

La stratification : révision, critique et essai de théorie génétique

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **58 (1965)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-163262>

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.

La stratification.

Révision, critique et essai de théorie génétique

par **Augustin Lombard** (Genève)

avec 12 figures dans le texte

SOMMAIRE

La stratification des séries sédimentaires est un de leurs caractères majeurs et universels. Elle est encore mal connue et souvent confondue avec le litage. L'auteur examine les principales descriptions qui en ont été données; il propose une définition et jette la base d'une classification. Les hypothèses qui l'expliquent sont révisées et une nouvelle théorie est proposée, basée sur les propriétés mécaniques des sédiments non consolidés et sur l'effet de la pesanteur. La stratification s'intègre ainsi dans les processus généraux de la mise en place des sédiments marins et terrestres.

ABSTRACT

The stratification of sedimentary series is a major and universal feature. It is still unclear in its mechanism of formation and often mixed up with the bedding. The author summarizes the current opinions on its formation and proposes a classification. He also formulates an hypothesis on its genesis, based upon soil mechanics and gravity effects. It appears that stratification is one of the aspects of the spreading of sediments in continental or marine environment.

Introduction

J. WALTHER (1894) a défini la stratification comme étant l'arrangement de masses rocheuses en couches ou strates dont chacune représente le sommet de la lithosphère à un moment donné. Cette définition s'applique à toutes roches qui se déposent en couches: sédiments, coulées de laves.

Selon A. W. GRABAU (éd. 1960), l'unité est la *strate*, dont il existe de nombreuses définitions. C'est une unité qui peut comprendre une ou plusieurs couches lithologiques ou être subdivisée en laminae. La strate est comprise entre deux plans de stratification. Sous l'angle de la formation, GRABAU considère la strate comme étant formée dans les mêmes conditions de part en part. Ces conditions sont la vitesse, la durée et la dimension du matériel. Les changements de grain et de texture dans la strate ne correspondent qu'à des changements mineurs dans les conditions du dépôt. Ils ne suffisent pas à déterminer une séparation et à former une nouvelle strate.

NALIVKIN (1956, p. 82-86) apporte des définitions utiles et pratiques de la stratification, la confondant toutefois avec le litage. Pour l'expliquer, il suit WALTHER en attribuant la stratification à des interruptions ou à des changements brusques durant le processus de sédimentation. Les interstrates se forment pendant des interval-

les de la sédimentation et correspondent au tassement de la partie supérieure de la strate. Les autres causes de la stratification sont les changements saisonniers, changements de temps, changements de climat, variation du niveau de la mer, précipitations colloïdales, croissance des organismes. Ces agents sont cités par TWENHOFEL (1932) qui, avec NALIVKIN les a empruntés à WALTHER, GRABAU ou ANDREE (1915). Ce dernier ajoute les mouvements du fond de l'océan comme facteurs génétiques.

NALIVKIN attribue à la tectonique un rôle important dans la stratification, sans en préciser le mécanisme.

VASSOEVITCH (1951, dès p. 8) donne également des définitions de la stratification, introduisant en particulier les termes de monostrate, polystrate et multistrates puis du litage qu'il nomme feuilletage. Pour que la stratification s'opère, il faut a) que les sédiments se redistribuent ou se trient. C'est la différenciation sédimentaire de POUSTOVALOV qui semble être un processus diagénétique; b) qu'intervienne un ensemble de conditions génétiques caractérisant un terrain.

McKEE et WEIR (1953) distinguent les strates des laminae mais d'après leur épaisseur seulement. Les laminae sont inférieures au cm., les strates sont plus épaisses.

DUNBAR et RODGERS (1957) reprennent et adoptent ces définitions. Ils expliquent l'origine de la stratification-litage par des changements de composition, de granulométrie, de compaction. A l'origine se trouvent des courants d'eau tantôt localisés et littoraux, tantôt généralisés. Le mécanisme des turbidites intervient, ainsi qu'un précipité direct ou un dépôt mécanique de particules. Il en résulte une strate dont les composants s'accumulent en nivelant les irrégularités du fond. Cette strate peut être oblique soit qu'elle montre une inclinaison d'origine, soit parce qu'elle a été déformée par un mouvement secondaire d'écoulement ou de tassement.

STRAKHOV (1958), suivant VASSOEVITCH, distingue partiellement la stratification d'ensembles horizontaux, de la texture ou feuilletage à l'intérieur de ces couches. Les strates sont séparées par des feuillets minces et homogènes que nous appelons interstrates (v. plus loin). La stratification se forme par dépôt de solutions et de suspensions sur un fond, sans qu'il y ait de mouvements.

TWENHOFEL (1932) pose le problème beaucoup plus nettement et distingue clairement les strates et leurs textures internes ou «laminations». Toutefois, lorsqu'il expose quelles sont les causes de la stratification, il fera en fait allusion aux phénomènes qui conduisent au litage. Ce sont les changements de temps, les variations de courant, les changements de climats, la montée du niveau de la mer, le dépôt de sédiments colloïdaux et le développement d'organismes.

Ce simple exposé montre bien que l'auteur néglige la mise en strates et donne les causes de stratifications obliques, de varves et d'autres textures mineures. Aucune d'elles n'est valable pour expliquer la mise en strates.

Il n'explique pas non plus le caractère rythmique de la stratification (alternances de strates et interstrates) ni celui des lithofaciès successifs de couche en couche dans une série stratifiée.

Avec F. J. PETTIJOHN (1948), les termes de bedding et stratification sont employés en synonymie et s'appliquent à la disposition en strates. Une strate est une unité de sédimentation déposée sous des conditions constantes. Un courant

dominant d'eau est supposé être à l'origine de la strate. Lorsque le courant change, une autre strate se forme. Les laminae sont dues aux variations de vitesse du courant, par exemple la stratification oblique ou le grano-classement.

PETTIJOHN (1949), outre la distinction des strates et de leurs textures, apporte pour la première fois les notions de phases de sources-transport-dépôt mais ne les applique pas. Il introduit par contre une confusion en adoptant comme base de classification des strates, le schéma d'ANDREE (1915) qui est incomplet dans les laminae et confond lui aussi strates et laminations.

N. B. VASSOEVICH (1948) est l'auteur le plus autorisé dans le problème de la stratification. Le lecteur y aura recours avec le plus grand profit. Les observations sont nombreuses et l'auteur en tire des conclusions perspicaces et nuancées. Nous en avons retenu plusieurs éléments essentiels. Sa classification est multiple, partant de 9 critères fondamentaux mais de valeurs inégales. Leurs combinaisons sont trop nombreuses. Dans un essai de théorie, les strates du flysch sont attribuées à de petites oscillations de l'écorce terrestre. La substance même du sédiment est à l'origine de la mise en strates et c'est la «différenciation sédimentaire» qui règle le processus entier de l'accumulation des sédiments (vol. 2, p. 23). Il est fait allusion à un triage horizontal des sédiments mais le mécanisme n'en est pas donné.

Cette revue sommaire de la bibliographie montre que jusqu'ici, les auteurs n'ont pas rigoureusement séparé la stratification du litage. Le terme même de stratification prête à confusion puisqu'il décrit le processus de mise en strates et la succession de strates qui en résulte.

Sur le plan génétique, les théories proposées sont vagues ou confondent les actions qui conduisent au litage avec celles de la stratification. Cette dernière, au sens propre et génétique du terme n'a pas été expliquée. C'est à quoi s'attachent les chapitres qui suivent.

La stratification

Ce terme doit être pris dans un sens descriptif. Il désigne la disposition des dépôts sédimentaires en couches distinctes et séparées: les strates. Ces strates sont caractérisées par leur

- forme en lentilles brèves ou allongées (biseaux, VASSOEVICH), en couches parallélipédiques, en coins, en lacets, s'étendant sur de vastes aires ou limitées dans leur extension. D'une manière plus générale, on distingue les couches librement étalées (blankets ou aprons) et les couches contraintes.
- surfaces supérieure et inférieure qui limitent chaque strate des couches sur- et sousjacentes. Elles sont nettes ou floues (passage d'un faciès au suivant), planes ou onduleuses, avec ou sans pistes, traces, marques organiques ou mécaniques, chimiques, diagénétiques ou sédimentaires.
- composition lithologique qui comprend toute la gamme des dépôts sédimentaires mais avec des variations dans le mode de stratification, dans leur épaisseur, répartition, texture, formes diverses du litage, déformations synsédimentaires, rythmes de litage et diagenèse à l'intérieur de chaque strate. Certaines couches sont homogènes de part en part (molasses, calcaires, conglomérats)

alors que d'autres ont une hétérogénéité de litage presque infinie dans ses textures et leur composition. Les couches homogènes peuvent présenter une succession de lithofaciés qui se suivent sans ordre d'une couche à la suivante ou par séquences et par séquences répétées (rythmes de stratification).

- épaisseurs; c'est un critère qui entraîne un certain nombre de remarques. Lorsque les épaisseurs sont fortes, dépassant 1 m. environ, la couche est ou monogénique ou subdivisée par du litage. Ce litage apparaît souvent comme une stra-

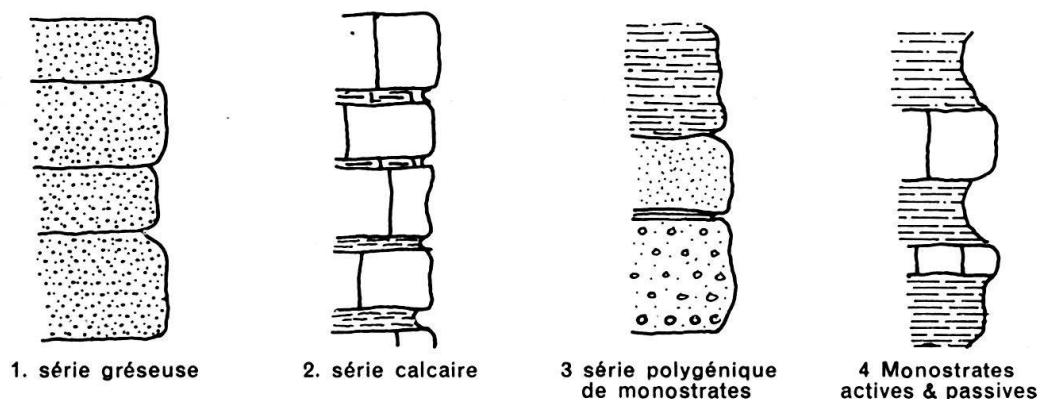


Fig. 1. Stratification en couches monogéniques ou monostrates.

1. Série gréseuse sans granoclassement. Les strates reposent les unes sur les autres, sans joints mais séparées par des surfaces. Flysch subalpin, Haute Savoie.
2. Série calcaire. Strates et interstrates sont bien distinctes, avec bref passage des unes aux autres. Strates : lutite à minéraux et organismes fins et dissimulés. Interstrates : calcschistes. Flysch calcaire. Sommand, Hte Savoie.
3. Monostrates monogéniques se suivant en unités lithologiques distinctes. Flysch du Niesen. Gsteig.
4. Monostrates successivement actives et passives. Ces dernières sont semblables à des « joints » ou interstrates épais.

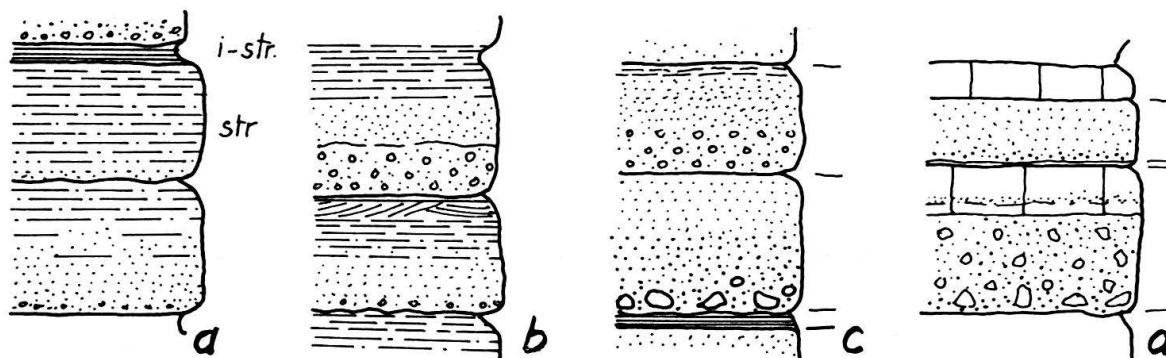


Fig. 2. Stratification en couches polygéniques ou polystrates.

- a) Dans chaque strate, la granulométrie décroît de la base vers le sommet. Il y a un léger changement d'une strate à la suivante, de part et d'autre de la surface de stratification et en dessus et en dessous de l'interstrate.

Flysch du Niesen grésoschisteux.

- b) Les différences entre lithofaciés à l'intérieur d'une strate sont plus marquées, ainsi qu'en c) et d) où l'on a finalement un conglomérat et un calcaire dans la même strate.

Flysch du Niesen.

Les nombreuses observations sur la lithologie et la texture internes ont été laissées de côté. (cf. KUENEN, BOUMA et BROUWERS 1964)

tification de 2e ordre avec des laminae (ou du zonage) de calcaires dans des marnes, de grès fin dans des schistes, de siltstone dans les argiles. Il est alors difficile de savoir s'il s'agit de litage interne dans une strate épaisse ou de stratification mince avec des interstrates épaisses. Il y a là une convergence. Lorsque les épaisseurs sont moyennes à faibles, les strates se superposent soit directement soit avec une strate intercalaire appelée joint ou interstrate. L'épaisseur des strates dans une série peut varier irrégulièrement, rester constante ou changer de valeur en croissant ou en décroissant.

- joints ou interstrates. Dans presque toutes les séries détritiques et calcaires, les strates sont séparées par un joint. Ce joint est mince, parfois il devient épais, mais il ne dépasse pas l'épaisseur des strates. Toutefois, lorsque c'est le cas, on considère alors que ce n'est plus un joint d'interstrate mais une couche autonome. Il est difficile d'établir une limite entre joint épais et strate autonome dans ce cas particulier. Les origines de ces deux dépôts sont différentes. Normalement, il y a une certaine parenté lithologique entre joint et strate. Le joint a un faciès plus résiduel et argileux que la strate. Tantôt il sépare deux strates de même composition, tantôt strates et joints sont de compositions différentes. Les relations entre une base ou un sommet de strate et les interstrates sont importantes à observer et donnent d'utiles renseignements sur la formation du dépôt. On distingue des passages graduels, des sauts brusques, des surfaces limites d'érosion ou de dissolution, des surfaces durcies ou de simples diastèmes. Un joint peut varier latéralement d'épaisseur et de lithologie. Il peut se dichotomiser, encadrant ainsi l'extrémité effilée et lenticulaire d'une strate.
- succession en petites séries de 5, 10 strates et même plus, apparentées par leur affinité lithologique ou quelque autre critère de groupement (p. ex. la «séquence» de G. LANTEAUME, la «multistrate» de LOMBARD ou le «faisceau», ou encore le «paquet» de VASSOEVICH).

Classification

Il n'est pas possible ni nécessaire de tenir compte de tous ces critères pour classer les divers types de stratification. Il faut retenir les deux caractères principaux qui permettent d'ores et déjà une application à des synthèses paléogéographiques :

a) l'épaisseur des strates et interstrates

b) leur composition pétrographique.

1) D'après les épaisseurs :

a) Il n'y a que des strates superposées; les interstrates sont minces et leur épaisseur est négligeable. On établit des classes d'épaisseurs de strates, p. ex.: 0 - 10 cm, 10 - 50 cm, 50 - 100 cm, 100 - 200 cm, < 200 cm.

(Cf. d'autres classes in VASSOEVICH 1948 et MCKEE et WEIR, 1953).

b) Il y a des strates mais les interstrates sont plus importantes. Ces dernières ont une épaisseur considérée comme non négligeable dans la série et leur lithologie diffère de celle des strates (Flysch, graywackes, pseudoflysch).

Epaisseurs	Compositions lithologiques			
moyenne des strates	Polymictites Rudites Conglomérats	Arénites Grès, Grauwakes	Micropolymictites Silt - argiles - marnes Carbonates Calcarénites - Calcilutites biotritiques - micrites	
De 0 à 2cm	Mioflysch	Hors classe d'épaisseurs		
1 m.	Molasses subalpines Euflysch - Grauwackes Molasses périaipines	Phases passives d'inter-section, bassins mobiles extra- et intra orogéniques. Alternances marno-calcaires de précipitation	Bassins mobiles actifs Seewerfacies Jur inf et moy subriaaç. Pseudo-flysch calcaire Plateformes mobiles Jura facies coquillier Bassins mobiles type Dinant Aires helvétiques Flysch helminthoïdes pp	
	Millstone grit et houiller → Wildflysch. Grès des Vosges		Aires de dépôt continu de fonds de bassins cratoniques ou de plateformes. Facies a gradlo - lithes et vastes géosynclinaux Fosse vocontienne	Hauts fonds et talus de récifs Facies urgonien Phases calcaires du Bathon, Jur sup Crét inf. Bassin de Paris
> 5 m.	Nagelfluh.			

Fig. 3. Classement sommaire de types de stratification groupés par provinces. Les strates sont caractérisées par leur épaisseur et par leur lithologie.

On considérera 3 groupes, suivant les proportions de strates – interstrates, à savoir (pour des flysch et pseudoflysch)

- A. Il y a plus de clastiques (grès ou calcaires) que de schistes.
- B. Il y a autant de clastiques que de schistes.
- C. Il y a moins de clastiques que de schistes.

Le rapport de strates et interstrates s'exprime par le Clastic/shale ratio des auteurs américains.

Deux termes extrêmes se présentent alors: le premier lorsque la série est entièrement formée de strates (interstrates réduites à des pellicules: molasses massives, calcaires massifs), le second lorsque prédomine l'élément schisteux-résiduel des interstrates. Mais on ne peut plus parler d'interstrates.

2) D'après les lithofaciès:

Tous les principaux types de roches sédimentaires peuvent se trouver dans une série stratifiée. Mais les strates ainsi formées se classent de manières différentes, car les unes seront entièrement formées du même lithofaciès (strates monogéniques), d'autres auront plusieurs lithofaciès successifs dans la même strate (strates polygéniques). Dans les séries de strates monogéniques, le lithofaciès peut varier d'une strate à l'autre suivant un ordre séquentiel ou sans suite logique. Il en est de même à l'intérieur d'une même strate ou plusieurs lithofaciès se succèdent ou sont juxtaposés suivant des textures très variées.

Une classification génétique n'est pas envisagée pour le moment, mais on en prévoit les bases. Ce domaine est encore inexploré et mérite d'être développé. Je pense que pour l'instant il ne peut pas conduire à des conclusions majeures car, pour autant qu'on le sache à ce jour, la stratification n'est qu'un aspect accessoire du processus entier de la mise en strates.

Tels sont, sur le plan descriptif et résumés, les caractéristiques des strates, des interstrates et de la stratification.

Toute tentative d'explication devra, si imparfaite qu'elle soit, tenir compte du caractère rythmique des bancs et des interbancs, de l'indépendance de la stratification et de la composition pétrographique des strates, de son universalité, de sa persistance dans toute la durée des périodes sédimentaires, de son adaptation aux diverses provinces paléogéographiques et en particulier de son adaptation au cadre paléotectonique.

La mise en strates

Pour simplifier les bases et prémisses d'une explication de la stratification, on partira des exemples les plus simples et les plus clairs. Ce sont ceux que présentent les flysch. Le fait qu'ils sont formés de détritiques minéraux et organiques aussi bien que de calcaires permettent d'extrapoler l'effet des agents de leur formation et de les appliquer à d'autres sédiments dont le comportement est analogue ou parfois plus obscur à déchiffrer.

Pesanteur

Le facteur permanent et universel qui nous a paru le plus important dans la mise en place stratifiée des sédiments est la pesanteur. Son effet sur la formation des turbidites est démontré dans l'impressionnante série de travaux issus des hypothèses proposées par Ph. H. KUENEN et ses élèves (bibliographie in *Turbidity currents 1951* et *Turbidites* par A. H. BOUMA et A. BROUWER, 1964).

Dans une série de publications, j'ai cherché à montrer que les turbidites sont un cas particulier de la mise en place des sédiments lourds ou rendus pesants par leur dépôt en masses. (LOMBARD 1963). Sous l'effet prolongé de la gravité, les sédiments s'étalent en strates pendant des périodes d'activité. Ces périodes sont séparées par des phases passives de la sédimentation pendant lesquelles se déposent des résidus en interstrates minces.

Ainsi s'explique non seulement la stratification du flysch mais celle des pseudo-flysch et des séries formées dans des bassins mobiles de bordures géosynclinales ou intracratoniques.

Rythmes sous l'effet de pesanteur

Il faut alors expliquer pourquoi strates et interstrates se succèdent suivant un mouvement quasi-pendulaire, bien qu'avec des variations dans l'épaisseur et dans la composition des strates et des joints.

La composition varie indépendamment de la mise en strates et pour simplifier, nous supposerons un instant que le matériel est monogénique, du sable propre par exemple.

Dans la zone d'alimentation, près du littoral et sur la bordure d'une plateforme, le sédiment s'accumule.

Une phase active se déclenche dès que la masse en réserve est trop abondante ou plus précisément dès que son seuil de cohésion est dépassé. L'accumulation provenant des sources (continentales ou littorales) est active. La réserve de sédiment s'accroît, s'épaissit, mais jusqu'à un seuil d'équilibre. Lorsque cette limite est dépassée, le sédiment se cisaille, glisse et part en masse. La masse est déterminée par :

- le volume du sédiment,
- la granulométrie du dépôt, surtout celle des fins,
- l'eau des pores et sa pression,
- l'angle de frottement interne ou cohésion,
- la pente du fond déformée tectoniquement, (c'est un effet partiel de la subsidence),
- la vitesse d'alimentation qui crée des surcharges locales,
- les transports littoraux qui répartissent ces excédents,
- des érosions locales ou des aires de non-déposition qui créent des zones de sous-pressions,
- des actions mécaniques accidentelles (séismes, érosions linéaires, canyons, chenaux).

Des recherches récentes sur la cohésion des sédiments littoraux (C. W. HOLMES et H. G. GOODELL) montrent que parmi les facteurs cités, les principaux qui interviennent sont : la teneur en eau qui diminue la cohésion lorsque sa teneur augmente ; la profondeur du sédiment sous sa propre couverture et le rapport kaolinite/illite. Lorsque ce rapport augmente, la résistance du sédiment s'accroît également.

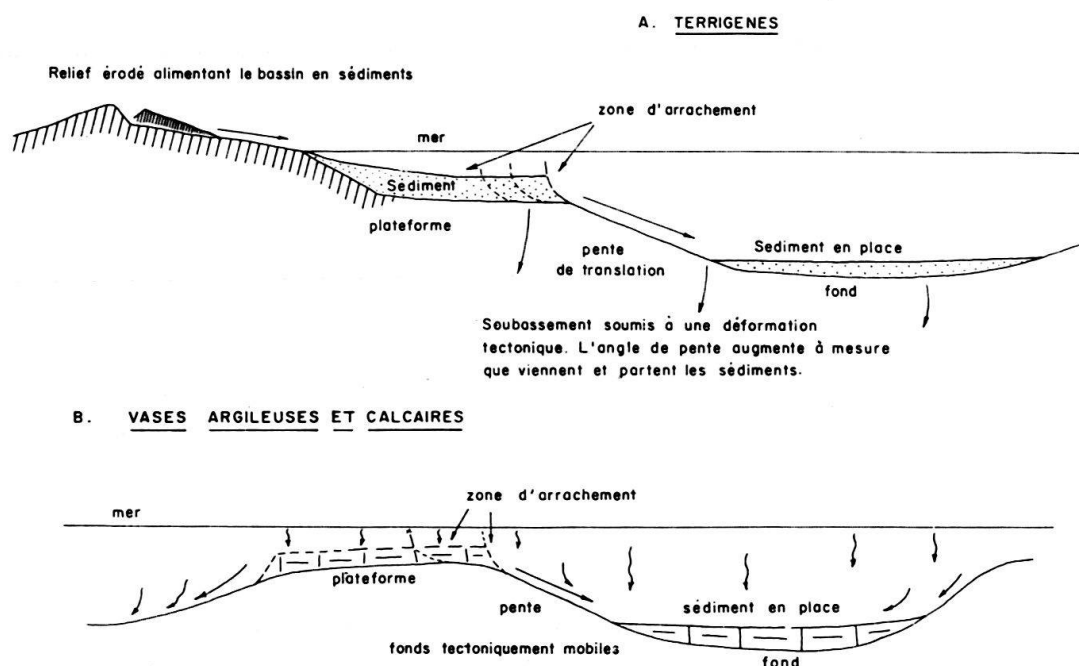


Fig. 4. Schéma du déclenchement rythmique de la stratification.

Comme facteurs secondaires, il intervient encore le diamètre moyen du grain, le degré de classement et le rapport des vides.

La périodicité des dépôts de masses actives est réglée par l'évolution plus ou moins rapide des facteurs énumérés ci-dessus, en particulier par le dépassement répété du seuil de frottement interne des dépôts.

Après la période d'accumulation, il intervient une période de transport. Celle-ci est nécessaire pour qu'il y ait mise en strates distinctes. C'est alors que se différencient les diverses structures de litage dans les turbidites, les laminites et les allodapites (cf. BOUMA, 1964).

Dans le premier cas, des masses épaisses, sur une pente forte et formées de matériel grossier vont partir en turbidites. Alors que des sédiments fins, stratifiés en laminites sont accumulés plus lentement en milieu tectoniquement tranquille vont s'espacer, ou se répandre en nappes qui progressent plus lentement. Ce sont des semi-suspensions lourdes qui rampent sur les fonds.

Effets du transport

Il paraît démontré par quelques exemples très nets que la mise en strate est un des effets du déplacement des sédiments. On peut retourner la proposition et poser que le transport de sédiments suivant ce mécanisme d'écoulement a pour conséquence première de disposer le matériel actif en strates. Au cours du transfert, le litage se marque dans la strate avec tous ses caractères de granoclassement, laminations et passées accidentelles diverses. Ils dépendent du mode de transport, du matériel et de ses propriétés géotechniques, de la pente (tectoniquement mobile souple ou plane), de la densité et de la plasticité de la coulée, du fond et de son relief, de l'eau ambiante et de ses mouvements. La coulée s'étale sur le fond, surmontée de nuages de suspensoïdes. Épaisseurs et fréquence des strates dans une série sont donc fonction de facteurs géomécaniques de stabilité, glissement, écoulement et de la distance parcourue (cf. MEISCHNER, fig. 2 B).

C'est au cours du transport que s'élaborent les turbidites, les allodapites calcaires et les laminites; les premières sont rapides, massives et lourdes alors que les autres sont transportées suivant un processus fractionné et plus lent, tout au moins dans son ensemble. Le matériel est semi-suspendu ou suspendu. Il y a de nombreux termes de passage d'un type à l'autre. Plus la distance est grande, plus la stratification est distincte. Inversement, un dépôt sur place est caractérisé par l'absence de strates ou par la forte épaisseur des couches. L'exemple du bassin d'Annot (STANLEY D. J., 1961) est démonstratif, celui du flysch ultra-helvétique également. Dans des séries calcaires (Avonien, près de Swansea), on fait la même constatation: plus on s'éloigne des sources, mieux la stratification est marquée (MEISCHNER, 1964). Dans le bassin salin de Mulhouse où se sont déposées des évaporites sur place, il n'y a pas de stratification mais uniquement une succession rythmique et séquentielle de litage.

Le transport des turbidites est rapide, massif et bref, alors que celui qui donnera les laminites et de nombreuses séries argileuses ou calcaires sera fractionné, repris, déposé puis transporté plus loin avant de se déposer définitivement. C'est une somme de reprises peut-être saccadées et rapides dans le détail mais lentes pour l'ensemble de toute la phase active.

Au-delà de la région des transports, il n'y a plus de phases actives et la série sédimentaire est résiduelle, entièrement passive et sans stratification.

Arrêt du transport

Il arrive un point où le sédiment ne peut plus se propager sous l'effet de la pesanteur seule. Le mélange est parvenu dans la région où la pente du fond est nulle; l'horizontalité et la planéité sont rétablies. C'est alors que se marque la fin de la phase active. La strate cesse de se former et sa surface supérieure est une figure d'équilibre. Les apports par écoulement de gravité ayant cessé de se propager, la sédimentation entre dans une phase passive et le matériel résiduel de l'interstrate se dépose seul. Entre les deux phases, il y a souvent des hiatus, des lacunes mineures, des érosions ou des dissolutions.

Le rythme de la stratification des séries très fluentes est réglé par un équilibre temporaire entre la surface de la strate et l'horizontale. Une reprise de la phase active suivante ne se reproduira que lorsqu'une nouvelle pente se sera formée sous l'action de la subsidence ou du basculement tectonique du fond.

Reprise et poursuite du transport

L'aire de dépôt d'un sédiment est non seulement fonction de la pente mais de la granulométrie de ce sédiment. Au cours d'une phase active et pendant le transport, il s'opère un classement granulométrique. Le matériel plus grossier rampe au fond et progresse par gravité. Le matériel plus fin poursuivra sa route en semi-suspension ou en suspension, transporté par l'eau en mouvement. C'est alors que se forment les structures de litages successives dans la strate (fig. 5) On voit la partie homogène suivie de laminites planes-parallèles, obliques et onduleuses, dans un matériel de plus en plus fin qui annonce la phase passive et marque l'épuisement du stock sédimentaire de la phase active.

Fin du transport. Dépôt.

Cette fin du transport dont il vient d'être question est due à l'arrivée du sédiment sur une plaine ou sur une contre-pente. Les strates seront effilées. Le matériel peut également arriver dans un bassin, ou suivre un sillon dont la forme concave joue alors le rôle de trappe à sédiment.

Les strates sont lenticulaires, d'extension limitée à la forme du bassin. Si la subsidence est forte, les couches seront épaisses, sans interstrates résiduelles. La sédimentation n'a pas le temps de rétablir le niveau d'équilibre car une nouvelle phase active s'étale sur le fond.

Si le transport est court, les turbidites sont déversées en vrac et mal granoclassées. Les interstrates sont minces. Lorsque le transport est long, les phases actives deviennent plus rares, plus minces et la masse de fond résiduelle est beaucoup plus épaisse que le matériel des strates. Avec de très longues distances de transport, les interstrates ont passé de joints épais à une masse prédominante résiduelle (MEISCHNER, 1964, fig. 2, B).

Le sédiment arrête de se propager car la lame sédimentaire a atteint une horizontalité qui la condamne à l'immobilisme. Elle est statiquement en équilibre sur le fond.

Résumons: Une phase active de stratification représentée par une strate apparaît ainsi comme une unité d'apport, formée de matériel provenant d'un littoral ou de hauts fonds, de crêtes ou de seuils. Elle est mise en strates par déclenchements et transports périodiques et se dépose à la suite d'une certaine translation. Ce transfert fait parvenir du matériel peu profond (littoral, terrigène ou marin) à des profondeurs plus grandes parfois considérables. Dans d'autres aires, avec des vases très fluentes, l'étalement s'opère sur des pentes très faibles mais sur de grandes étendues (Aires de plateformes et de boucliers). Le contrôle tectonique s'exerce sur les agents suivants: une alimentation terrigène activée par un relief rajeuni, une pente instable de la plateforme et des talus et un déséquilibre entre l'écoulement et la forme de la surface de dépôt ultime.

Phases passives

Ceci nous conduit à parler des phases passives, au cours desquelles se déposent les interstrates (ou interbanes).

Leur matériel, présente un caractère double: autochtone (ou presque pas transporté) et résiduel.

Ce sont le plus souvent des silts ou des colloïdes noirs, azoïques, à flore remaniée (hachis végétal) ou à faune marine appauvrie, planctonique. Lorsqu'il y a des calcaires, ils sont impurs. La faune est benthique. Les fossiles sont remaniés ou dissouts (HOLLMANN, 1964). Il faut voir dans ces résidus la lente déposition du «voile de lutites» en suspension dans l'eau, les résidus de remaniements et le transport fin. C'est un dépôt pélagique continu qu'interrompent les phases actives.

Sédimentation argileuse passive de joints en couches épaisses

Il existe une série de cas de stratification alternante qui sont délicats à expliquer. Ils ont été évoqués plus haut et se présentent surtout dans les séries de la sédimentation calcaire et argilo-calcaire (MILLOT, 1964, p. 230). Dans les séries où le caractère de joint est affirmé, il s'agit de phases de ralentissement des apports calcaires, détritiques ou chimiques. La matière du joint est une constante pour un lithotope donné (B. MAMET, 1964, p. 38). Le dépôt est comparable à un «bruit de fond» sur lequel viendraient s'ajouter les phases positives et actives de sédimentation calcaire (détritique ou chimique).

Par contre cette explication ne paraît pas s'appliquer aux cas où les sédiments argileux entre strates actives sont plus épais et manifestement chargés d'éléments détritiques allogènes: quartz, débris roulés d'organismes, textures litées, faiblement granoclassées et limitées à la base par une surface nette de discontinuité. Ces argiles, leurs impuretés et leurs textures se présentent comme un terrigène à comportement actif ou actif-restreint. L'origine est terrigène lointaine ou peut être celle d'un sédiment remanié et resédimenté. On les trouve à la base de séquences positives argiles → marnes → calcaires.

Les deux interprétations (allochtonie et autochtonie) sont possibles et seule une analyse très fine de tous les critères du dépôt peut conduire à une solution.

Mise en strates de divers sédiments.

L'explication du processus de mise en strates a été démontrée à partir de formations sableuses. D'autres sédiments entrent évidemment en ligne de compte et sont également stratifiés. Ils le seront en fonction de leurs propriétés géotechniques, qui dépendent en particulier de leur granulométrie, du classement, de la présence de matériel fin, de la teneur en eau de pores, ce qui finalement détermine la cohésion et l'extension des phases actives sur les fonds.

Les conglomérats restent en strates massives près des sources mais se stratifient dès que la présence d'un ciment plastique ou fluent les englobe. On explique également par ces facteurs la relation entre épaisseur des strates et diamètre moyen des grains.

Les calcaires obéissent également à la pesanteur mais sous des formes qui sont très différentes suivant leur texture. Lorsqu'ils sont détritiques ou bio-clastiques, on peut les assimiler à des sédiments détritiques minéraux. (Exemple: Hauterivien helvétique en petits bancs réglés, brèches de récifs bahamiens.) Si par contre, ce sont des lutites, la pâte saturée d'eau se comporte comme un fluide et possèdera une faculté de se propager sur de vastes surfaces. Elles en moulent les moindres irrégularités et rétablissent en peu de temps la planéité du fond.

Les lutites peuvent être du calcaire précipité. Celui-ci sera soumis à la pesanteur à partir du moment où il se forme en cristaux puis en flocons qui se collectent en pâte fluente. Si le fond est creux ou plat, l'accumulation se fait sur place et sans mise en strates. Si par contre la couverture du plateau déborde de son socle, le matériel s'écoule et se met en strates. Sur une surface tectoniquement mobile, il y a mise en strate immédiate. L'épandage s'accomplit non seulement par la pesanteur mais avec l'action complémentaire des courants de l'eau. Le litage accuse nettement ces deux modes de mise en place, montrant des structures tour à tour massives ou laminées (Dinantien et Avonien gallo-belges).

Les aires de dépôt primaire de ces calcaires ne sont pas côtières mais peuvent se situer sur une ride, un haut fond ou un seuil.

Les marnes et argiles se comportent de même. Toutefois, leur cohésion devient quasi-nulle dès qu'elles floculent et se déposent. Elles s'écoulent à mesure, ne se stratifient que très rarement et ne le font que dans des conditions très particulières (diagenèses précoces). Elles se litent surtout.

Les cyclothèmes du charbon présentent des couches variées et distinctes qui sont rarement stratifiées. Elles sont simplement superposées, car leur transport est minime. Lorsque la stratification apparaît, c'est précisément l'indice que le sédiment s'est d'abord déposé puis s'est ensuite répandu, comme c'est le cas dans les couches du Mid-Continent aux E. U.

Strates et interstrates.

Les relations entre strates et interstrates prennent une grande importance. On l'avait observé jusqu'ici dans les flysch où les strates étaient formées de matériel cò-

tier, déplacé et allochtone par rapport au matériel d'interstrate qui est le dépôt autochtone, profond et résiduel. A ce titre, le flysch est un des exemples les plus clairs et les plus simples à étudier.

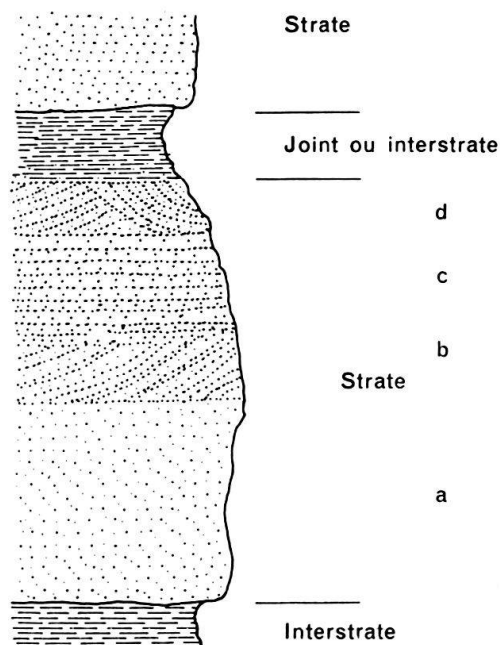


Fig. 5. Strate et interstrate (joints) dans un flysch (série gréseuse du Schlieren, Paléocène, Ultra-helvétique).

La *strate* correspond à une phase active d'apports allochtones sédimentaires. Dans ce cas, ce sont des détritiques de diamètre moyen; ce pourrait être un autre type de sédiments: silts, ou calcaires. Divers modes de transport du sédiment se sont nettement enregistrés dans la granulométrie et les textures.

La partie a) représente l'écoulement massif fluent. La pesanteur domine;

en b) l'eau agit et l'emporte sur la gravité; il se crée de fines laminites obliques;

en c) l'eau sélectionne les grains par traction et forme les laminites planes parallèles. Le transport par un courant sur le fond domine;

en d) retour du régime b, soit parce que la grain est plus fin, soit que la tranche d'eau est plus mince et plus active.

L'*Interstrate* se dépose au cours de la sédimentation passive et autochtone d'éléments très fins en suspension, avec des faunes et des flores océanogènes souvent reliques ou remaniées. Elle peut se réduire à une simple surface ou à un enduit lorsque l'intervalle est trop bref entre des phases actives ou qu'il y a eu érosion.

L'extension que je propose au processus d'étalement garde toute sa signification dans les séries non-flysch et stratifiées, en particulier pour les sédiments calcaires.

Les strates sont en effet du sédiment allochtone par rapport à celui des interstrates. Plus la différence est grande entre les deux phases, plus lointaine est l'origine du calcaire des strates par rapport au matériel résiduel du joint.

Il est donc de toute importance d'observer les surfaces limites (inférieure et supérieure) d'une strate calcaire qui la séparent des interstrates car elles complètent les données du litage sur la provenance du calcaire de la strate.

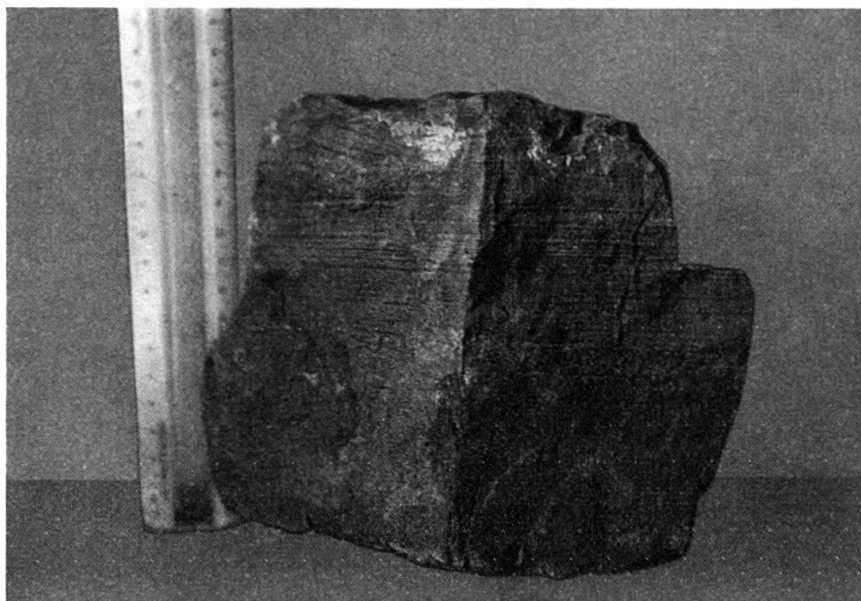


Fig. 6. Echantillon de strate du flysch du Schlieren, correspondant à la description de la figure 5.

Une exception: le cas des alternances marno-calcaires.

On ne peut séparer ce qui précède de la formation si frappante des alternances parfaitement symétriques et apolaires de marnes et calcaires (Séquanien du Jura, Lias moyen des Basses Alpes, Crétacé moyen de Provence). Strates et interstrates passent verticalement de l'une à l'autre sans séparation nette. Il s'agit ici de sédimentation rythmique et chimique autochtone qui simule une stratification. Ces phases d'alternances se situent dans les périodes de passage d'une sédimentation argileuse à une sédimentation calcaire. Il doit intervenir des phénomènes d'équilibres entre colloïdes flocculants, colloïdes protecteurs et ions dissouts. Ces équilibres sont rompus périodiquement.

Il faut renoncer, dans ce cas, à expliquer ces rythmes par le mécanisme proposé ici même pour la mise en strate. Ces déséquilibres périodiques d'ordre colloïdal sont peut-être commandés par des conditions particulières de température et d'état chimique de l'eau de mer. Ce ne sont pas des rythmes climatiques.

Influence du matériel sédimentaire sur la mise en strates.

L'étude de nombreuses séries sédimentaires montre que la mise en strates s'opère sur n'importe quel matériel qui se dépose en excès et se met à glisser.

Si la matière est monogénique, elle s'écoule selon un processus simple. Si par contre, elle est hétérogène ou qu'elle se reclassifie en cours de transport à la suite de remaniements, on assiste à un nouveau groupement par lithologies avant le dépôt ultime. Si ce classement se fait à un rythme plus lent que celui de la mise en strate, il se forme des couches monogéniques et si le rythme est plus rapide on aura des couches polygéniques; plus rarement, il s'opère un rythme égal à la mise en strate et dans ce cas, il se dépose un lithofaciès par strate.

La théorie géotechnique face aux autres théories de la stratification.

L'hypothèse ici proposée de la mise en strates suivant un mécanisme géotechnique a été soumise à des observations critiques depuis plusieurs années et m'a paru rendre compte dans une très large part des phénomènes observables. D'autres auteurs ont vu dans la stratification un effet du climat, de changements de profondeur, de l'action de courants tantôt actifs, tantôt atténués, d'organismes ou de tempêtes. Pour BARREL, c'était un niveau de base de l'action des vagues marines. Il ne peut être question ici de revenir sur chacune de ces théories et de les confronter. On remarquera cependant que les auteurs ont chaque fois confondu le phénomène de la stratification avec celui du litage et avec celui de la composition lithologique de ces deux types de textures. Il est nécessaire de séparer ces notions pour une meilleure compréhension des mécanismes de la sédimentation. Et l'on ne peut contester que les facteurs proposés n'aient une influence sur la composition ou la genèse des sédiments. Elle est toutefois limitée et accidentelle. La stratification est un mécanisme différent, autonome et indépendant de ceux du litage; il ne saurait leur être assimilé. En ramenant la mise en strates à un processus indépendant, fonction de la cohésion du sédiment, de sa fluidité, de la pente et de sa déformation et de la forme des fonds, on ramène cette mise en strates à des mécanismes déjà valables et démontrés pour les roches détritiques et biodétritiques; on peut l'assimiler aux phénomènes terrestres de solifluxion, d'éboulis et d'épandages d'alluvions dans les plaines et les deltas. On entrevoit par là-même l'application de méthodes quantitatives, théoriques, expérimentales et statistiques pour préciser les conditions des agents de production et de dépôt des aires anciennes.

On pourra objecter que cette théorie met en cause des mécanismes et des formations que l'on ne peut reproduire expérimentalement. Je pense que la remarque est juste mais il s'agit d'un des phénomènes qui se déroulent à l'échelle géologique et il n'est pas question de les reproduire pour l'instant, sinon en faisant intervenir des facteurs de réduction.

Il est par contre possible d'observer en quelques endroits privilégiés la stratification de dépôts récents ou subrécents (deltas soulevés, épandages subdésertiques, playas, etc.). La mise en state s'opère selon notre hypothèse, compte tenu du matériel grossier à angle de frottement élevé et du milieu subaérien presque sec dans lequel se déroule la mise en strates.

La stratification, reflet des conditions tectoniques.

La stratification interprétée selon cette hypothèse devient un des critères qui permettent de reconstituer un des aspects du milieu de dépôt sédimentaire. Suivant l'épaisseur, la fréquence et la forme des strates et d'après leur variation en verticale ou en horizontale, on dispose d'un élément de plus à combiner avec la lithologie et la faune. Ses données sont complémentaires.

Quelques exemples permettent d'illustrer les relations qui existent entre le type de stratification (qu'on ne peut guère séparer du matériel lithologique qui le constitue) et le style tectonique de l'aire considérée.

La figure 7 montre ce qu'est un dépôt rapide de matériel sec qui s'est sédimenté sans transport. Ce sont des cinérites accumulées dans la région de l'Eifel. Ces pyro-



Fig. 7. Tufs cinéritiques lités. Laacher see. Eifel. Le dépôt résulte de retombées cinéritiques sur place. Seul, le litage s'est marqué. Milieu subaérien.

clastiques ont été expulsés à grande altitude. Leur retombée s'est faite dans l'air et sur un long trajet, au cours duquel ils se sont classés. Parvenus au sol, ils n'ont plus subi de transport et se sont lités sur place, dans la partie centrale du bassin.

Si l'on observe ces mêmes dépôts en bordure du bassin, sur des pentes, la stratification apparaît en gros ensembles avec du litage oblique. Il y a eu transport local par l'eau de ruissellement et écoulement de gravité.

La figure 8 est prise aux Baux, dans la masse crétacée. Ce furent de vastes plaines marines ouvertes et couvertes d'un épais manteau de boues calcaires très fluentes. Les déformations du fond, s'il y en a, ont dû avoir de grands rayons de courbure qui n'ont jamais cloisonné le fond en bassins. L'accumulation s'est faite sur place et sans transport ni écoulements. La période est atectonique et il n'est parvenu que des argiles très diffuses et ténues.

Si l'on se déplace maintenant dans le domaine jurassien pendant une autre période calcaire (fig. 9), on verra combien change la stratification, même en milieu calcaire atectonique. Les fonds sont plus mobiles ce qui contrarie la sédimentation et la mise en place du calcaire. Les strates sont distinctes, limitées par des joints de matériel marno-calcaire résiduel. Ces phases de dépôt ralenti sont rares mais continues. Il n'y a pas d'interruption entre la strate et joint et le calcaire est le même en-dessus et en-dessous. Les strates sont épaisses et continues sur de très grandes distances.



Fig. 8. Calcaires massifs sans stratification distinctes. Les Baux. Faciès urgonien. Les diastèmes sont fréquents. La sédimentation est continue, montrant un dépôt monogénique sans transport, en milieu sous aquatique.

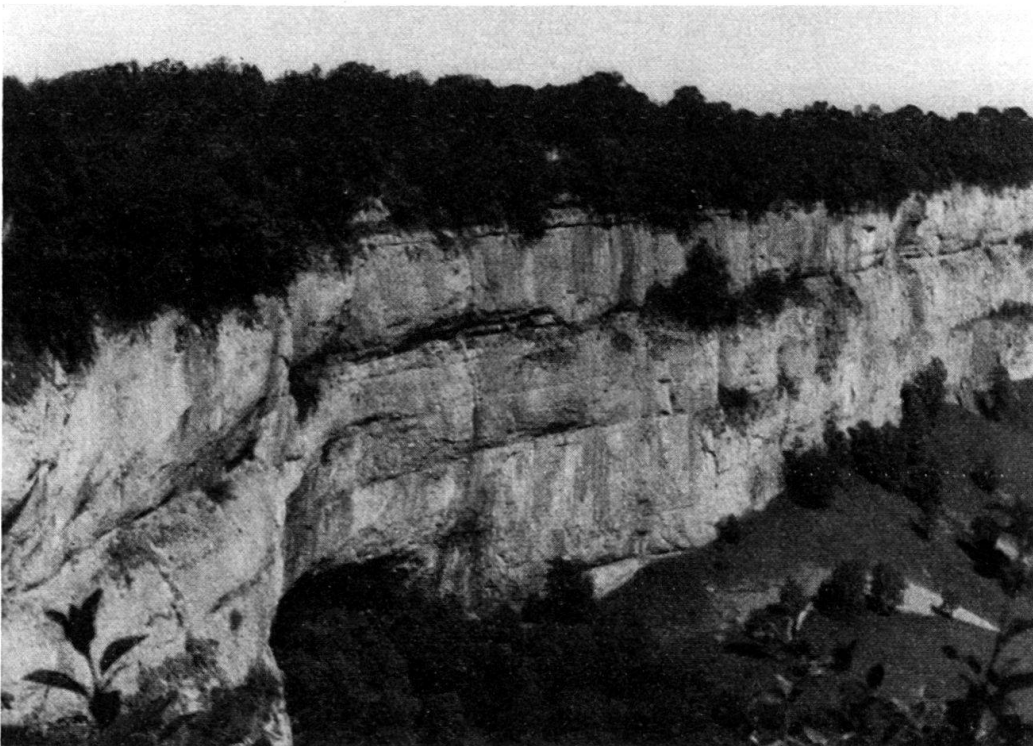


Fig. 9. Calcaires-lutites du Jurassique supérieur. Région de Poligny. Exemple de sédimentation calcaire sur une plateforme peu mobile, pendant une période sans apports terrigènes. Joints en marno-calcaires résiduels, entre des strates monogéniques. Faibles traces de transport de matériel très fin.

En milieu argileux, l'absence de stratification se marque aussi bien que dans les calcaires. Dans le centre de la fosse vocontienne au Jurassique moyen (fig. 10), l'accumulation se fait en milieu profond mais sans transport saccadé. Les sédiments pélitiques s'étalent à mesure à cause de leur grande fluidité. Temporairement, des dos se dessinent, que n'envahit pas la masse rampante des argiles et des silts. Du calcaire s'y dépose, chargé d'impuretés en formant des strates minces et peu étendues. Il n'y a pas de limite nette entre un sédiment et le suivant. Ces hauts fonds étaient peut-être des rides en voie de remontée.

En bordure de la fosse et dans ses parties plus mobiles, la stratification prend un autre caractère. On passe aux alternances marno-calcaires et à des séries nettement ordonnées en strates.

Pour ne pas allonger cette série, passons aux bassins orogéniques dont le fond est mobile au cours de la sédimentation.

Qu'il s'agisse de sédiments calcaires ou de détritiques fins et grossiers, la stratification change de style. Strates et interstrates sont distincts, ce que montre la figure 11. Le matériel est très fin et s'écoule en nappes minces sur un fond incliné. Ce type de laminites est souvent difficile à diviser en strates et lits; il y a convergence des deux genres de dépôts. On les verra évoluer en passant de Zarraus à St. Jean de Luz et Hendaye, suivant la morphologie de bassin.

Enfin, la figure 12 donne une stratification bien marquée de turbidites et de laminites. C'est le style bien caractérisé de l'Ultrahelvétique bordier. Dans cette coupe de Zollhaus, on voit une multistrate dont la base est une turbidite et la suite en laminites. Les interstrates sont toujours très accentuées et augmentent en importance vers le haut. De son côté, l'épaisseur des strates s'amenuise car le stock de grès s'épuise et la pente diminue à mesure qu'elle est compensée par la sédimentation. La multistrate suivante se voit à gauche de la photo et fait suite à la précédente avec le même style.

La stratification est une image des facteurs tectoniques déformant un bassin car elle est fonction de la forme du fond, de sa variation et de la vitesse de subsidence, de la distance des sources de sédiments, de l'intensité de l'alimentation. Faut-il préciser que dans aucun des cas envisagés et expliqués par le mécanisme de gravité, je n'envisage une relation directe de la mise en strate à un mouvement tectonique. Le schéma qui consisterait à voir que chaque cyclothème ou chaque strate ou même une séquence-multistrate correspond à un mouvement du soubassement ne se défend pas. *La sédimentation répond par rythmes à des sollicitations tectoniques qui sont continues et pas nécessairement saccadées*, dirigées soit vers le haut, soit vers le bas.

Elle n'est influencée ne par le climat ni par la profondeur. Ce dernier fait est illustré par l'exemple publié par DE RAAF (1964) sur des laminites et des turbidites oligocènes en Espagne du Nord. Ces formations finement stratifiées portent d'évidentes preuves de leur faible profondeur. Leur mise en strate, sous faible tranche d'eau, s'est effectuée en milieu mobile de vagues et courants, par étalement de matériaux fins, remaniés et déplacés loin de leur origine. Les illustrations et la description de la formation (cf. également MANGIN 1959-61) suggèrent une molasse qui s'apparente à celle de synclinaux périphériques du domaine subalpin. Ces quelques réflexions critiques et l'hypothèse sur la mise en strate des couches sédimentaires



Fig. 10. Terres noires, Jurassique moyen. Environs de Gap (H. A.). Sédimentation résiduelle active; dépôts argileux prépondérants. De rares rémissions de formations argileuses laissent la formation de calcaire se déposer, probablement sur des reliefs à grand rayon de courbure, non atteints par les sédiments denses du fond.



Fig. 11. Mioflysch crétacé supérieur. Zarraus, Espagne. L'éloignement des sources de sédiment et la fluidité des vases lutitiques et calcaires sont à l'origine de l'allure typique de ce flysch. Les laminites prédominent dans cet ensemble. On hésite à distinguer la stratification du litage.

peuvent apporter un complément à l'étude des séries sédimentaires. Elles ont été écrites sous une forme résumée et doivent être confirmées. Je rappelle cependant que j'ai apporté de nombreux arguments et des observations systématiques dans plusieurs publications qu'il m'a paru superflu de rappeler ici.

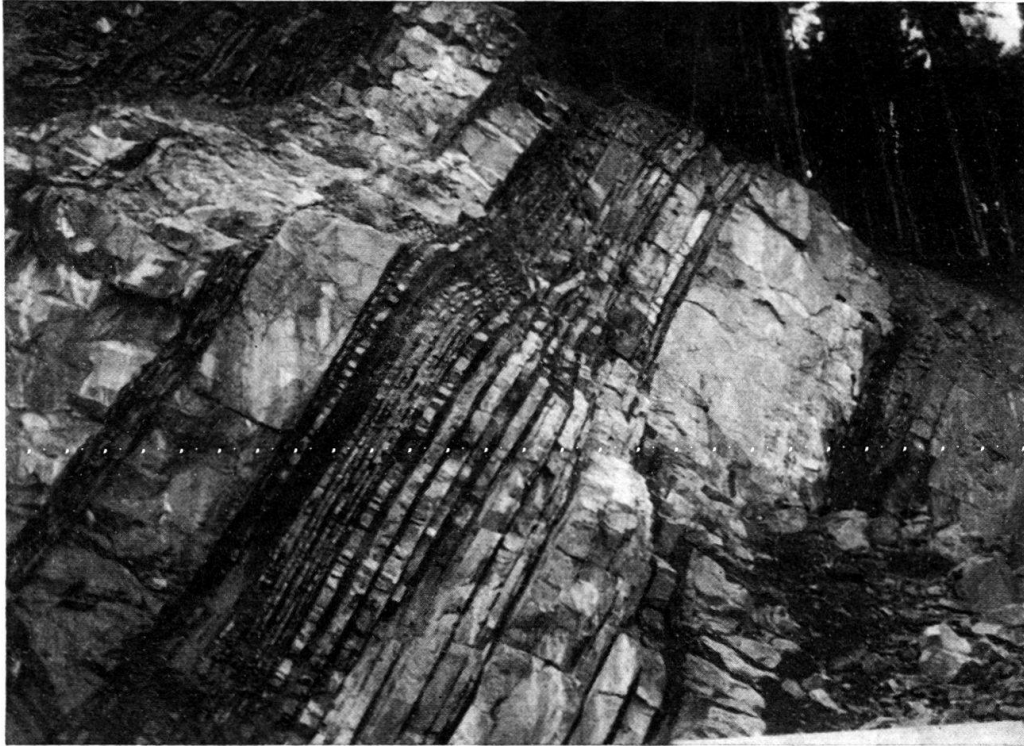


Fig. 12. Euflysch; Paléocène. Zollhaus p. Fribourg. Développement de la stratification des phases actives en grès moyen. Rythmes d'épaisseurs formant ici une multistrata dont la base est une strate épaisse de turbidite. Plus haut, laminites de grès fin. Sources de sédiment proches, alimentation active par séries décroissantes de volume. La réserve de sédiments littoraux ne s'est pas épuisée en une fois au départ; elle s'est mise en strates par suite du transport sur un trajet assez long et sur un fond mobile. Il a fallu un certain nombre de mises en strates pour rétablir l'équilibre.

Postface

J'apporte cette contribution aux travaux que rédigent dans ce volume les amis et les élèves du professeur CADISCH. Que ce dernier trouve dans ces lignes un hommage de déférente admiration.

ADDENDUM

Ce n'est qu'en cours d'impression que j'ai eu connaissance des travaux du prof. L. Contescu sur la stratonomie des séries de flysch et de marnes-lutites de Roumanie. J'ai bien involontairement omis de mentionner les catégories de flysch qu'il a établies parallèlement aux miennes (1964, Ann. Soc. géol. de Pologne, V. 34, f. 3.) et de manière indépendante.

Les observations très détaillées de l'Aptien de Pietrosita (1962, Rev. géol. et géogr., T. VI, No 1) montrent ici encore l'indépendance des processus du litage de celui de la mise en strates. Au cours de premier litage, plusieurs pulsations succes-

sives expliquent une gradation multiple (répétitive). On peut reconnaître deux types de courants: le premier est puissant et transporteur; il forme le strate. Le second est plus faible et moins chargé; il est «satellite» du premier. L'auteur ne précise pas quel est l'agent des courants: eau courante, pesanteur ou les deux. Le rôle du shelf en tant que zone d'entrepôt est également évoqué à plusieurs reprises. Je devais cette mise au point envers l'auteur. La priorité de ses publications sur la mienne est acquise.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDREE, K. (1915): *Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung*. Geol. Rundschau. 6, 351-397.
- BARREL, J. (1917): *Rhythmus and the measurement of geologic time*. Bull. geol. Soc. Amer. 28, 745-904.
- BERSIER, A. (1946): *Sédimentation molassique: variations latérales et horizons continus à l'Oligocène*. Eclogae geol. Helv. 38/2.
- BOUMA, A. H. et BROUWER, A. (1964): *Turbidites. Developments in sedimentology*. Elsevier, Amsterdam, London, New York.
- BOUMA, A. H. (1962): *Sedimentology of some Flysch deposits*. Elsevier, Amsterdam. 168 pp.
- DE RAAF, J. F. M. (1964): *The occurrence of flute casts and pseudomorphs after salt crystals in the Oligocene «grès à ripple marks» of the southern Pyrenees*. Developments in sedimentology 3-Turbidites p. 192. Elsevier Amsterdam.
- DUNBAR, C. O. and RODGERS, J. (1957): *Principles of Stratigraphy*. Wiley & S. New York.
- HOLLMANN, R. (1964): *Subsolutions - Fragmente*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 119/1, 22-82.
- HOLMES, C. W. and GOODDELL, M. G. (1964): *The prediction of strength in the sediments of St. Andrews Bay, Florida*. Journ. Sedim. Petrology. 34/1. March. pp. 134-143.
- KUENEN, PH. et MIGLIORINI, C. I. (1950): *Turbidity currents as a cause of graded bedding*. J. geol. V. 58, 91-127.
- KUENEN, PH. H. (1964): *Deep-sea sands and ancient turbidites*. Developments in sedimentology. 3-Turbidites. Elsevier, Amsterdam.
- LOMBARD, AUG. (1963): *Laminites: a structure of flysch-type sediments*. Journ. Sedimentary Petrology. 33/1, pp. 14-22. March.
- (1956): *Géologie sédimentaire*. 800 p. Liège.
 - (1963): *Stratonomie des séries du flysch*. Eclogae geol. Helv. 56/2, 482-511.
- MCKEE, E. D. and WEIR, G. W. (1953): *Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks*. Bull. geol. Soc. Amer. 64, 381-389.
- MAMET, B. (1964): *Sédimentologie des faciès «Marbres noirs» du Paléozoïque franco-belge*. Inst. Roy. Sc. Nat. Belgique. Mém. 151.
- MEISCHNER, K. D. (1964): *Allodapidische Kalke, Turbidite in riff-nahen Sedimentationsbecken*. Developments in Sedimentology, 3, p. 156-191.
- NALIVKIN, D. V. (1956): *Etude des faciès*. Trad. BRGM.
- PETTIJOHN, F. J. (1949): *Sedimentary rocks*. Harpers & Co New York.
- S. E. P. M. (1951): *Turbidity currents. A symposium*. Tulsa, Oklahoma.
- STANLEY, D. J. (1961): *Etudes sédimentologiques des grès d'Annot et de leurs équivalents latéraux*. Thèse. Université de Grenoble.
- STANLEY, D. J. et BOUMA, A. H. (1964): *Methodology and paleogeographic interpretation of flysch formation*. Developments in Sedimentology 3, p. 34-64.
- STRAKHOV, N. M. (1958): *Méthodes d'étude des roches sédimentaires*. Moscou. Trad. franç. B. R. G. M.
- TEN HAAF, E. (1959): *Graded beds of the Northern Apennines*. Thesis University of Groninge. 102 pp.
- TERCIER, J. (1947): *Le flysch dans la sédimentation alpine*. Eclogae geol. Helv. 40/2.
- TWENHOFEL, W. H. (1932): *Treatise on sedimentation*. London.
- VASSOEVICH, N. B. (1951): *Les conditions de la formations du flysch*. Leningrad. Traduction B.R.G.M. Edition originale, 1948.
- WALTHER, J. (1894): *Die Auflagerungsflächen und die Entstehung der Schichtung*. Einleitung in die Geologie. 3. Teil, pp. 620-641.

