreuses variétés. Contrairement à la coupe précédente dans l'Ultra-helvétique, cette section montre un très grand nombre de caractères sédimentologiques; les marques de mur sont rares et mal développées.

Ces critères sont en partie laissés de côté pour ne considérer que la stratonomie.

B. Classification sommaire

1. Rapport clastiques/schistes

Epaisseur totale des détritiques (+ calc.)	166,76
Epaisseur totale des schistes	4,23
Rapport: 39	
Groupe: A	

2. Epaisseur moyenne des strates détritiques.

Nombre des strates détritiques:	99
Epaisseur des strates détritiques:	162,53 m
Epaisseur moyenne	1,6 m
Extrêmes: 5 m et 1 cm	

3. Formule élémentaire:

A_e 1,6 m	5 m	55	3	5	31	0,6	2,5	2,9
		cgl.	gr _{gr}	gr _m	gr _f	si	sch	calc.
	1 cm	22	5	7	41	1	19	5

C. Paramètres numériques

Epaisseurs et nombre de strates:

Tableau 1

	Cgl.	Gr _{gr}	Gr _m	Gr _f	Si	Sch.	Calc.	Totaux
Epaisseurs par lithofaciès	91,10	5,21	8,37	52,72	0,75	4,23	3,33	166,76
Epaisseurs en % épaisseur totale	55	3	5	31	0,6	2,5	2,9	100
Nombre de strates par lithofaciès	27	6	9	51	1	23	7	124
Nombre en % du total des strates	22	5	7	41	1	19	5	100
Epaisseurs limites max.	8 m	7 m	2 m	5 m		0,8 m	0,7 m	
Epaisseur limites min.	0,1 m	0,3 m	0,5 m	0,1 m		0,1 m	0,2 m	
Epaisseur moyennes	3,60 m	2,0 m	1,1 m	0,7 m		0,2 m	0,3 m	0,13 m

L'épaisseur moyenne des strates décroît avec la granulométrie des lithofaciès (voir fig. 7).

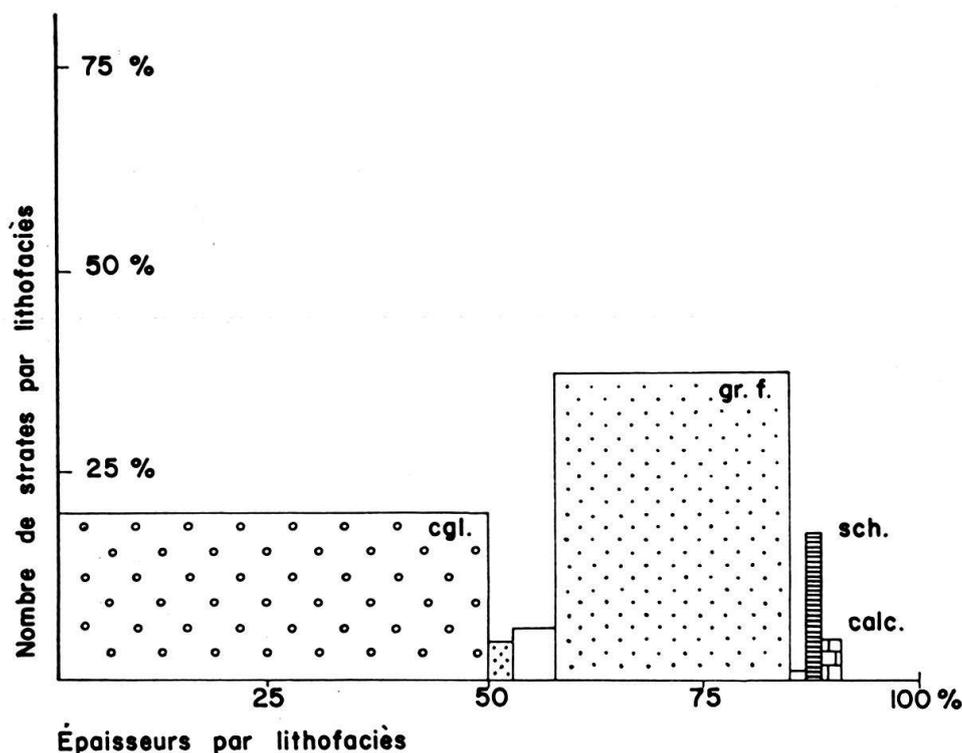


Fig. 7. Graphique de la série des Mosses - Pillon. Flysch du Niesen. En abscisses figurent les lithofaciès formant la série, avec leurs épaisseurs relatives. En ordonnées, le nombre de strates par lithofaciès. Expression graphique de la formule litho-stratonomique approchée.

D. Diagrammes (voir fig. 8)

1. Épaisseurs des strates positives (cgl., gr., sch., calc.) suivant les classes lithologiques.

La distribution montre 2 maxima, le 1^{er}, absolu, se trouve dans les conglomérats moyens et le 2^e dans les grès fins.

Les autres groupes lithologiques sont beaucoup moins épais et diminuent avec la décroissance de la granulométrie.

Les quartiles se répartissent comme suit :

- Q₅₀: conglomérats moyens
- Q₂₅: conglomérats grossiers
- Q₇₅: grès moyens à fins

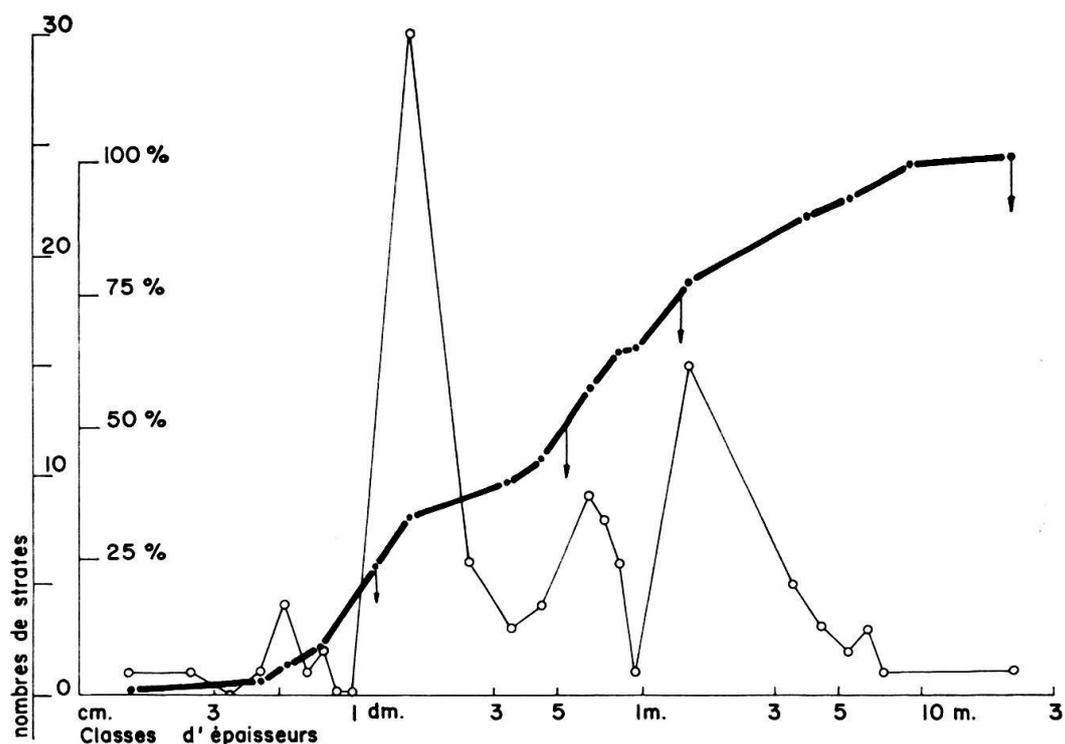
La répartition des épaisseurs est donc centrée sur les éléments grossiers à moyens de la série. L'épaisseur des schistes est faible. Elle se réduit aux phases passives d'interbanks; ces argiles ne forment pas de couches actives et correspondent à des phases de rémission dans l'arrivée des terrigènes.

2. Le nombre des strates par lithofaciès

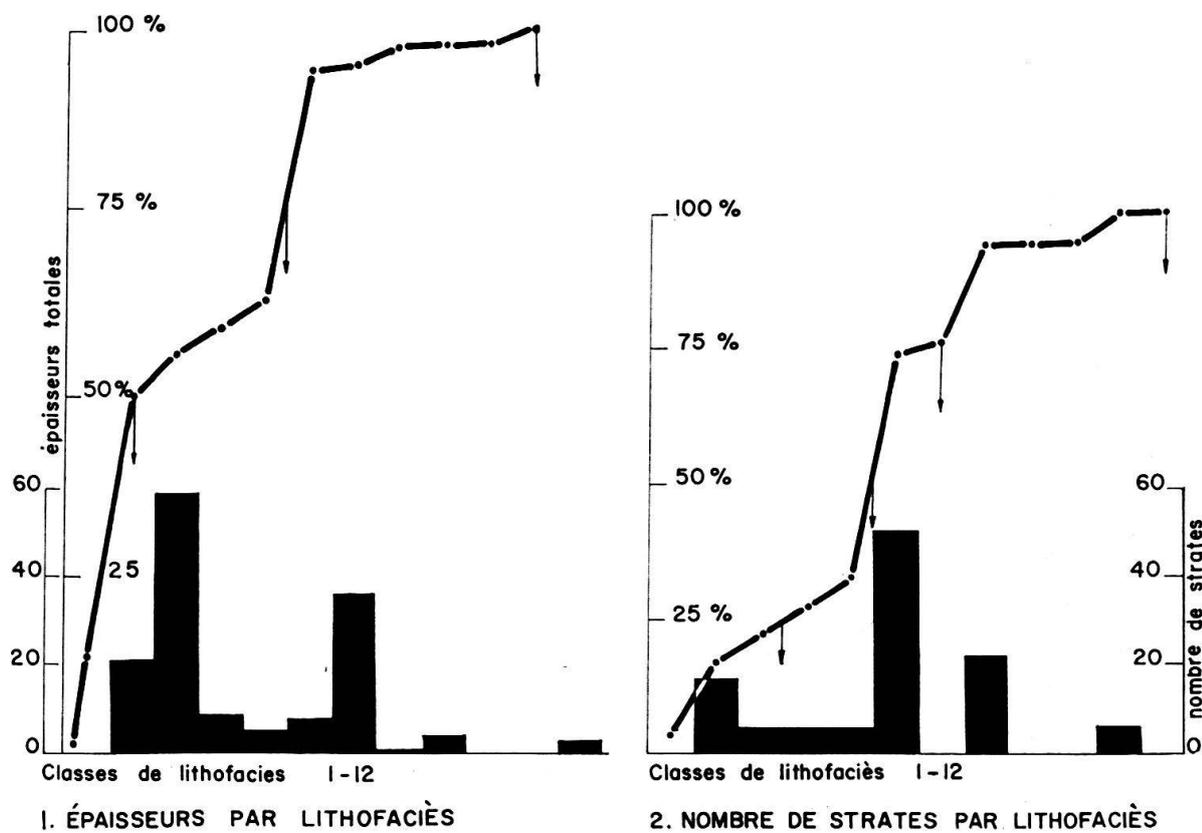
Il est réparti suivant une courbe à 1 maximum dans les grès fins et 2 points secondaires, l'une dans les conglomérats moyens, l'autre dans les schistes.

Les quartiles se répartissent comme suit :

- Q₅₀: grès moyen (5)
- Q₂₅: grès grossier (4)
- Q₇₅: silts (7)



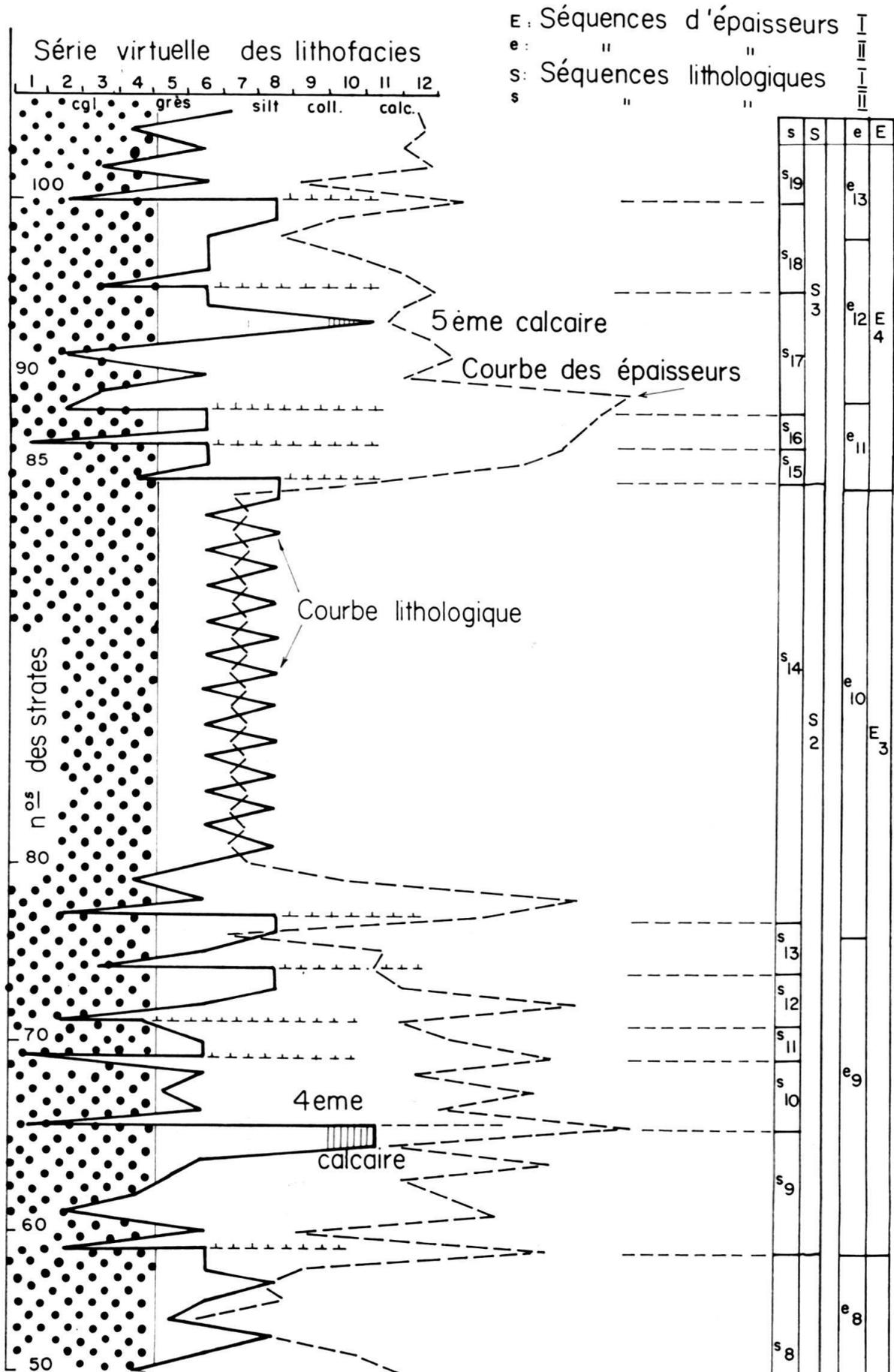
3. NOMBRE DE STRATES PAR CLASSE D'ÉPAISSEURS



1. ÉPAISSEURS PAR LITHOFACIÈS

2. NOMBRE DE STRATES PAR LITHOFACIÈS

Fig. 8. Diagrammes des épaisseurs de strates par lithofaciès (gauche) et du nombre de strates par lithofaciès (droite). Routes des Mosses - Pillon. Flysch du Niesen. En bas, le nombre de strates par classes d'épaisseurs.



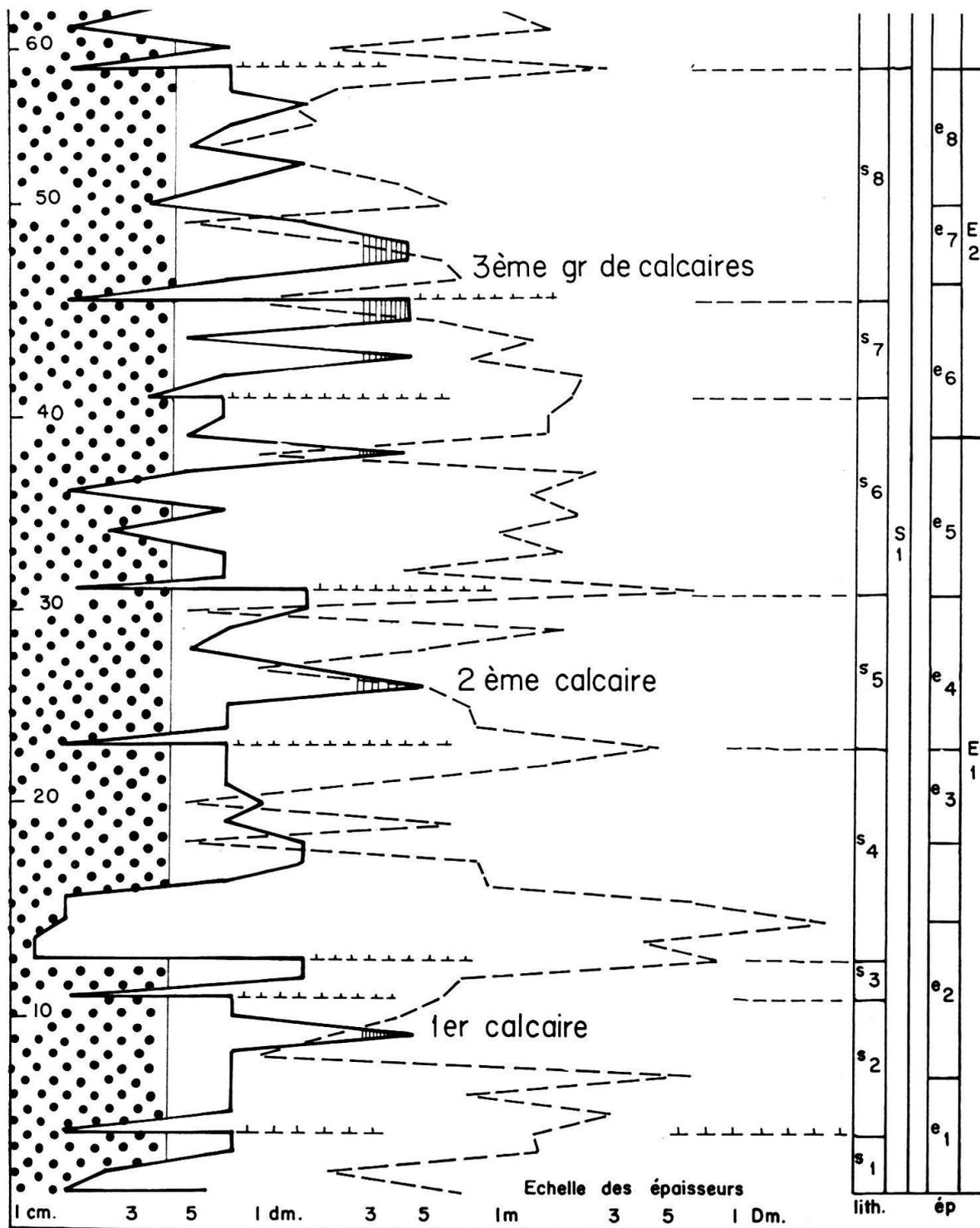


Fig. 9. Coupe de la route des Mosses. Flysch du Niesen.

Il y a un décalage de cette courbe vers les fins par rapport à la courbe des épaisseurs.

3. Nombre de strates par classes d'épaisseurs

Le diagramme des strates réparties par classes d'épaisseurs comprend tous les lithofaciès, y compris les schistes. Les variations sont grandes dans la courbe de

distribution. Un premier maximum correspond à une épaisseur de 15 cm, un deuxième à 65 cm et un troisième à 1,50 m.

D'après les épaisseurs moyennes par lithofaciès du tableau 1, la moyenne des strates de ce premier maximum correspond à des schistes, le deuxième à des grès fins et le troisième à des grès moyens à grossiers.

Les valeurs des quartiles sont :

$$\begin{aligned} Q_{50} &: 54 \text{ cm} \\ Q_{25} &: 11 \text{ cm} \\ Q_{75} &: 130 \text{ cm} \end{aligned}$$

Le mode est de 15.

$$\begin{aligned} \text{Coefficient de dispersion arithmétique: } & S_{o_a} = 119 \\ \text{Coefficient de dispersion géométrique: } & S_{o_g} = 12 \\ \text{Coefficient de dissymétrie arithmétique: } & S_{k_a} = 4,8 \\ \text{Coefficient de dissymétrie géométrique: } & S_{k_g} = 6,5 \end{aligned}$$

4. Variations de l'épaisseur des strates dans la série naturelle

La courbe indique une extrême variabilité, ce qu'exprime un style oscillant. L'amplitude décroît un peu vers le haut de la coupe, alors qu'augmente le nombre de strates par séquence d'épaisseur.

Il n'est pas possible d'identifier de multistrate car la coupe commence dans une série de séquences et s'achève également en cours de séquences.

Vers le milieu de la série, il y a toutefois un changement de style.

Voici une interprétation abrégée des séquences (symboles à la fig. 2):

$$\begin{array}{ll} e_{13} : A & e_6 : A- \\ e_{12} : & \\ e_{11} : & e_5 : A \\ e_{10} : I & e_4 : A+ \text{ oscillations maximales} \\ e_9 : A- & \\ e_8 : A+ & e_3 : A+ \\ e_7 : & e_2 : A+ \text{ épaisseur maximale} \\ & e_1 : A+ \end{array}$$

Ces séquences d'épaisseurs ont été groupées en mégaséquences:

$$\begin{array}{ll} E_4 \text{ séquences de divers styles} & e_{10}-e_{13} \\ & \text{amplitudes réduites.} \\ E_3 \text{ séquences H passant à I} & e_9 - e_{10} \\ E_2 \text{ séquences A-} & e_6 - e_8 \\ E_1 \text{ séquences de même style A+} & \end{array}$$

5. Variations des lithofaciès dans la série naturelle

Les successions sont grossières et mal développées mais comprennent une large gamme de lithofaciès. Des strates de calcaire se sont déposées parmi des détritiques grossiers et fins, au cours de phases de rémission de l'arrivée des terrigènes.

Les oscillations de la courbe expriment l'arrivée fractionnée des détritiques. Plusieurs séquences sont tronquées. Ce caractère impulsif des dépôts est confirmé par de nombreux critères sédimentologiques répétés: érosions d'interstrates, mauvais classement des éléments grossiers, forte teneur en matériel grossier.

Si l'on s'en tient à la stratonomie, on constate la prédominance de séquences positives, à leur base tout au moins. Celles-ci commencent toutes (sauf 7,11 et 15) dans des conglomérats en bancs épais.

Les calcaires sont en strates isolées, peu épaisses et uniques, sans relation de mégaséquence; ils sont préparés par une décroissance d'épaisseurs de strates (voir fig. 9).



Fig.10. Bifurcation des routes des Mosses et du Pillon (Vaud). Flysch basal du Niesen. Série renversée. Elle consiste ici en conglomérats, grès et schistes disposés en une granostrate (turbidite auct.) conglomératique et en laminites de grès et de schistes.

L'interprétation des séquences est la suivante:

S ₁₉ : A+	S ₁₁ : tronq.	S ₂ : osc.+
S ₁₈ : -+	S ₁₀ : osc.	
	S ₉ : A+	S ₁ : osc.+
S ₁₇ osc.	S ₈ : A	
S ₁₆ +	S ₇ : osc.	
S ₁₅ : +	S ₆ : osc.	
S ₁₄ : alt.	S ₅ : osc.	
S ₁₃ : - +	S ₄ : osc. -	
S ₁₂ : + -	S ₃ tronq.	

Cette diversité n'appelle aucun regroupement en mégaséquences.

On a pu distinguer les granostrates, en matériel très grossier, sommairement granoclassé et épais. Les laminites apparaissent entre deux, et se manifestent très nettement dans le haut de la série.

6. Relations entre les variations d'épaisseurs de strates et leur composition

La seule relation est une proportion constante entre la grossièreté des sédiments et l'épaisseur des couches; elle se retrouve dans toute la série. A des sédiments grossiers, correspondent des couches épaisses et à des sédiments fins, des couches minces.

En résumé, les valeurs stratonomiques et l'étude des variations des termes de cette série n'ont pas apporté de données sur la formation de ces dépôts.

Leur comparaison avec des séries voisines sera plus concluante et servira de référence.

Ce wildflysch du Sépey s'étend à Aigremont. Il est très localisé. Il s'est formé au débouché de torrents et au pied de falaises, à faible distance de la côte. Latéralement et parallèlement à l'axe du bassin, les dépôts deviennent moins grossiers. C'est donc une formation limitée.

La dispersion des coefficients et l'irrégularité des courbes d'évolution reflètent ces conditions locales et accidentelles.

BIBLIOGRAPHIE

- ATKINSON, D. J. (1962): *Tectonic control of sedimentation and the interpretation of sediment alternation in the Tertiary of Prince Charles Foreland Spitsbergen*. Bull. geol. Soc. Amer. 73/3, March., pp. 343-364.
- BOKMAN, J. (1953): *Lithology and petrology of the Stanley and Jackfork formation*. J. Geology 61, pp. 152-170.
- BOUMA, A. H. (1961): *Sedimentology of some flysch deposits*. Elsevier. Amsterdam.
- CADIGAN, R. A. (1954): *Testing graphical methods of grain-size analysis of sandstones and siltstones*. J. sediment. Petrol. 24/2, June, pp. 123-128.
- (1961): *Geologic interpretation of grain-size distribution measurements of Colorado Plateau sedimentary rocks*. J. Geology 69/2, March, pp. 121-144.
- CROWELL, J. C. (1955): *Directional-current structures from the Prealpine Flysch, Switzerland*. Bull. geol. Soc. Amer. 66/3, pp. 1351-1384.
- DOTT, R. JR. (1958): *Cyclic patterns in mechanically deposited Pennsylvanian limestones of North-eastern Nevada*. J. sediment. Petrol. 28/2, March, pp. 3-14.
- DZULINSKI, S., & RADOMSKI, A. (1955): *Origin of groove casts in the light of turbidity currents hypothesis*. Acta. geol. polon. 5, pp. 47-66.
- Hsu, K. J. (1960): *Flute - and groove - casts in the Prealpine flysch, Switzerland*. Amer. J. Sci. 257, pp. 529-536.
- INMAN, D. L. (1952): *Measures for describing the size distribution of sediments*. J. sediment. Petrol. 22, pp. 125-145.
- KELLEY, V. C. (1956): *Thickness of strata*: J. of Sed. Petrol. 26, pp. 189-300.
- KRUMBEIN, W. C., & SLOSS, L. L. (1951): *Stratigraphy and sedimentation*. Freeman, San Francisco, 497 pp.
- KRUMBEIN, W. C., & PETTIJOHN, F. J. (1938): *Manual of sedimentary petrology*. D. Appleton Century Co. New York, pp. 249-250.
- KSIACZKIEWICZ, M. (1952): *Graded and laminated bedding in the Carpathian flysch*. Ann. Soc. geol. Polen. 22, pp. 399-449.
- KUENEN, PH. (1953): *Significant features of graded bedding*. Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Bull. 37, pp. 1044-1066.

- KUENEN, PH. H., & CAROZZI, A. (1953): *Turbidity currents and sliding in geosynclinal basins of the Alps*. J. Geology, 61, pp. 363–373.
- LOMBARD, AUGUSTIN (1956): *Géologie sédimentaire*. 754 pp. Vaillant Carmanne Liège, et Masson à Paris.
- (1960): *Les Laminites et la stratification du flysch*. Arch. Sci., Genève 13, fasc. 4.
- MC. BRIDE, E. F. (1962): *Flysch and associated beds of the Martinsburg formation (Ordovician), central Appalachians*. J. sediment. Petrol. 32/1, March, pp. 39–91.
- MONJALLON, A. (1961): *Introduction à la méthode statistique*. Paris, Libr. Vuibert.
- OTTO, G. H. (1938): *The sedimentation unit and its use in field sampling*. J. Geology, 46, pp. 569–583.
- (1949): *A modified logarithmic probability graph for the interpretation of mechanical analyses of sediments*. J. Petrol. 4., pp. 65–77.
- PAGE, H. G. (1955): *Phi – millimeter conversion table*. J. sediment. Petrol. 25/4, pp. 285–292.
- PETTIJOHN, F. J. (1957): *Sedimentary rocks*. 2nd. ed., Harper and Bros. N. Y., 718 p.
- POTTER, P. E., & SIEVER, R. (1955): *A comparative study of Upper Chester & Lower Pennsylvanian stratigraphic variability*. J. Geology 63, pp. 429–451.
- QUERVAIN, F. DE (1928): *Zur Petrographie und Geologie der Taveyannaz-Gesteine*. Bull. Suisse Min. Petr. VIII. p. 1.
- STANLEY, D. J. (1961): *Etudes sédimentologiques des grès d'Annot et de leurs équivalents latéraux*. Thèse Fac. Sci. Univ. Grenoble.
- TEN HAAF, E. (1956): *Significance of convolute lamination*. Geol. en Mijnbouw 18. pp. 188–194.
- TWENHOFEL, W. H. (1932): *Treatise of sedimentation*. Mc. Graw Hill, New York, 610 pp.
- VASSOEVICH, N. B. (1948): *Le flysch et les méthodes de son étude*. Leningrad. Trad. S. I. G. N° 1954.
- VUAGNAT, M. (1952): *Petrographie, répartition et origine des microbrèches du flysch nord helvétique*. Mat. Carte géol. Suisse [N. S.] 97^e livr. Berne.

Manuscrit reçu le 22 février 1963
