

# Rides sous-marines (ripple marks) : un problème de sédimentologie

Autor(en): **Oulianoff, Nicolas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **67 (1958-1961)**

Heft 305

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-275122>

## **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.

## Rides sous-marines (ripple marks)

Un problème de sédimentologie

PAR

NICOLAS OULIANOFF

Les « ripple marks » représentent un phénomène banal, que tout le monde a eu l'occasion d'observer sur les plages sableuses de mers, de lacs, ou d'anses de rivières.

E. HAUG (1911) le décrit dans les termes suivants :

« Les ondulations du fond ou traces de vagues ou de courants (ripple-marks) sont de deux sortes : les unes présentent deux flancs symétriques et sont dues à un mouvement ondulatoire des eaux (vagues), les autres ont des flancs inégalement inclinés, ressemblant à des vagues en miniature et doivent certainement leur origine à un courant qui se fait sentir sur le fond avec une direction constante. »

AUG. LOMBARD (1956) formule comme suit une condition importante de leur formation :

« Pour qu'une surface enregistre des rides, il faut que le sédiment ne soit pas cohérent. La granulométrie doit par conséquent y jouer un rôle (sables, sables avec de la boue, vases). »

Je me permets de rappeler ici ces notions élémentaires pour que le lecteur puisse suivre le plus facilement possible mon exposé.

Les ripple marks ont été longtemps considérées comme des manifestations tout à fait mineures du dynamisme des forces qui s'exercent à la surface de la Terre. Puis, l'attention des géologues fut attirée par le fait que dans certains cas des couches de roches sédimentaires contiennent des rides « fossilisées ». Dès lors, les géologues travaillant sur le terrain cherchent à ne pas omettre de constater la présence, s'il y a lieu, de ces rides fossiles, vu l'intérêt qu'elles présenteraient au point de vue stratigraphique et lithologique.

Notons encore que divers auteurs ont admis que les ripple marks ne peuvent se former que jusqu'à une profondeur de 200 m environ (617 feet, chiffre donné par JOHNSON, 1919).

La sédimentologie a reçu, durant ces derniers vingt à vingt-cinq ans, de nombreuses et importantes impulsions, notamment de la part de la géochimie, de la géophysique et de l'océanographie. Les

expéditions océanographiques, de plus en plus nombreuses, de mieux en mieux équipées et outillées d'appareils ingénieux, ont fourni à la sédimentologie de multiples observations, tout à fait inattendues, provenant des profondeurs océaniques.

Ces observations ont fait surgir divers problèmes. J'ai publié récemment quelques articles (N. OULIANOFF, 1958, 1, 2; 1960, 1-4) consacrés à la signification, pour la sédimentologie, de la vibration perpétuelle et générale de la croûte terrestre (séismes et microséismes), soit d'un facteur mécanique, ignoré par de nombreux auteurs et sous-estimé par d'autres<sup>1</sup>.

On photographie actuellement des fonds marins, jusqu'à des profondeurs atteignant 5500 m (HEEZEN *et al.*, 1959; LAUGHTON, 1959), et ces photographies nous apportent souvent des images de ripple marks. Par conséquent, le problème de l'origine des ripple marks se complique.

Tout d'abord, il est clair qu'il ne s'agit plus, à ces profondeurs, de l'effet de vagues. Et il me plaît de reproduire ici un passage du travail de H. W. MENARD (1952), qui a analysé 38 photos sous-marines : « 8 of 10 areas show ripples : submarine photography has shown, that ripple marks exist in the ocean far below the maximum depth of 617 feet quoted in geological literature ».

Pour les auteurs qui n'envisagent le choix qu'entre *deux* facteurs capables de produire des ripple marks — les vagues et les courants — il ne reste à considérer que l'intervention de courants sous-marins. Cette conclusion paraît à certains à tel point logique qu'ils n'hésitent plus à tenir pour irréfutable que *la constatation de ripple marks sur le fond océanique* indique que ce fond est balayé par un courant. L'orientation des rides asymétriques indiquerait la direction d'où vient le prétendu courant sous-marin.

Or l'existence de courants constants qui balaieraient, *avec une force suffisante*, les fonds océaniques est plus qu'hypothétique. On perçoit une hésitation à ce sujet chez M. S. SCHVETZOV (1958), quand il écrit que les rides asymétriques « se forment à diverses profondeurs, jusqu'à 800 m et même à des profondeurs plus grandes encore, s'il y existe des courants ».

Prenons pour exemple les recherches océanographiques de B. HEEZEN *et al.* (1959). Les vitesses des courants qui y sont don-

<sup>1</sup> Au moment de la rédaction de ces publications, j'ignorais totalement que V. V. BELOUSSOV (professeur à l'Université de Moscou et actuellement président de l'Union géodésique et géophysique internationale), a déjà exprimé avant moi des idées semblables, dans la littérature géologique publiée en langue russe. Je l'ai appris tout récemment, en prenant connaissance du travail de VASSOÏEVITCH sur le flysch (1951, p. 186), où on lit que « l'expression de « mouvements vibratoires », lancée par V. V. BELOUSSOV, a été employée, ces dernières années, par plusieurs géologues, avec une large signification ».

nées varient entre 0 cm/s et 20 cm/s. Les courants les plus forts ont été observés dans des zones situées parallèlement au talus continental (en Atlantique). Or ces vitesses sont encore, en réalité, trop faibles pour déplacer le matériel granulé. En effet, W. H. BUCHER (1919) constate que le déplacement de grains de sable de 0,4 mm de diamètre exige une vitesse de courant de 26 cm/s; pour un diamètre de 0,5 mm, il faut 28 cm/s; pour 0,7 mm, 34 cm/s; pour 3,2 mm (gravier), 46 cm/s; enfin, pour déplacer des gravillons de 7 mm de diamètre, le courant doit avoir une vitesse de 86 cm/s. TWENHOFEL (1950) reprend les mêmes valeurs. On voit donc que les vitesses des courants de fonds données par HEEZEN *et al.* (1959) ne sont pas capables de produire des ripple marks. On a recours alors aux courants de turbidité, et l'on considère le problème comme résolu, sans se préoccuper de la distance qu'ils auraient, dans l'hypothèse, à parcourir impétueusement (turbidité!), notamment des distances de plusieurs centaines, voire de milliers de kilomètres.

Parlant des courants de turbidité, LOMBARD (1956, p. 85) s'exprime comme suit :

« On a beaucoup écrit au sujet des courants de turbidité. La présence de ces courants expliquerait un très grand nombre de faits sédimentologiques, mais il semble que l'on en est parfois arrivé à leur attribuer trop d'importance. Leur existence actuelle est rarement démontrée, tout au moins dans le domaine océanique. »

Or le progrès de la photographie des grands fonds océaniques amène à la constatation que les ripple marks sont très répandues. L'excellent travail de B. HEEZEN *et al.* (1959), consacré à l'étude des fonds de l'Atlantique du Nord, contient de nombreuses et précieuses observations. Toutefois, il est impossible d'accepter certains commentaires et conclusions que ces auteurs présentent sans aucune réserve. Ainsi, par exemple, une photographie (pl. 15, fig. 3) d'un champ de ripple marks est accompagnée de cette remarque : « The photograph indicates an appreciable current ». Ces auteurs affirment donc l'existence d'un important courant, et ceci par la simple présence de ripple marks asymétriques. D'ailleurs toutes les images de ripple marks des grands fonds sont réunies, dans l'index des matières de l'ouvrage cité, sous la rubrique : « photographed evidence of deep-sea bottom currents ».

Je crois que la conclusion qui s'impose dans ce cas-là est plutôt la suivante : une évidence photographiée du fait que les sédiments des grands fonds ont été mis en mouvement, à un certain moment. Quant à la cause de ce mouvement, les photographies ne donnent réellement aucune réponse. Cette cause, elle est du domaine des hypothèses, non encore de l'évidence.

D'aucuns diront que l'évidence est déjà donnée par la logique des choses, car dans toutes les discussions relatives à l'origine des ripple marks, les auteurs n'envisagent que deux facteurs mécaniques possibles : les vagues et les courants. Comme le premier facteur (vagues) n'est plus en jeu dans les grandes profondeurs, on ne peut attribuer qu'à des courants sous-marins les ripple marks observées sur les grands fonds. Un tel raisonnement serait empreint de la prétention mal fondée que tout le complexe des forces qui sont en jeu sur la surface de la Terre et dans la croûte terrestre nous est déjà parfaitement connu. J'ai cherché à démontrer le contraire dans quelques-unes de mes publications mentionnées plus haut.

On oublie facilement que sur toute la Terre s'exercent des forces mécaniques de caractère véritablement mondial. J'entends par là les séismes et les microséismes. Leurs effets s'expriment par des chocs accompagnés de vibrations et par des vibrations prolongées soutenues, qui secouent les masses rocheuses formant la croûte terrestre (des continents aussi bien que des fonds océaniques). Grâce au perfectionnement des instruments et à un plus grand développement des réseaux de stations d'enregistrement, la sismologie évolue rapidement. On arrive à préciser de plus en plus les particularités de ces vibrations de diverses natures (direction des rayons sismiques, fréquence et amplitude des vibrations, puissance des chocs, distinction entre les vibrations longitudinales et les transversales, ainsi que la vitesse de leur propagation). Il serait inconcevable que tout cet « orchestre symphonique » de forces, qui font vibrer perpétuellement la croûte terrestre, reste sans influencer le matériel meuble sédimenté sur les fonds océaniques.

J'ai examiné dans cet ordre d'idées les problèmes de transport, de granoclassement, de compaction des sédiments, ainsi que de la « fossilisation » de l'eau de mer. Et mes considérations ont été étayées d'une série d'expériences.

Revenons donc aux ripple marks, et plus précisément au problème de l'origine des ripple marks sur les fonds océaniques.

Résumant ce qui précède, nous avons vu que l'on s'accorde sur le rôle des vagues qui façonnent certaines ripple marks, leur influence n'étant toutefois sensible que jusqu'à la profondeur de 200 m environ, — que le rôle éventuel et l'importance de courants sur les fonds océaniques en sont encore au stade de discussion, — que l'existence même de courants qui balayeraient les grands fonds océaniques n'est nullement démontrée. On n'a jamais vu ces courants au « travail », et toutes les tentatives de reconstruire par le calcul les effets de ce travail nous laissent perplexes quant à leur efficacité réelle. Pour ces raisons, H. U. SVERDRUP (1954), par

exemple, admet que le mouvement des eaux dans les grandes profondeurs doit être si lent qu'il y a lieu de le considérer comme négligeable. Mais il est évident que seules des mesures directes peuvent éclairer ce domaine difficile à explorer.

Notons qu'en 1954 encore K. F. BOWDEN soulignait le fait que « knowledge of currents below the surface has been obtained mainly by indirect methods ». Ces dernières années ont vu diverses tentatives de mesures directes, presque uniquement dans le domaine de l'Atlantique du Nord. Ces mesures se heurtent à de très grandes complications techniques, qui obligent à recourir à l'estimation de certains facteurs, ce qui influence nécessairement le résultat définitif.

Aux résultats déjà mentionnés de B. HEEZEN *et al.* (1959), nous ajouterons quelques chiffres tirés de publications relatives à des expéditions récentes, dans lesquelles la recherche a porté non seulement sur la vitesse des courants sous-marins, mais aussi sur leur direction, ce qui présente un intérêt évident. Les vitesses mesurées seules retiendront ici notre attention.

SWALLOW et WORTHINGTON (1957) ont constaté, dans la région du Cap Romain (Caroline du Sud) que la vitesse des courants, à 2500 m, varie entre 2,6 cm/s et 9,5 cm/s, tandis qu'à 2800 m quatre flotteurs ont montré des vitesses de 9,7 à 17,4 cm/s. SWALLOW et HAMON (1960) ont complété les mesures directes faites dans l'Atlantique (à quelque 6° à l'W de la côte portugaise) par des calculs pour diverses profondeurs. Leurs graphiques, très suggestifs, montrent que les vitesses diminuent très rapidement, se rapprochant de zéro, à partir des profondeurs de 1500-2000 m. Les mesures directes, à diverses stations, ont donné les résultats suivants :

Profondeur	3680	2120	4240	1560	2940	2590	2460	2430	2760
observée, en m	±100	±50	±50	±160	±70	±70	±50	±130	±110
Courant en cm/s	2,62	4,74	1,90	4,14	1,2	4,62	0,9	3,0	1,3
					approx.	app.	app.	app.	app.

SWALLOW (1957) a publié d'autre part les résultats obtenus sur cinq stations entre la Norvège et l'Écosse, au N des îles Shetland, et quatre autres à l'ouest du Maroc.

Stations	SHETLAND				
Profondeur,	840	340	440	480	370
en mètres	±50	±20	±30	±30	±30
Courant moyen	13,0	21,8	14,9	10,3	17,8
en cm/s					

<i>Stations</i>	M A R O C			
Profondeur, en mètres	1200 ±200	1900 ±200	1900 ±200	2900 ±250
Courant moyen en cm/s	9,52	2,38	1,64	0,8

V. W. EKMAN (1953) a publié les résultats de mesures faites en Atlantique, à des profondeurs croissantes, en une station située à 30° 13,2' N —13° 56,6' W.

Profondeur, en mètres	100	1000	1400	2000
Courant en cm/s	14,0	4,8	9,3	5,9

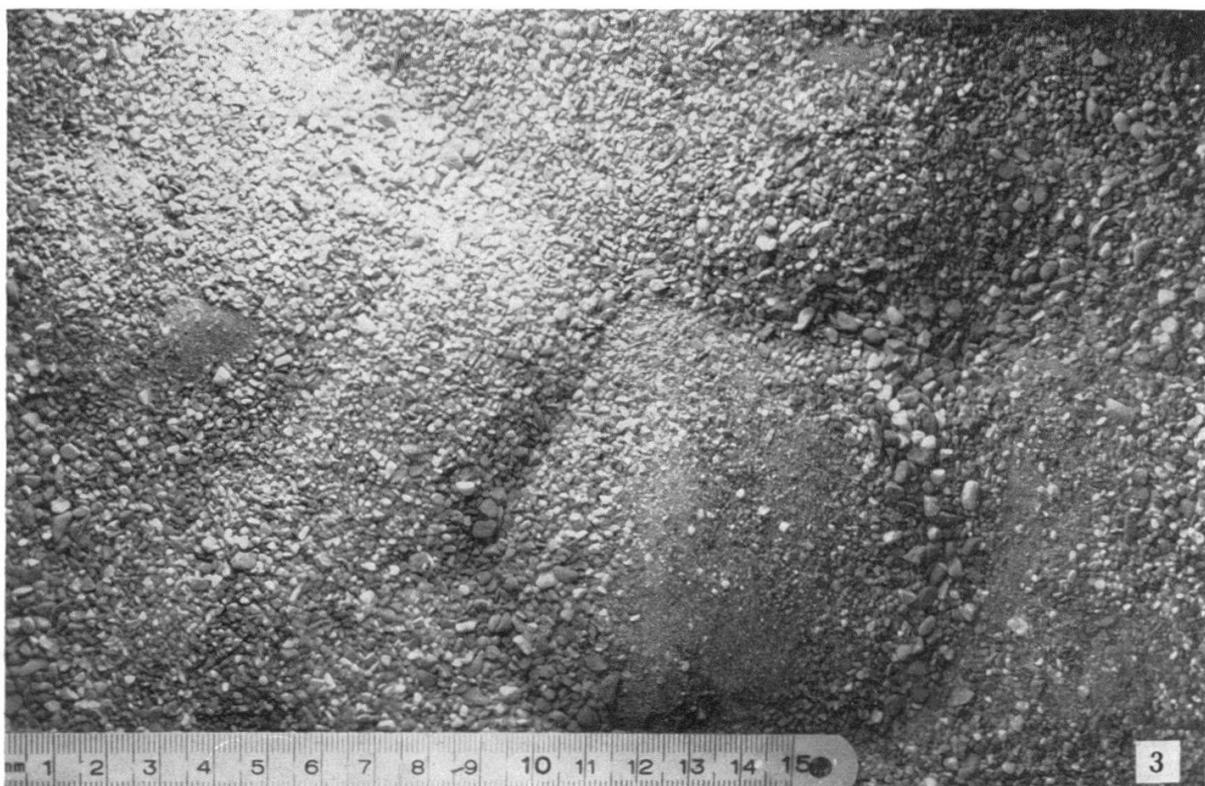
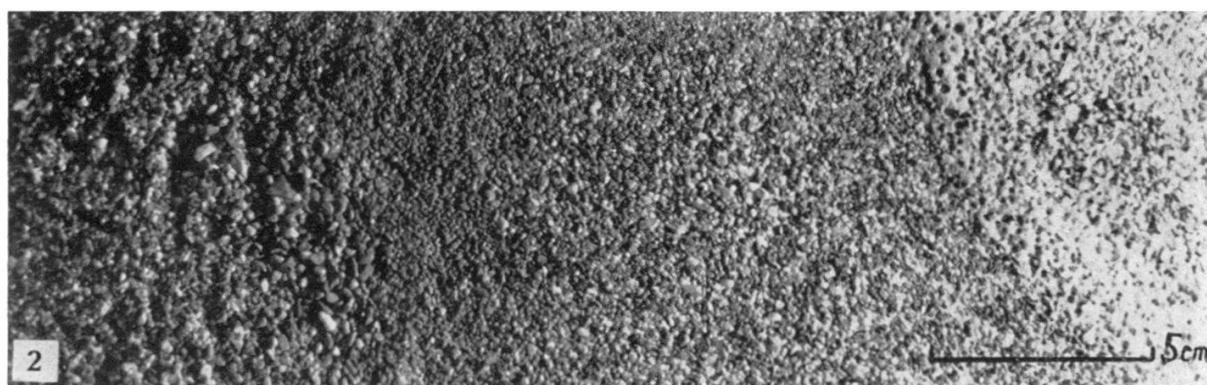
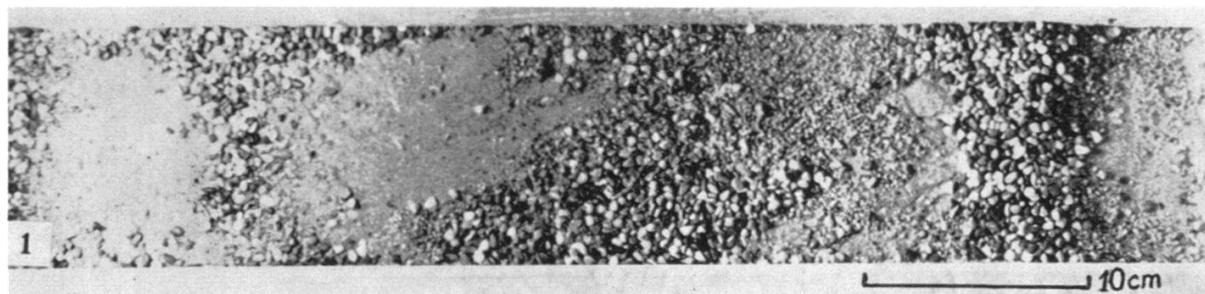
L'étude directe d'un courant sous-marin, par photographie, a été faite au point de latitude 83° 34' N et de longitude 162° 15' W, à la profondeur de 2370 m. Les vitesses trouvées sont de 0,3 cm/s et de 0,6 cm/s (HUNKINS *et al.*, 1960).

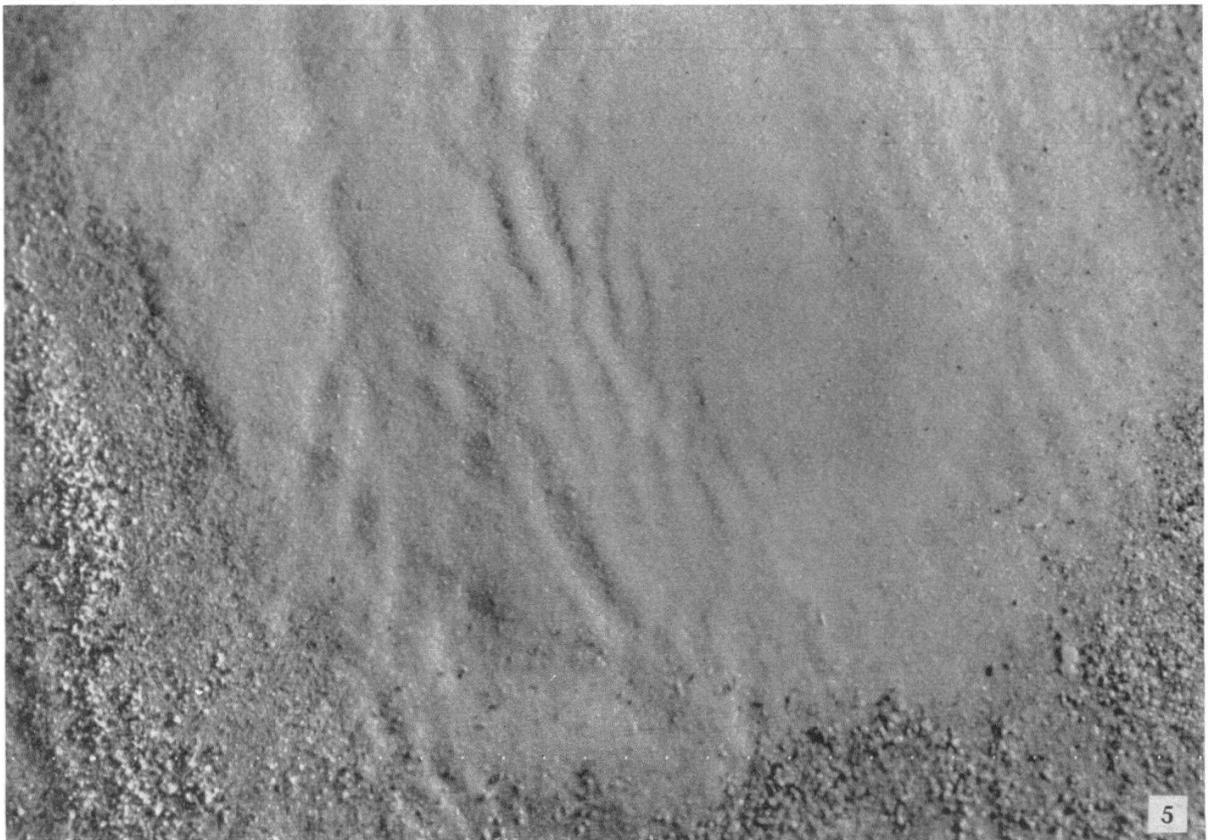
Mentionnons enfin les résultats de « mesures systématiques des courants près du fond entre le littoral d'Antibes et la Corse » (V. ROMANOVSKY et J. LE FLOCH, 1960). Ces auteurs ont obtenu une vitesse de courant nulle cinq fois à la profondeur de 2500 m, une fois à 2250 m, une fois à 2200 m. Pour les autres sept stations, les vitesses varient entre 2 cm/s et 6 cm/s, d'où leur conclusion que « d'une façon générale, le courant près du fond est presque nul ».

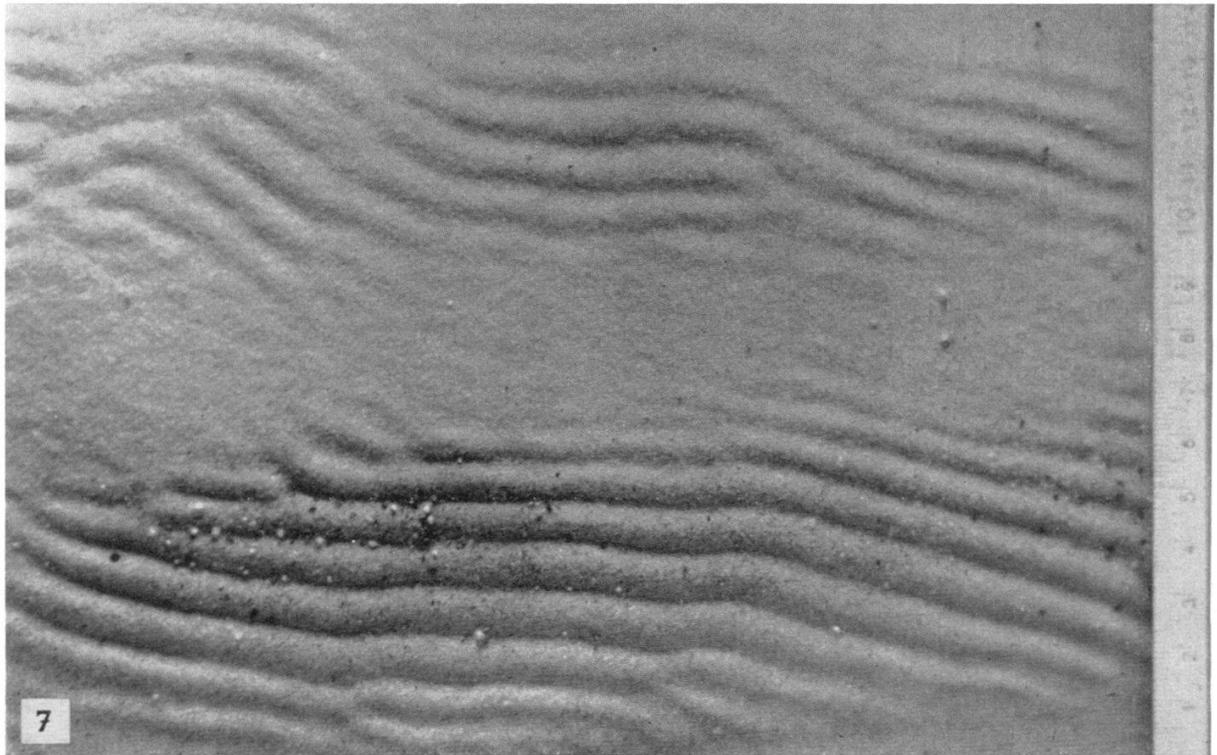
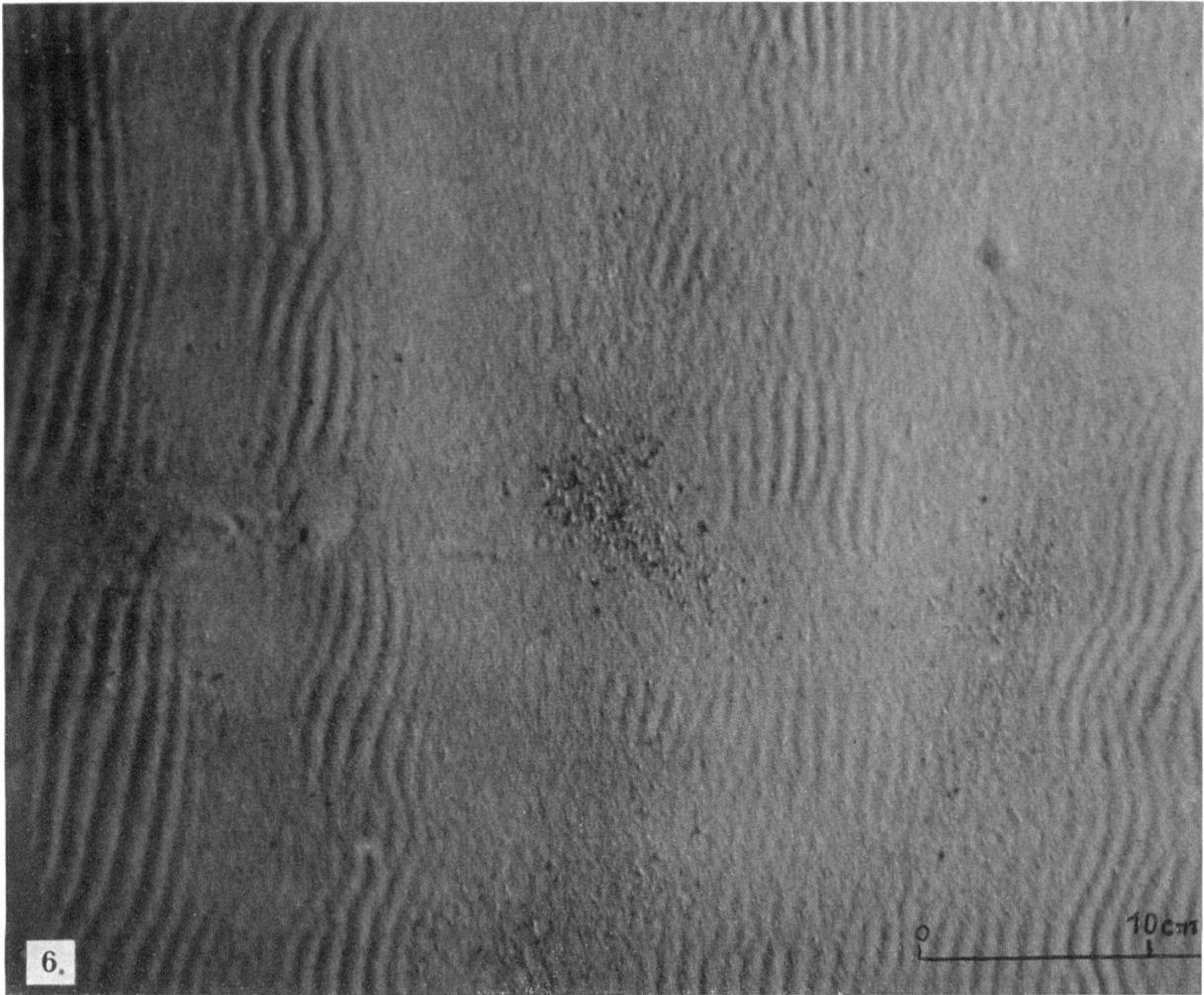
Toutes ces mesures mettent en doute le pouvoir des courants sous-marins de produire, aux grandes profondeurs, des ripple marks.

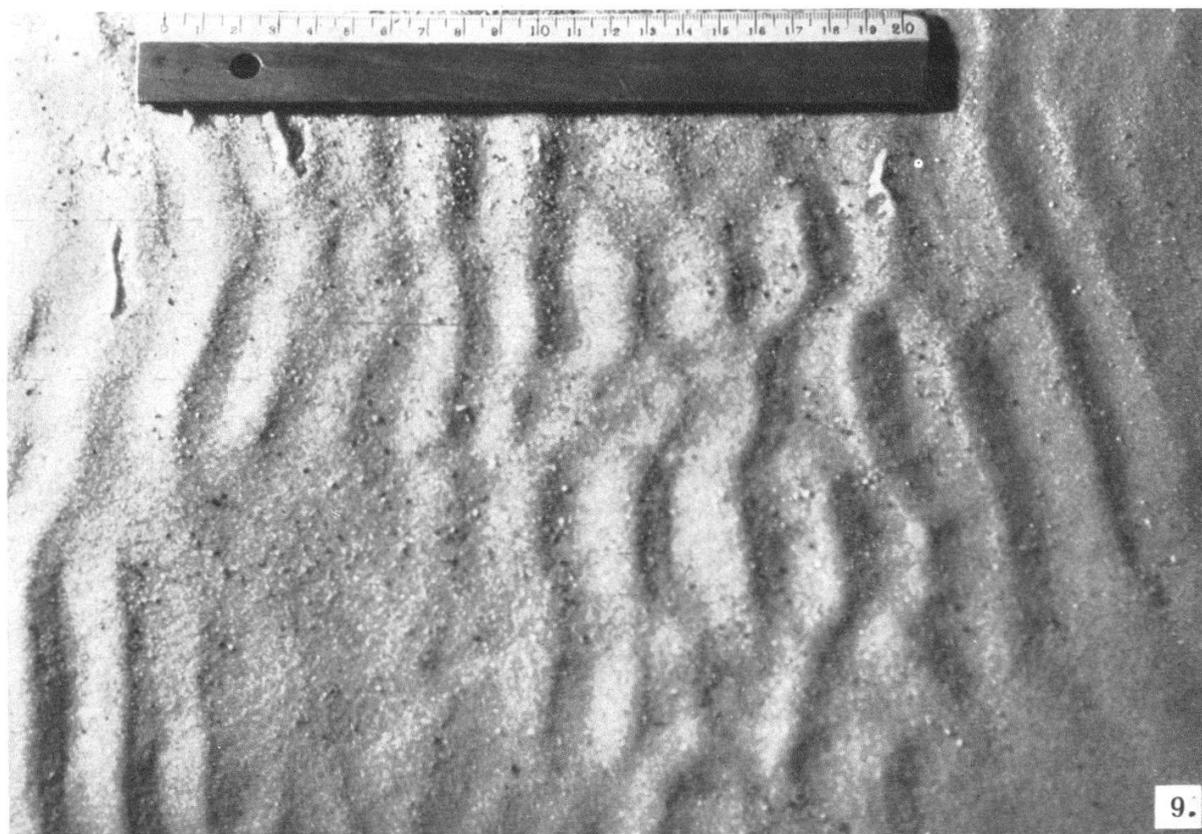
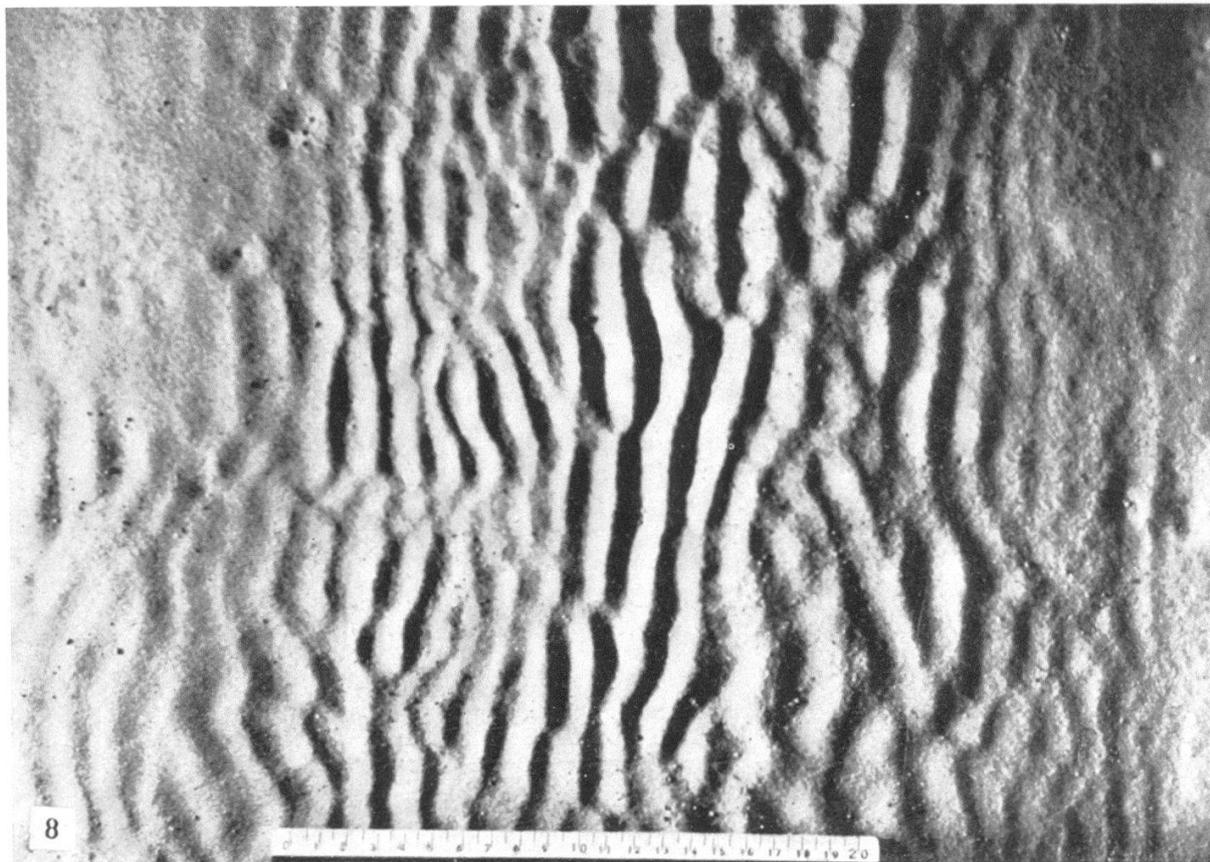
Il m'a paru utile d'examiner le rôle des vibrations comme facteur éventuel de la formation de ripple marks sur les fonds océaniques, aux grandes profondeurs. A cet effet, j'ai monté une série d'expériences, reproduisant diverses conditions (sédiments et vibrations)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Ces expériences ont été réalisées grâce à un subside du Fonds National Suisse de la Recherche scientifique. Je tiens à présenter ici mes remerciements à cet organisme. C'est aussi pour moi un agréable devoir d'exprimer ma gratitude aux Directeurs des Laboratoires de géophysique, de géologie et de minéralogie de l'Université de Lausanne, ainsi que du Laboratoire d'Essais des matériaux de son Ecole Polytechnique, enfin aux Directions de la maison de construction Zublin à Zurich et de la Sté Anonyme pour l'Industrie Verrière à Fribourg, qui ont facilité de diverses manières l'exécution des expériences entreprises.









Pour produire les vibrations, j'ai employé trois dispositifs :

1. un vibreur électromagnétique, de fréquence 3000/mn environ;
2. un vibreur pneumatique, actionné par un compresseur et de fréquence variable (de quelques centaines par minute en moyenne);
3. un vibreur actionné par la chute d'un poids (pendule), dont la fréquence pouvait être changée, n'étant en général que très faible (40/mn, par exemple).

Une série de photos présente la surface des « sédiments », qui, dans ces expériences, se trouvaient sous une couche d'eau de 5 à 10 cm.

Les photographies ont été prises en partie à travers la couche d'eau, en partie après évacuation de l'eau, toutes précautions étant prises pour ne pas déranger la surface des « sédiments ».

Le commentaire détaillé qui accompagne les photographies rend superflue une description générale des expériences. L'ensemble de ces commentaires fera bien comprendre la marche de l'expérimentation.

*Voici les commentaires des photographies.*

*Fig 1 :*

Un mélange de sable fin et grossier (granulométrie allant de 0,5 à 7 mm) est mis dans une auge de dimension 55 cm  $\times$  13 cm. Un vibreur électrique réagit sur le fond du bassin, avec lequel le vecteur de la vibration fait un angle d'environ 45°. A remarquer qu'en dehors d'un centre de vibration (situé directement au-dessus du vibreur) s'en sont formés, par suite de réflexion et d'interférence, encore trois autres. Le granoclassement souligne les bourrelets elliptiques autour de ces foyers de vibration. Les intersections des appareils elliptiques déterminent la formation de bourrelets (il y en a 4 sur la photo), tendant à avoir la forme droite. Il est évident qu'un vibreur « ponctuel » ne peut être considéré autrement qu'un élément différentiel d'un paquet d'ondes naturelles qui ébranlent le fond marin lors des chocs séismiques.

*Fig. 2 :*

Détail de la structure des ripple marks elliptiques produites dans un grand bassin (80 cm  $\times$  57 cm). Le granoclassement se fait sentir, les zones à grain grossier soulignant les crêtes des ondulations.

*Fig. 3 :*

Cette photo a enregistré l'effet de vibrations prolongées (20 à 50 mn). Le matériel meuble utilisé, à granulométrie allant de 0,5 mm à 7 mm, disposé en couche horizontale dans un grand bassin (80 cm  $\times$  57 cm), a été soumis à une vibration de grande

fréquence, dont le vecteur faisait un angle de  $60^\circ$  avec l'horizon. Au commencement de l'expérience (quelque 2-5 mn) se forment deux foyers elliptiques caractérisés par une activité mécanique particulièrement intense à leur intérieur. On observe facilement la vibration et le déplacement des granules. L'un de ces foyers se trouve au-dessus du vibreur, l'autre, à une certaine distance. Ce dernier est certainement créé par la réflexion et l'interférence des ondes partant du premier foyer. Des rides concentriques se forment autour de chaque foyer (voir la fig. 1), de plus en plus floues avec l'augmentation de la distance du centre de l'ellipse. Avec le temps (20-25 mn) les rides s'entremêlent et produisent la structure à petites collines juxtaposées que montrent la fig. 3 et, encore plus clairement, la fig. 4. A noter aussi, que dans les conditions enregistrées par la fig. 3, la granulométrie étant variable, la vibration prolongée produit un granoclassement (on le voit aussi sur les fig. 1 et 2). Il est intéressant de comparer notre fig. 3 avec la fig. 1 de la planche 19, dans la publication de B. C. HEEZEN *et al.* (1959). Ces auteurs accompagnent la photo en question, prise à la profondeur de 2580 m, de la remarque suivante :

« Note the coarse-grained light and dark gravel in winnow row in the foreground and the light-colored clay or ooze bottom in background. Of the sixty photographs taken at this location several resemble Figure 1. »

On devine ici l'effet du granoclassement combiné avec celui des ripple marks déjà sensiblement effacées.

*Fig. 4 :*

Le matériel à granulométrie mélangée et variable (0,5 mm à 7 mm) est recouvert d'une couche de sable fin (diamètre moyen des grains : 0,2 mm), épaisse de 1,5 cm environ. Après une vibration dans le grand bassin (80 cm  $\times$  57 cm) pendant une heure, la surface, tout à fait plane au début, est devenue montueuse, parfaitement comparable morphologiquement à celle que montre la fig. 3. La différence réside dans le fait que, cette fois-ci, la couche inférieure (matériel grossier) n'a pas pu, lors des mouvements de granoclassement, percer la couche de sable fin. On remarque seulement quelques accumulations de grains grossiers qui soulignent, par leur situation, les creux entre les monticules.

*Fig. 5 :*

Les conditions de l'expérience sont sensiblement les mêmes que celles de la fig. 4. Cependant, le sable fin ne couvre qu'une partie de la surface totale des « sédiments », et notamment par une couche de 0,5 cm environ. Le bassin a été soumis, pendant deux minu-

tes, à une vibration à vecteur *strictement horizontal*, au moyen d'un marteau pneumatique (fréquence : quelque 400/mn. Direction du vecteur de la vibration : de la droite vers la gauche). On voit nettement que la couche de sable fin a répondu à cette vibration par la formation de rides. Du reste, dans la couche inférieure (sable grossier) se remarque aussi une tendance à la structure ridée, visible en particulier dans le coin à gauche en bas.

*Fig. 6 :*

Les conditions de cette expérience sont identiques à celles de la fig. 5. La différence réside dans le fait que le sable fin (diamètre : 0,2 mm) a été mis, cette fois-ci, en couche de 2 cm environ, sur toute la surface du grand bassin.

La vibration à vecteur horizontal au moyen d'un marteau pneumatique a duré deux minutes, mais elle a été combinée avec une vibration à vecteur vertical produite simultanément par un vibreur électrique à grande fréquence. Toute la surface des « sédiments » dans le bassin est ridée. Les ripple marks sont plus nettes près du bord gauche de la photo. C'est de ce côté que les chocs secouaient la base du bassin. On remarquera aussi que les ripple marks sont groupées en zones parallèles caractérisées par l'accentuation ou l'affaiblissement successifs de la vigueur des rides. Il s'agit là certainement d'effets d'interférence.

*Fig. 7 :*

Cette photo représente, avec plus de détails, une expérience dont les conditions sont identiques à celles de la fig. 6. On notera que les rides sont à flancs parfaitement symétriques.

*Fig. 8 :*

Le choix des matériaux et leur disposition en couches sont les mêmes que ceux des fig. 6 et 7. Mais la vibration a été réalisée uniquement par un lourd pendule, produisant des chocs horizontaux. On n'a pas introduit de vibration à sens vertical. La vibration n'a duré que 1,5 à 2 minutes. Les ripple marks obtenues sont de l'espèce nettement asymétrique. L'éclairage oblique venant de la gauche et portant des ombres sur les pentes raides des ripple marks facilite la lecture et l'estimation des largeurs.

*Fig. 9 :*

Les matériaux et leur disposition en couches sont exactement les mêmes que dans l'expérience précédente (fig. 8). La différence réside dans la puissance des chocs. Dans ce dernier cas (fig. 9), elle est de 23 % (en moyenne) plus forte que dans le cas précédent (fig. 8).

L'examen des photographies qui représentent les choses en relief n'est pas toujours aisé. Par suite de la fatigue des yeux, le spectateur voit, tout à coup, le relief inversé. Pour rétablir la vision correcte, il faut tourner la photographie de 180°, la regarder un moment, puis revenir à la position initiale.

La différence des effets, enregistrés par les photos 8 et 9, se traduit par l'augmentation de la *largeur* des rides (sur la fig. 9).

Les échelles (en centimètres) qui figurent sur les photos permettent de faire des mesures. Tandis que dans le premier cas (fig. 8) la largeur moyenne mesure 1,8 cm, dans le second (fig. 9) elle atteint 2,75 cm (moyenne de plusieurs mesures). La comparaison des largeurs des deux flancs donne en moyenne (fig. 9) : pour la pente douce — 1,75 cm et pour la pente raide — 1,0 cm. Toutes les classifications des ripple marks que l'on trouve dans la littérature attribuent l'origine des rides asymétriques à l'action de courants. Les cas décrits ici (fig. 8 et 9) démontrent que le même effet (asymétrie des rides) se produit lorsque la base portant les sédiments meubles est soumise à une vibration *horizontale*, sans que l'eau couvrant les sédiments soit mue par un courant. L'analyse du mécanisme réalisé par les expériences en question est simple. La base, sous l'influence des chocs, est déplacée dans le sens du vecteur de ces chocs. L'eau s'oppose, par inertie, à un déplacement d'ensemble avec la base. Mais, par rapport à la base, l'eau se déplace dans le sens contraire de celui du vecteur du choc. On a ainsi l'imitation momentanée d'un courant d'eau qui entraîne avec lui les particules des matériaux meubles. La vibration de la base créée par les chocs successifs présente une intégration des différentielles, ce qui prolonge encore l'imitation d'un courant d'eau. L'expérience en laboratoire reproduit les cas des chocs séismiques. Comme les séismes ébranlent, avec des intensités très variables, toute la croûte terrestre, leurs effets peuvent être constatés partout et sous des formes variables. Sur les fonds océaniques, les ripple marks témoignent, probablement, du passage des ondes séismiques.

La largeur des rides est un indicateur relatif de l'importance des chocs. En traçant la ligne perpendiculaire aux rides, on obtient l'orientation des rayons de vibration du sol. La propagation de la vibration des « sédiments » s'effectue de la pente raide vers la douce.

Tels sont les résultats des expériences. Ils confirment l'hypothèse que les vibrations produites par les chocs séismiques seraient nettement capables de produire, dans le matériel meuble, des rides des deux espèces : à *flancs symétriques* aussi bien qu'à *flancs asymétriques*.

On se souvient que l'existence de ripple marks asymétriques sur les fonds océaniques est attribuée, dans la littérature sédimentolo-

gique, à l'action de courants sous-marins. Or la capacité de tels courants de déplacer les sables et leur existence même dans les grands fonds appartient, nous l'avons vu, au domaine des hypothèses très fragiles. Par contre, il est indiscutable que les fonds marins sont fréquemment secoués par des *chocs séismiques* de diverses intensités. D'autre part, — répétons-le —, les expériences en laboratoire montrent, de manière convaincante, que des secousses de diverses orientations et fréquences sont nettement capables de produire, dans des sédiments encore meubles, des ripple marks symétriques aussi bien qu'asymétriques.

N'est-il pas alors illogique de continuer à supposer l'existence, dans les grandes profondeurs, de courants capables de transporter le matériel meuble, pour l'unique raison de la présence de ripple marks sur les fonds marins ?

La question se pose encore de la conservation des ripple marks et, à la longue, de leur « fossilisation ».

La conservation des ripple marks créées par les chocs séismiques dépend, en premier lieu, du temps pendant lequel les rides fraîchement formées restent à l'abri de nouvelles vibrations suffisamment puissantes pour les détruire ou du moins les modifier. Notons, en passant, que la « fossilisation » des ripples marks produites par des courants est pratiquement impossible, car les courants déplacent continuellement les rides qu'ils forment (L. J. TISON, 1939). Ainsi les matériaux fraîchement sédimentés participent à la formation des rides au lieu de leur servir de couverture de protection.

La « fossilisation » des ripple marks exige en effet l'arrivage de nouveaux matériaux qui en assurent la protection en les recouvrant. Les matières colloïdales ou semi-colloïdales précipitées, et formant les couches d'argile, appartiennent à cette catégorie de matériaux. Il y a lieu d'envisager aussi l'arrivage de matériel, fin ou grossier, granulé, transporté par l'action des microséismes (OULIANOFF, 1960, 1; 1960, 4). Telle est à mon avis la réponse au problème posé par BUCHER (1919) : « The preservation of typical oscillation ripples under a thick layer of rather coarse sand, as it is frequently seen in many sandstone formations, offers the same problems as that of current-ripples, but more surprising yet ». La sédimentation formant une couche de nature argileuse ou argilo-gréseuse protégera dans la suite la géométrie des ripple marks pendant la période de diagenèse; elles resteront alors définitivement incrustées et « fossilisées » dans la masse rocheuse. Par contre, si la couche de protection n'arrive pas à se former pendant la période de repos séismique, les ripple marks sont exposées à être détruites ou modifiées par l'effet des chocs séismiques postérieurs.

## PUBLICATIONS CITÉES.

- BOWDEN K. F., 1954. — The direct measurement of subsurface currents in the Oceans. *Deep-Sea Research* 2, 33-47.
- BUCHER W. H., 1919. — On Ripples and related sedimentary forms and their paleogeographic Interpretation. *Am. Jour. of Sc.* 47, 149-210, 241-269.
- EKMAN V. W., 1953. — Studies on ocean currents. *Geofysiske publikasjoner* XIX, Bergen.
- HAUG E., 1911. — *Traité de géologie*, I. Paris.
- HEEZEN B. C., THARP M. et EWING M., 1959. — The floors of the oceans, I. *Geol. Soc. Am., Spec. pap.* 65.
- HUNKINS K. L., EWING M., HEEZEN B. C. et MENZIES R. J., 1960. — Biolog. and geolog. observations on the first photographs of the arctic ocean deep-sea floor. *Limnology and Oceanography* 5, 154-161.
- JOHNSON D. W., 1919. — Shore processes and shoreline development New York, 584 pp.
- LAUGHTON A. S., 1959. — Photographie du fond de l'océan. *Endeavour* N° 72, 178-185.
- LOMBARD AUG., 1956. — *Géologie sédimentaire*. Paris.
- MENARD H. W., 1952. — Deep ripple marks in the sea. *Journ. of sedim. Petrology* 22, 3-9.
- OULIANOFF N., 1958, 1. — Sédimentologie et géophysique. *C. R. Ac. Sc. Paris* 247, 313.
- , 1958, 2. — Effet des vibrations expérimentales sur la sédimentation. *C. R. Ac. Sc. Paris* 247, 2404.
- , 1959. — L'eau comme sédiment. V<sup>e</sup> Congr. intern. de sédimentologie, 1958. *Eclogae geol. Helvet.* 51, 696-706.
- , 1960, 1. — Transport des matériaux meubles sur les fonds océaniques. *C. R. Ac. Sc. Paris* 250, 4410.
- , 1960, 2. — Tassement et effondrement dans les séries sédimentaires. *C. R. Ac. Sc. Paris* 251, 115.
- , 1960, 3. — Problème du Flysch et géophysique. *Eclogae geol. Helvet.* 53, 155-160.
- , 1960, 4. — Compaction, déplacement et granoclassement des sédiments. *XXI<sup>st</sup> Session of the Intern. geol. congress. Copenhagen*, Part X, 54-58.
- ROMANOVSKY V. et LE FLOCH J., 1960. — Mesures de courants au voisinage du fond. *C. R. Ac. Sc. Paris* 251, 2059.
- SHVETZOV M. S., 1958. — *Pétrographie des roches sédimentaires* (en russe). 3<sup>e</sup> édit. Moscou.
- SVERDRUP H. U., 1954. — *Oceanography in « The Earth as a Planet »*. Univers. of Chicago Press.
- SWALLOW J. C., 1957. — Some further deep current measurements using neutrally-buoyant floats. *Deep-Sea Research* 4, 93-104.
- et HAMON B. V., 1960. — Some measurements of deep currents in the Eastern North Atlantic. *Deep-Sea Research* 6, 155-168.
- et WORTHINGTON L. V., 1957. — Measurements of deep currents in the Western North Atlantic. *Nature* 179, 1183.
- TISON L. J., 1939. — Bancs de sable et ripple-marks dans les cours d'eau. *Annales Soc. Sc. de Bruxelles, Série II*, LIX, 41.
- TWENHOFEL W. H., 1950. — *Principles of sedimentation*. 673 pp.
- VASSOÏEVITCH N. B., 1951. — *Le Flysch et les méthodes pour l'étudier* (en russe), Moscou, 216 pp.

*Manuscrit déposé le 10 juin 1961.*