

La science, les strates et le déluge *

Analyse des principes essentiels de la stratigraphie
sur la base de données expérimentales

par Guy Berthault **

Tout ce qui touche à la question des origines du monde est l'enjeu de discussions passionnées, du moins là où l'on dispose d'une certaine liberté de s'exprimer. En France, le dogme de l'évolution et la laïcité obligatoire de l'enseignement (maçonnique) empêchent ce débat. Ceux qui ne sont pas « scientifiquement corrects » sont impitoyablement rejetés dans les ténèbres extérieures.

C'est pourquoi, nous ouvrons parfois nos colonnes à de courageux chercheurs indépendants, afin de faire savoir que la réalité n'est peut-être pas si simple et univoque que dans les manuels scolaires et les revues dites scientifiques.

Aujourd'hui, nous proposons à nos lecteurs cet article de Guy Berthault. Étant donné le caractère assez technique de ce texte, nous l'avons fait précéder d'un avant-propos d'Yves Nourissat, qui a aussi ajouté quelques notes explicatives ¹.

La déontologie veut qu'une revue ne soit pas moralement responsable des opinions de ceux qui y écrivent. Une revue catholique comme la nôtre s'attache néanmoins à ce que rien n'y offense le dogme catholique. Mais, dans les questions purement scientifiques, nous n'engageons pas notre autorité, laissant aux lecteurs la faculté de juger par eux-mêmes. Si cet article conduit à un sain débat, souhaité par son auteur lui-même, nous en serons heureux ².

Le sel de la terre.

*

* — Le titre est de notre rédaction.

** — 28 Boulevard Thiers, 78250 Meulan, France. — Guy Berthault n'est pas inconnu de nos lecteurs : voir *Le Sel de la terre* 16, p. 55 ; *Le Sel de la terre* 20, p. 164 ; *Le Sel de la terre* 38, p. 218.

¹ — Il va sans dire que la publication de cet article ne signifie pas de notre part une approbation de l'appui que ces deux personnes ont pu apporter au CESHE (voir *Le Sel de la terre* 7, p. 204).

² — Ce débat a été amorcé dans *Le Sel de la terre* 20, p. 164 et sq.

Le présent document est la traduction d'une communication de Guy Berthault à l'Académie des sciences de Russie ¹. L'auteur est catholique pratiquant, ancien élève de l'École Polytechnique (promotion 1945). Dès sa jeunesse, il a pris conscience, comme beaucoup de chrétiens, des difficultés à concilier la Genèse biblique et certaines sciences, dont la géologie historique, en ce qui concerne l'âge de la terre et l'évolution supposée des espèces.

Parce que l'enseignement présente cette science comme un ensemble de dogmes absolus, beaucoup d'étudiants, futurs adultes responsables, tout comme de nombreux prêtres et théologiens, en viennent à relativiser, voire perdre, la foi. Guy Berthault a eu l'idée et l'audace de remettre en question la géologie historique en invoquant le précepte de Fénelon selon lequel « la plupart des erreurs des hommes ne tiennent point tant à ce qu'ils raisonnent mal à partir de principes vrais, mais plutôt qu'ils raisonnent juste à partir de principes faux ou de jugements inexacts. »

Il démontre, non seulement par le raisonnement, mais aussi par des expériences qu'il a menées d'abord en région parisienne, puis à l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille, et enfin au Laboratoire de Sédimentologie de Fort Collins au Colorado (États-Unis) que les principes sur lesquels a été fondée la géologie historique sont faux. Ces travaux ont été publiés dans les Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris, dans le Bulletin de la Société Géologique de France et, plus récemment, dans les Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Russie (dans le texte ci-dessous).

Pour l'essentiel, Guy Berthault relève que la stratigraphie a été fondée en 1667 par Nicolas Sténon en méconnaissance de la sédimentologie, et que c'est la connaissance des conditions de formation des sédiments, ignorée par les géologues, qui est indispensable à la détermination de la genèse véritable des roches sédimentaires : érosion, transport et sédimentation par le courant d'eau agent de la sédimentation. Ces conditions peuvent être déterminées au cours d'expériences à partir des relations entre les conditions hydrauliques et la formation des sédiments contemporains.

Considérant que l'échelle des temps géologiques attribuant à la terre un âge fabuleux ne représente pas la genèse sédimentaire qui a donné naissance aux roches ni dans l'étendue, ni dans le temps absolu, il appelle les savants à une refondation de la géologie qui infirme l'uniformitarisme ², restaure le catastrophisme ³ et la vérité historique du déluge de Noé, attestée par bien d'autres témoignages. On peut penser alors avoir démontré que les fossiles enfouis dans les roches sédimentaires ne se succèdent pas dans le temps verticalement et ne nécessitent pas de faire appel, pour expliquer leur présence, à l'hypothèse évolutionniste.

Yves Nourissat (X 61)

¹ — Geological Institute, Russian Academy of Sciences. L'article est paru dans le journal de l'Académie des sciences de Russie : *Lithology and Mineral Resources* Vol. 37, N° 5, 2002, p. 442-446.

² — Uniformitarisme : théorie selon laquelle les événements du passé ont toujours été semblables aux événements actuels.

³ — Catastrophisme : contrairement à l'uniformitarisme, cette théorie admet la possibilité de catastrophes dans le passé qui ont eu un caractère unique (par exemple le déluge).

*

Résumé : La stratigraphie qui est la base de la datation géologique, fut fondée au XVII^e siècle sur les trois principes bien connus postulés par Nicolas Sténon : superposition, continuité et horizontalité originelle. Des observations et des expériences successives montrent que le modèle stratigraphique de Sténon ne correspondait pas aux données expérimentales, parce qu'il avait « négligé » le facteur variable majeur de la sédimentologie : *le courant et ses effets chronologiques*.

On a réalisé des expériences simulant la formation de couches sédimentaires produites à des vitesses de courant variables à partir de particules de granulation inégale. Les résultats des expériences ont montré que la stratigraphie de Sténon ne peut être appliquée que dans le cas particulier de dépôt à une vitesse de courant nulle. La modélisation du processus de sédimentation et l'interrelation entre sédimentologie ¹, stratigraphie ² et datation géologique, permettent de considérer les conditions paléohydrauliques ³ comme la nouvelle approche de la datation géologique.

Introduction

NICOLAS STÉNON est le fondateur de la stratigraphie. C'est en 1667, dans son ouvrage *Canis Calchariae*, qu'il introduisit son postulat de base : les couches du sous-sol sont des *strates* d'anciens *sédiments* successifs. De cette interprétation partielle, Nicolas Sténon a tiré les trois principes initiaux de la stratigraphie, qu'il a formulés en 1669 dans son ouvrage *Prodromus*. A savoir :

1. Le principe de superposition : « Au temps où se formait l'une des strates les plus élevées, la strate inférieure [à elle] avait déjà acquis une consistance solide. Au temps où se formait une strate quelconque, la matière surincombante était tout entière fluide, et, de ce fait, au temps où se formait la strate la plus basse, aucune des strates supérieures n'existait. »

2. Le principe de continuité : « Les strates sont redevables aux sédiments d'un fluide. Au temps où se formait une strate quelconque, ou bien elle était circonscrite sur ses côtés par un autre corps solide, ou bien elle couvrait tout le globe de la terre. D'où il s'ensuit qu'en quelque lieu que ce soit où l'on observe les côtés nus des strates, il y a lieu, ou bien de rechercher la continuation de ces mêmes strates, ou bien de trouver cet autre corps solide, qui a retenu la matière des strates en l'empêchant de se répandre en coulant. »

¹ — Étude des sédiments (dépôts formés par la précipitation de substances en suspension dans un liquide).

² — Partie de la géologie consacrée à l'étude des strates (couches parallèles) constitutives des terrains.

³ — Paléohydraulogie : partie de la géologie qui étudie les couches de l'écorce terrestre en vue d'établir l'ordre normal de superposition et l'âge relatif.

3. Le principe d'horizontalité originelle : « Au temps où se formait une strate quelconque, sa surface inférieure, comme aussi les surfaces de ses flancs, correspondaient aux surfaces du corps sous-jacent et des corps latéraux, mais sa surface supérieure était [alors] parallèle à l'horizon, autant qu'il était possible. De ce fait, excepté la plus basse, toutes les strates étaient contenues [entre] deux plans parallèles à l'horizon. D'où il suit que les strates, tant perpendiculaires à l'horizon qu'inclinées sur lui, en un autre temps ont été parallèles à l'horizon. »

Le modèle sédimentologique correspondant à ces trois principes est donc le suivant. Dans un fluide couvrant tout le globe, excepté les terres émergées, un précipité se dépose strate après strate, couvrant toute étendue immergée. Après chaque dépôt de strate, la sédimentation s'interrompt le temps que la strate acquière une consistance solide. Les strates étant contenues entre deux plans parallèles, le taux de sédimentation du précipité est uniforme sur le globe immergé.

L'affirmation de Sténon repose seulement sur l'observation des roches stratifiées et la superposition des strates, indépendamment de données provenant du processus de sédimentation. Ce processus est constitué de trois phases : érosion, transport et dépôt des sédiments, le courant liquide étant le vecteur du transport. La stratigraphie de Sténon ne tenait compte que de la troisième phase de la sédimentologie, c'est-à-dire le dépôt, en supposant implicitement une vitesse de courant nulle.

Les problèmes de la stratigraphie de Sténon

Ce modèle est fondé sur un postulat qui, ne prenant en compte qu'un cas particulier de sédimentation – l'absence de courant, qui implique la succession des temps selon la suite verticale des strates à l'échelle du globe de la terre – n'est pas en accord avec les observations expérimentales de la sédimentologie.

La première partie de la définition du principe de superposition est la suivante : « Au temps où se formait l'une des strates plus élevées, la strate inférieure [à elle] avait déjà acquis une consistance solide ». Une strate entre 50 cm et 1 m est considérée comme épaisse. Par conséquent, les forages sous-marins devraient rencontrer des strates solides dès les premiers mètres dans les sédiments océaniques stratifiés.

Les résultats des forages du fond de l'océan ont montré que les premiers sédiments à moitié solidifiés apparaissaient à une profondeur d'environ 400 à 800 m. Cependant, on a trouvé des lits siliceux dans des sédiments à une profondeur de 135 m près des zones océaniques de failles transversales (Logvinenko, 1980). Par conséquent, l'énoncé de Sténon relatif à la solidification successive des strates, qui rallonge d'autant la durée totale du dépôt, n'est pas confirmé par les observations sédimentologiques précitées.

Aucune couche sédimentaire ne s'étend sur tout le globe terrestre. Les relevés sismiques et les carottages sous-marins démontrent que les strates dans les dépôts océaniques ne sont pas toujours horizontaux et que le taux de sédimentation dans les océans n'est pas uniforme sur une échelle globale de la terre.

Dans la première partie de la définition du principe de continuité, Sténon affirme que : « Les strates sont redevables de leur existence aux sédiments dans un fluide. » Sténon ne dit rien de l'influence de ce fluide sur les sédiments, de sorte que la chronologie relative stratigraphique qui résulte de ses principes (les deux principes postérieurs d'identité paléontologique et d'actualisme ¹ n'ayant rien changé à cet égard) n'en a tenu aucun compte. Or, il existe des courants marins dans les océans actuels qui érodent, transportent, déposent des sédiments, comme l'a montré Strakhov en 1957. Dans les roches sédimentaires, les géologues ont attribué le changement d'orientation de la stratification et les surfaces d'érosion à des transgressions et régressions marines, qui font de nos jours l'objet d'études de la stratigraphie séquentielle. Toutefois, les diagrammes de la stratigraphie séquentielle n'indiquent pas les vitesses de courant de ces transgressions et régressions, sinon les variations du niveau des océans. Or, ne serait-ce que pour les roches sédimentaires détritiques (résultant de la désagrégation mécanique), il a bien fallu un courant minimum capable de transporter les particules de leur lieu d'érosion à celui de leur sédimentation.

Charles Lyell ajouta un principe d'uniformitarianisme, donnant en exemple des couches déposées dans de l'eau fraîche en Auvergne. Observant que les couches étaient d'une épaisseur inférieure à 1 mm, il considéra que chaque couche était déposée annuellement. A ce taux, le dépôt épais de 230 m aurait pris des centaines de milliers d'années pour se former. Comme on le montrera plus loin, ces couches (les *laminæ*) ne correspondent pas toujours à des dépôts annuels et peuvent être produites durant un intervalle de temps bien moindre que ce qu'indique l'échelle de temps géologique moderne.

Étapes principales de la recherche en laboratoire

Deux étapes principales du programme scientifique se retrouvent dans les lignes de recherche suivantes : lamination ² (fig. 1) et stratification ³ (fig. 2 et 3).

¹ — Principe d'actualisme : « Les causes des changements géologiques n'ont jamais été autres que celles qui se manifestent de nos jours, et elles ne se sont jamais manifestées avec une intensité plus grande. »

² — Lamination : stratification d'épaisseur inférieure à 1cm.

³ — Stratification : disposition des sédiments ou roches sédimentaires en strates superposées.

1. Lamination

Le résumé suivant de mon article (Berthault, 1986) fournit la base de recherche du dépôt de sédiments hétérogranulaires dans l'eau (avec et sans courant) :

Des expériences de sédimentation furent conduites en eau calme avec un apport continu de matériau hétérogranulaire. Un dépôt est obtenu et il donne l'illusion de lits successifs ou de *laminæ*. Ces *laminæ* sont le résultat d'un processus spontané périodique et continu qui a lieu immédiatement à la suite du dépôt du mélange hétérogranulaire. L'épaisseur des *laminæ* paraît être indépendante du taux de sédimentation mais croît avec des différences extrêmes dans la taille des particules du mélange. Là où un courant horizontal intervient, on observe de fines couches laminées qui se développent latéralement dans la direction du courant.

La seconde série d'expériences fut accomplie à l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille.

Les expériences montrent qu'un dépôt continu de sédiments hétérogranulaires en eau calme donne naissance à des *laminæ* qui disparaissent progressivement lorsque la hauteur de chute des particules dans l'eau (et apparemment leur taille) augmente. Les *laminæ* suivent la pente de la partie supérieure du dépôt. En eau courante, beaucoup de types de laminations étroitement reliés (et même superposés) apparaissent dans le dépôt (Berthault, 1988).

2. Stratification

Des expériences de stratification furent conduites au laboratoire d'hydraulique de l'Université d'État du Colorado, à Fort Collins, par le professeur d'hydraulique et de sédimentologie Pierre Julien.

Il était nécessaire d'opérer avec de l'eau dans un canal recirculant traversé par un courant chargé de sédiments. Comme Hjulstrom (1935) et ses successeurs ont défini le taux de sédimentation critique pour chaque taille de particule, on devait faire varier la vitesse du courant. En modulant la vitesse du courant, on pouvait obtenir une superposition de particules séparées.

L'expérience en canal montra qu'en présence d'un courant variable, des lits stratifiés superposés se forment simultanément dans la direction du courant. A l'échelle des strates, le résultat obtenu est cohérent avec la loi de Golovkinskii-Inostrantsev-Walther sur l'échelle des faciès **1**, selon laquelle l'extension des faciès d'une séquence spécifique est la même dans les directions latérale et verticale. (Walther, 1894 ; Middleton, 1973 ; Romanovskii, 1988).

Le rapport sur l'expérience intitulée « *Expériences de stratification de mélanges de sables hétérogènes* » fut publié en 1993 (Julien *et al.*, 1993). En voici le résumé :

1 — Faciès : Ensemble des caractères lithologiques et paléontologiques d'une roche.

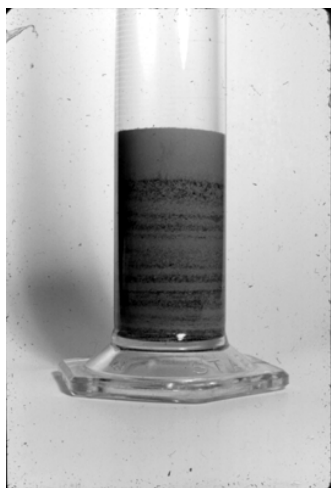


Fig. 1 : Lamination résultant de l'écoulement de sédiments dans l'eau.

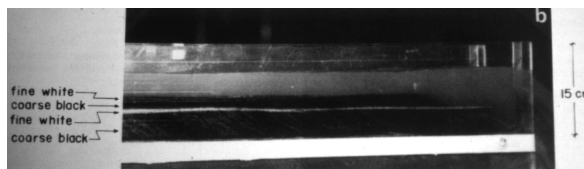


Fig. 2 : Vue longitudinale typique de dépôt (courant s'écoulant de droite à gauche).

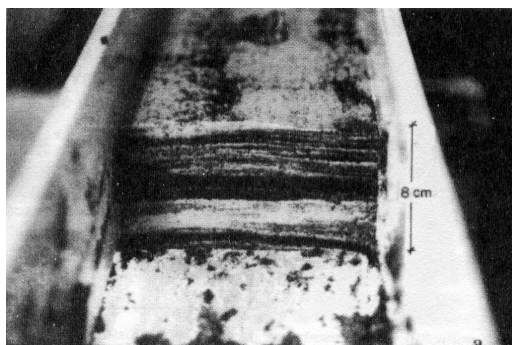


Fig. 4 : Section croisée typique de dépôt.

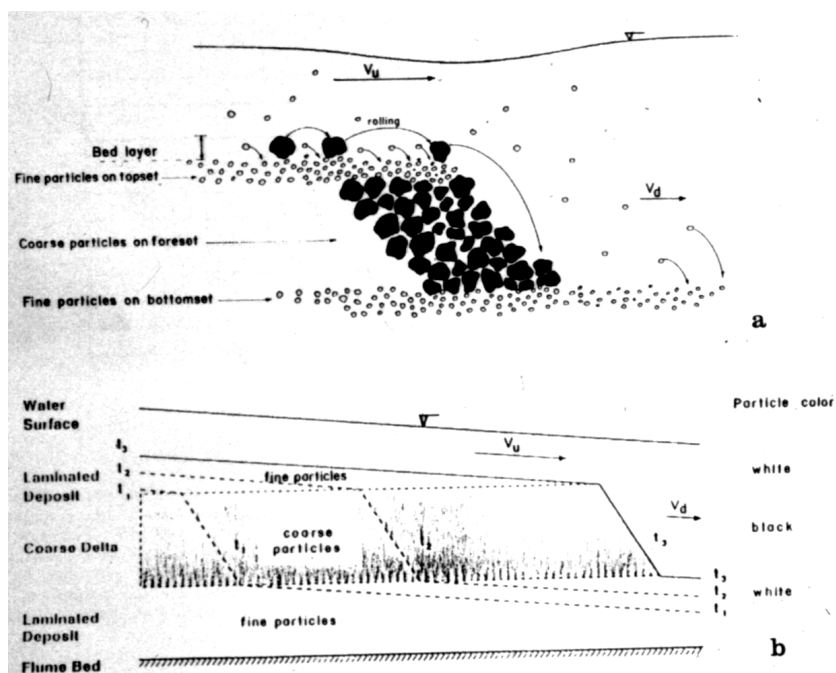


Fig. 3 : Résultats d'expériences. (a) Formation schématique de lits classés. (b) Séquence temporelle de formation de dépôt pour $t_1 < t_2 < t_3$.

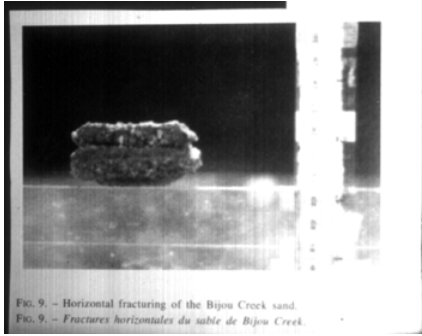


Fig. 5 : Fracture horizontale du sable de Bijou Creek.

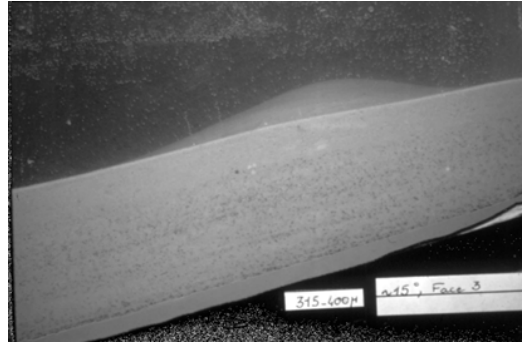


Fig. 6 : Lamination parallèle à une pente de 15°.

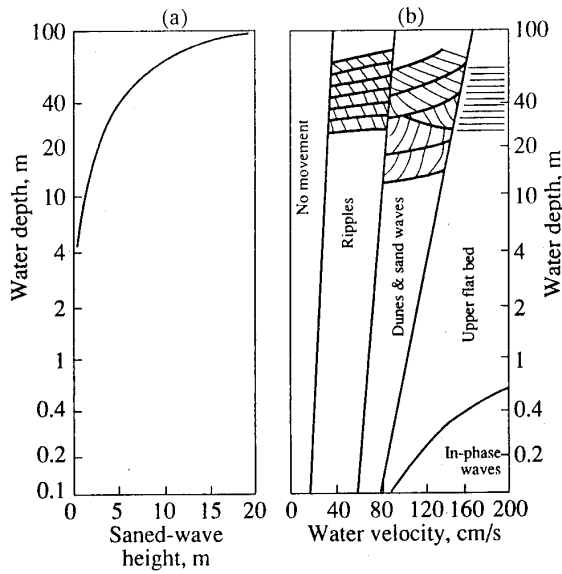


Fig. 7 a) Graphique indiquant en ordonnée la profondeur d'eau et en abscisse la hauteur de dune sous-marine. b). Graphique indiquant en ordonnée la profondeur d'eau et en abscisse la vitesse du courant en m/s.

Maxima permissible velocities or nonerosive for noncohesive grounds, in m/s (selon Lischvan-Lebediev)

Average diameter of particles, in mm	Average flow depth, in m					
	0.40	1.0	2.0	3.0	5.0	>10
0.005	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45
0.05	0.20	0.30	0.40	0.45	0.55	0.65
0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.70	0.80
1.0	0.50	0.60	0.70	0.75	0.85	0.95
2.5	0.65	0.75	0.80	0.90	1.00	1.20
5	0.80	0.85	1.00	1.10	1.20	1.50
10	0.90	1.05	1.15	1.30	1.45	1.75
15	1.10	1.20	1.35	1.50	1.65	2.00
25	1.25	1.45	1.65	1.85	2.00	2.30
40	1.50	1.85	2.10	2.30	2.45	2.70
75	2.00	2.40	2.75	3.10	3.30	3.60
100	2.45	2.80	3.20	3.50	3.80	4.20
150	3.00	3.35	3.75	4.10	4.40	4.50
200	3.50	3.80	4.30	4.65	5.00	5.40
300	3.85	4.35	4.70	4.90	5.50	5.90
400	4.75	4.95	5.30	5.60	6.00	
>500		5.35	5.50	6.00	6.20	

Table

Les strates dans les roches sédimentaires sont généralement assimilées à des couches sédimentaires successives déposées avec arrêt périodique de la sédimentation. Cette étude expérimentale examine la possibilité de stratification de mélanges de sables hétérogranulaires en sédimentation. Les trois aspects principaux de la stratification sont considérés : lamination, lits stratifiés et joints.

(a) Les expériences sur la ségrégation de onze mélanges hétérogranulaires de quartz, calcaires et charbons, démontrent que, lors du mouvement latéral, les particules fines tombent dans les interstices entre grosses particules en mouvement. Les grosses particules roulent sur les fines et la ségrégation est obtenue à l'échelle microscopique. Cette ségrégation microscopique similaire à la lamination est observée sur les surfaces planes, tout comme en sédimentation continue en colonnes d'air ou d'eau.

(b) La formation de lits stratifiés est examinée en laboratoire dans un canal avec écoulement permanent et alimentation continue de particules hétérogranulaires. A partir d'un écoulement permanent et uniforme sur un lit hétérogranulaire plan, les grosses particules du mélange roulent sur la surface d'un dépôt laminé de particules fines. En écoulement permanent non uniforme, la diminution de vitesse d'écoulement, provoquée par l'insertion d'un seuil à l'aval du canal, induit la formation d'une strate deltaïque de particules grossières en progression vers l'aval. Une strate laminée de particules fines se forme simultanément au-dessus du lit stratifié obliquement. Une strate de particules grossières en progression vers l'aval se forme donc continuellement entre deux strates laminées de particules en progradation verticale et vers l'aval.

(c) Les expériences en laboratoire sur la dessiccation de sables naturels montrent des fractures préférentielles, ou joints, à l'interface des strates de grosses et de fines particules dans les dépôts séchés à l'air.

Ces expériences démontrent que la stratification de mélanges sableux sous alimentation continue en sédiments hétérogranulaires résulte : de la ségrégation produisant la lamination, de l'écoulement non uniforme produisant les lits stratifiés (Fig. 4), et de la dessiccation produisant les joints (Fig. 5). Les strates superposés sont le résultat de couches successives.

Nos expériences en canal démontrèrent que l'hypothèse de Sténon (les strates sont d'anciens sédiments successifs) et son principe de superposition ne peuvent s'appliquer qu'en l'absence de courant (vitesse de transport nulle). En outre, les expériences relatées dans mon deuxième compte-rendu à l'Académie des sciences aussi bien que les expériences conduites par Pierre Julien et présentées sous forme de la vidéo « *Expériences fondamentales de stratification* » à plusieurs congrès de sédimentologie, montrent clairement que, jusqu'à la limite de l'angle de repos (30° à 40° pour les sables), la lamination des sédiments est parallèle à la pente (Fig. 6). Le principe d'horizontalité ne s'applique pas dans ce cas. C'est pourquoi, on ne devrait pas conclure que la déclivité des strates implique nécessairement des mouvements tectoniques consécutifs au dépôt horizontal des strates.

3. Conditions paléohydrauliques

L'analyse des principes majeurs de la stratigraphie sur la base des données expérimentales est nécessaire pour déterminer les conditions hydrauliques qui existaient quand les sédiments qui sont devenus des roches ont été déposés.

A cet égard, la relation entre les conditions hydrauliques et la configuration des dépôts contemporains (ondulations et dunes sous-marines et lits horizontaux) ont été l'objet, spécialement récemment, d'observations et d'expérimentation bien connues. Rubin et McCulloch (1980) rapportèrent des données sur l'environnement de la baie de San Francisco (fig. 7), alors que Southard et Boguchwal (1990) présentaient des résultats d'expériences en canaux. Pendant ce temps, Hjulstrom et ses successeurs (Hjulstrom, 1935 ; Lebediev, 1959 ; Neill, 1968 ; Levi, 1981 ; Maizels, 1983 ; Van Rijn, 1984 ; Maza, Flores, 1997) ont déterminé une vitesse minimale d'érosion et de sédimentation pour chaque taille de particule à une profondeur donnée (table).

Ces relations peuvent être appliquées particulièrement aux roches détritiques telles que le grès, la première étape d'une séquence de transgression marine résultant de l'érosion, du transport et de la sédimentation produits par un courant érosif initialement puissant dans une eau peu profonde. La *compétence*, c'est-à-dire la paléovitesse du courant en-dessous de laquelle des particules d'une taille donnée sont déposées, et la *capacité* correspondante du transport sédimentaire du courant peuvent être déterminées sur la base des données précédentes. Ces deux critères déterminent le temps requis pour le dépôt de la séquence.

Quand la transgression atteignait sa profondeur maximale et quand, corrélativement, la vitesse du courant tendait vers zéro, les particules les plus fines transportées initialement par le courant transversal se précipitaient sous l'effet d'un retard et d'une floculation éventuelle. C'est pourquoi, il est possible d'apprécier le temps que les particules prenaient pour tomber et, en se fondant sur la capacité, d'évaluer le temps pris par le sédiment pour précipiter. De telles données ne seraient bien sûr qu'un minimum, mais elles donneraient néanmoins accès à la connaissance de la genèse de la sédimentation.

Conclusions

Les principes de datation déterminés au XVII^e siècle par Sténon, professeur d'anatomie à l'université de Copenhague (Molyavko *et al.*, 1985), sur lesquels est fondée l'échelle de temps géologique, devraient être ré-examinés et faire l'objet d'études supplémentaires.

La façon la plus probable de déterminer la genèse des roches sédimentaires est d'abord d'identifier des cycles de séquences transgressives et régressives par une

stratigraphie séquentielle ¹. Les résultats de nos expériences en canaux sont appropriés sous ce rapport. Ils montrent qu'en présence d'un courant, les strates appartenant à une séquence ne sont pas successifs. Un changement d'orientation dans la stratification, ou les surfaces d'érosion entre des faciès de la même séquence ou entre des séquences superposées, peuvent résulter d'une variation dans la vitesse d'un courant ininterrompu. Des faciès ou des séquences séparant des partitions de plans de lits peuvent résulter d'une dessiccation consécutive à une disparition d'eau.

Une fois établies les séquences de cycles, on doit déterminer leurs conditions paléohydrauliques. Celles-ci seraient des conditions minimales, parce qu'il est possible que certains cycles résultant de processus tectoniques atteignent une amplitude supérieure à tout ce qui est comparable aujourd'hui.

La connaissance des conditions paléohydrauliques devrait aider à mieux déterminer les zones paléoécologiques (profondeur et site) des espèces qui ont été entraînées par les courants avec les sédiments. Elle pourrait aussi fournir une meilleure explication de l'enfouissement des zones fossiles dans les sédiments des bassins sédimentaires.

En remettant en question les principes et les méthodes sur lesquels sont fondées les dates géologiques et en proposant une nouvelle approche de la paléohydrologie, j'espère ouvrir un dialogue avec des spécialistes capables d'apprécier les implications dans les disciplines concernées, et je propose une chronologie géologique conforme à l'observation expérimentale.

Références

- BERTHAULT, G., « Sedimentation of a Inequigranular Mixture. Experimental Lamination in Still and Running Water », *CR. Acad. Sc.*, 1988, vol. 306, Série II, p. 717-724.
- BERTHAULT, G., « Sedimentologie : Expériences sur la lamination des sédiments par granoclassement périodique postérieur au dépôt. Contribution à l'explication de la lamination dans nombre de sédiments et de roches sédimentaires », *C.R. Acad. Sc.*, 1986, vol. 303, Série 2, N°17, p. 1569-1574.
- ELLENBERGER, F., *Histoire de la Géologie, vol. 1 : Technique et Documentation*. Lavoisier, 1975, p. 232-315.
- Fundamental Experiments in Stratification*. Videotape cassette (in english), 1993.
- HJULSTROM, F., « The Morphological Activity of Rivers as Illustrated by River Fyris », *Bull. Soc. Inst.*, Uppsala, 1935, N° 25, p. 89-122.

¹ — Séquence : Ensemble de faciès correspondant au dépôt consécutif à une transgression ou régression marines.

- JULIEN, P.Y., Lan, Y., and BERTHAULT, G., « Experiments on Stratification of Heterogeneous Sand Mixtures », *Bull. Soc. Géol. France*, 1993, vol. 164, N° 5, p. 649-660.
- LEBEDEV, V.V., *Gidrologiya i gidravlika v mostovom dorozhnom stroitel'stve* (Hydrology and Hydraulics in Bridge and Road Building), Leningrad : Gidrometeoizdat, 1959.
- LEVI, *Bed-Load Transport-Theory and Practice*, Water Resources Publ., Michigan, 1981, p. 303-355.
- LOGVINENKO, N.V., *Morskaya geologiya* (Marine Geology), Leningrad : Nedra, 1980.
- MAIZELS, J., *Paleovelocity and Paleodischarge, Determination for Coarse Gravel Deposits*, John Wiley & Sons, 1983.
- MAZA, J.A., GARCIA FLORES, M., « Velocidades medias para el inicio del movimiento de particulas », *V Congreso Nacional de Hydraulica*, Guadalajara, 1997, p. 70-88.
- MIDDLETON, G.V., « Johannes Walter's Law of Correlation of Facies », *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1973, vol. 84, p. 979-988.
- MOLYAVKO, G.I., FRANCHUK, V.P. and KULICHENKO, V.G., *Geologi I geography. Biblio-graficheskii spravochnik* (Géologues et Géographes : Manuel sur la bibliographie), Kiev : Nauk. Dumka, 1985.
- NEILL, C.R., « Note on Initial Movement of Coarse Uniform Material », *J. Hydr. Res. IAHR*, 1968, vol 6, N° 2, p. 157-184.
- ROMANOVSKII, S.I., « To the Problem of the History of Discovery and Authorship of Main Facies Law », *VIET*, 1988, N° 4, p. 87-94.
- RUBIN, D.M. and MCCULLOCH, D.S., « Single and Superposed Bed Forms : A Synthesis of San Francisco Bay and Flume Observations », *J. Sediment. Petrol.*, 1980, N° 26, p. 207-231.
- SOUTHARD, J. and BOGUCHWAL, J.A., « Bed configuration in Steady Unidirectional Water-flows, part 2: Synthesis of flume data », *J. Sediment. Petrol.*, 1990, N° 60 (5), p. 658-679.
- Spravochnik po litologii* (Manuel de Lithologie), VASSOEVICH, N.B., LIBROVICH, V.L., LOGVINENKO, N.V. et MARCHENKO, V.I., Editions de Moscou : Nedra, 1983.
- STRAKHOV, N.M., « Theoretical Lithology and its Problems », *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.* 1957, N° 11, p. 15-31.
- VAN RIJN, L.C., « Suspended Load », *J. Hydraulic Eng. ASCE*, 1984, vol. 10, N° 11, p. 1613-1641.
- VAN RIJN, L.C., « Sediment Transport : Bed-load Transport », Part I, *J. Hydraulic Eng. ASCE*, 1984, vol. 10, N° 11, p. 1431-1456.
- WALTHER, J., *Einleitung in die Geologie und Historische Wissenschaft*, Jena : Verlag von Gustav Fisher, 1894.

LE SEL DE LA TERRE

Donner le goût de la sagesse chrétienne

*Revue trimestrielle
de formation catholique*



Maintenir et conserver la saveur du sel de la doctrine quand tout autour devient insipide par la suite de l'abandon de Dieu, c'est le défi que la revue s'impose par son nom même. Le *Sel de la terre* vous offre tous les trois mois des articles simples, diversifiés, adaptés et d'une sûreté doctrinale éprouvée afin de nourrir votre vie spirituelle.

- **Simple**, le *Sel de la terre* ne requiert de ses lecteurs **aucun niveau spécial de connaissance** ; il s'adresse à tout catholique qui veut approfondir sa foi.
- **Diversifié**, le *Sel de la terre* propose à tous une **formation catholique vraiment complète** : études doctrinales et apologétiques, spiritualité et Écriture sainte, histoire et arts de la civilisation chrétienne viennent tour à tour nourrir votre intelligence.
- **Adapté**, le *Sel de la terre* présente les vérités religieuses **les plus utiles** à notre temps et dénonce les erreurs qui menacent aujourd'hui les intelligences.
- **Traditionnel**, le *Sel de la terre* est publié sous la responsabilité d'une communauté dominicaine qui se place **sous le patronage de saint Thomas d'Aquin**, pour la sûreté de la doctrine et la clarté de l'expression.

Cet article vous a plu ?

Vous pouvez :

[Vous
abonner](#)

[Découvrir
notre site](#)

[Faire
un don](#)

Trouvez plus de 1000 articles en accès libre !