

Application de l'exoscopie des Quartz a Quelques Echantillons Preleves en Manche orientale

L. Le Ribault

Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 1975 **279**, 279-288

doi: 10.1098/rsta.1975.0060

Email alerting service

Receive free email alerts when new articles cite this article - sign up in the box at the top right-hand corner of the article or click [here](#)

To subscribe to *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* go to: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/subscriptions>

Application de l'exoscopie des quartz à quelques échantillons prélevés en Manche orientale

PAR L. LE RIBAULT†

Laboratoire d'Océanographie, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

[Plates 7–10]

The morphology and the appearance of quartz grains reveal the history of their movement and sedimentation. Consequently, many researchers have tried to decipher geological 'memory' using binocular microscopes and transmission and scanning electron-microscopes.

Krinsley and his colleagues, most notably, have consequently been able to define some superficial characteristics of quartz grains from glacial, fluvo-glacial, littoral and aeolian regions.

Thanks to the work of Cailleux (1942) and Cailleux & Trichard (1959) on morphoscopy, we now know that a binocular microscope allows us to recognize in most cases a marine or fluvo-glacial sand which has been subjected to wind or water-transport.

The present author believes that in this work, the principal value of the electron-scanning microscope, thanks to the powerful magnifications that it allows, would be to determine the characterization of incipient modification on very slightly modified quartz grains and not those of advanced development visible with low magnification. It is not possible to study separately mechanical and chemical effects; however, the simultaneous study of these, of their causes and of their interactions, in different surroundings has enabled the author to draw up an atlas of the surface aspects presented by quartz grains at various stages of pedological evolution and to characterize fluvial, inter-tidal, infra-tidal and wind-eroded features of differing intensity, even when these are only slightly marked on the grains.

One of the first applications of this method here called exoscopy was undertaken on quartz samples from cores taken in the eastern area of the English Channel by the 'Terebel'. Exoscopy and endoscopy (G. Deicha and colleagues) permit the reconstruction of a large part of the geological history of detrital quartzes by going back, step by step, to the original formation.

L'exoscopie des quartz, basée sur l'examen à forts grossissements de leurs aspects de surface au microscope électronique à balayage, a été appliquée sur quelques échantillons de sable prélevés par carottage en Manche Orientale. Cette méthode a permis de déterminer les conditions de dépôts des sédiments étudiés, et de retracer une partie de l'histoire antérieure des grains de sable qui les composent. Les photographies révèlent le danger que présenterait pour l'établissement d'un diagnostic la seule étude des traces de chocs, puisque la plupart des grains ont une origine dunaire, et ne s'individualisent qu'ensuite au cours de leur évolution dans des environnements de faible ou moyenne énergie mécanique.

† Adresse: Compagnie Française des Pétroles, Laboratoire Central, 114, Cours du Maréchal Galliéni, 33400 Talence (France).

La morphologie et l'aspect des grains de quartz détritiques traduisent fidèlement leurs conditions de genèse, de transport et de sédimentation; aussi de nombreux chercheurs ont-ils tenté de déchiffrer cette 'mémoire' géologique en utilisant notamment la loupe binoculaire, le microscope optique et les microscopes électroniques à transmission puis à balayage. Krinsley et ses collaborateurs en particulier ont ainsi pu définir quelques caractères superficiels de quartz bien évolués en provenance de milieux glaciaires, fluvio-glaciaires, littoraux et éoliens, ainsi que de quartz altérés et diagénisés.

En fait, grâce aux travaux de Cailleux (1942) et Cailleux & Tricart (1959) sur la *morphoscopie*, on sait qu'une loupe binoculaire permet dans la plupart des cas de reconnaître un quartz glaciaire, fluvio-glaciaire, marin, transporté en milieu aquatique ou éolisé, à condition qu'il soit bien évolué (suffisamment pour que la morphologie générale des grains soit modifiée par rapport à leur morphologie originelle de grains 'Non-Usés').

Aussi m'a-t-il semblé qu'en ce domaine, le principal intérêt du microscope électronique à balayage, grâce aux forts grossissements qu'il autorise, devait être de rechercher la caractérisation des évolutions *embryonnaires* (= très peu marquées) sur les grains de quartz détritiques très peu évolués, et non celle d'évolutions poussées identifiables à faibles grossissements.

1. PRINCIPE DE L'ANALYSE EXOSCOPIQUE DES QUARTZ

Comme son nom l'indique, l'*exoscopie* des quartz consiste à étudier leurs aspects superficiels au microscope électronique à balayage. A forts grossissements (entre 10000 et 40000 \times), il apparaît que celle-ci est modifiée parfois très rapidement (transformations visibles en quelques jours dans le milieu intertidal) par les facteurs évolutifs qui sévissent dans l'environnement, quel qu'il soit, où le quartz évolue. Ces derniers sont de deux types principaux: les *facteurs chimiques* et les *facteurs mécaniques*. Leurs relations et leur dépendance sont caractéristiques de chaque milieu et influent plus ou moins nettement sur la *géomorphie* (Le Ribault 1971) des grains de quartz. J'ai montré (Le Ribault 1973) que l'étude *séparée* des traces d'actions mécaniques et chimiques ne permettait pas à mon avis de déterminer avec certitude l'environnement dans lequel évoluait un quartz. Par contre, l'étude *simultanée* de celles-ci, en liaison étroite avec celle de la morphologie de détail des grains (arêtes, faces planes, dépressions) permet de caractériser les évolutions fluviale, intertidale, infratidale et éolienne; il est en outre possible de reconnaître divers types de quartz à évolution pédologique et de savoir s'ils sont directement issus de la roche-mère altérée ou si au contraire il s'agit de quartz pédogénisés après une histoire sédimentaire plus ou moins complexe. En ce qui concerne les quartz glaciaires, je renvoie le lecteur aux excellents travaux de Krinsley sur ce sujet (Krinsley & Doornkamp 1973). Enfin, dans l'établissement d'un diagnostic, il conviendra de ne pas oublier le rôle très important joué par les inclusions des quartz (Lofoli 1972): en effet, quand celles-ci sont en grand nombre ou affleurent à la surface des cristaux, elles fragilisent ceux-ci et, à la suite de chocs, les importantes fractures présentées par les grains ne sont pas obligatoirement un indice de haute énergie mécanique du milieu.

Outre le milieu final de sédimentation des quartz, l'analyse exoscopique permet de retracer plusieurs épisodes sur un seul grain: il est extrêmement courant d'en distinguer 4 à 5, et il arrive, dans des cas particulièrement favorables, d'atteindre le chiffre de 8 stades successifs, replacés dans leur ordre chronologique.

La fraction granulométrique idéale pour une analyse exoscopique des quartz est celle

comprise entre 300 et 400 μm . Au-dessus de ce diamètre, l'influence des facteurs mécaniques est prépondérante par rapport à celle des facteurs chimiques, ce qui risque évidemment de fausser le diagnostic; au-dessous de 300 μm l'inverse se produit. Toutefois, d'excellents résultats ont déjà été obtenus sur des quartz de 70 μm à 2 mm de diamètre.

2. LES CARACTÈRES SUPERFICIELS DES QUARTZ DANS LES PRINCIPAUX ENVIRONNEMENTS

Dans ce chapitre, seuls seront décrits les caractères majeurs qui apparaissent sur les quartz dans les principaux environnements nettement différenciés, sauf le milieu glaciaire dans lequel nous retrouvons sur les quartz les caractères définis par Krinsley. Il convient toutefois de préciser que ces environnements majeurs ne sont pas les seuls que l'exoscopie permet de différencier; en effet, les caractères comparés d'un certain nombre de quartz par échantillon conduisent à une plus grande finesse d'interprétation des résultats: il est alors possible par exemple (Le Ribault 1974), non seulement de caractériser un estuaire ou un delta, mais même de préciser la localisation de l'échantillon au sein de cet estuaire ou de ce delta. Divers travaux en cours ou publiés (Claisse 1972; Leneuf 1972) permettent d'espérer qu'il sera un jour possible de différencier, par exoscopie des quartz, divers types de profils pédologiques. Enfin, des recherches actuellement entreprises sur des sables marins montrent que la morphologie de détail des grains peut parfois être un indice bathymétrique utile pour la connaissance du milieu de dépôt des sédiments.

(a) *Les caractères des quartz non-évolués*

Existence de surfaces 'nues', totalement dépourvues de dépôts ou de figures de dissolution. Absence totale de toute trace de choc provoquée par un transport aquatique ou terrestre.

(b) *Les quartz d'altérite et les quartz pédologiques*

(i) *Horizons pédologiques où la silice est dissoute*

Absence totale de toute trace de transport: aucune marque de choc sur les arêtes.

Desquamation progressive de la surface, qui se marque par un écaillage visible surtout dans les dépressions où circulent les solutions sous-saturées en silice dissoute et riches en éléments dissolvants.

Apparition de figures de dissolution sur les faces planes des grains (voir cliché 1) et dans les dépressions.

Présence de surfaces protégées (sans figures de dissolution) aux anciens points de contacts du quartz avec d'autres minéraux immobilisés.

(ii) *Horizons pédologiques où s'accumule la silice*

Absence totale de toute trace de transport: aucune marque de choc sur les arêtes.

Présence de surfaces protégées aux anciens points de contact du quartz avec d'autres minéraux immobilisés.

En outre, qu'il s'agisse des arêtes, des faces planes ou des dépressions affectant les grains, on observe sur ceux-ci les caractères suivants:

Dépôt d'une pellicule écaillée en silice très soluble.

Sous celle-ci, une zone de transition plus ou moins cristallisée, intermédiaire entre le quartz-support et la pellicule écaillée externe (voir figures 15 et 16).

Parfois, des fleurs de silice présentant tous les degrés d'organisation cristalline, depuis les fleurs mal cristallisées jusqu'à celles transformées en quartz (voir figure 15).

(c) *Les caractères des quartz fluviatiles*

Apparition de traces de chocs (milieux de haute et moyenne énergie mécanique) avec un gradient d'éroulement de leur morphologie de détail en fonction de leur ancienneté; ces traces de chocs apparaissent sur les arêtes (densité la plus forte) et sur les faces planes (voir figure 1).

Légère (milieux de moyenne énergie) ou forte (milieux de haute énergie) dissolution de la zone de transition héritée de l'épisode d'altération de la roche-mère.

Sur les arêtes (milieux de haute, moyenne et basse énergie) et les faces planes (milieux de haute et moyenne énergie), disparition de la pellicule écailleuse soluble héritée de l'altération. Ceci est un cas général, puisque la formation des écailles peut être originellement due à une desquamation (= dissolution) ou au contraire à un phénomène de précipitation de silice.

Dissolution progressive des fleurs de silice (milieux de haute, moyenne et basse énergie).

DESCRIPTION DE PLANCHE 7

FIGURES 1-5. Les quartz fluviatiles

FIGURE 1. Le sommet de l'arête (flèche) en haut à gauche du cliché est affecté de quelques traces de chocs à gradient de polissage (les traces les plus anciennes sont les plus polies); cette arête, ainsi que celle qu'on distingue en bas à droite de la photo, est propre et dépourvue de dépôts siliceux secondaires. Par contre, sur la face plane (centre du cliché), ces derniers sont très nombreux et piègent une diatomée: tous ces caractères prouvent une évolution fluviale de moyenne énergie. En outre, on remarque que la face plane présente de très nombreuses figures de dissolution: la localisation de celles-ci (présentes sur la face plane et absentes sur les arêtes) montre que le quartz, *avant* le transport fluvial, a subi une altération dans un horizon pédologique où la silice était dissoute.

Provenance de l'échantillon: fleuve Seine aux environs du Havre, Seine-Maritime, France.

FIGURE 2. Diatomée cimentée sur une face plane d'un quartz par des dépôts siliceux secondaires d'origine fluviale; au-dessous de l'algue, on distingue la pellicule siliceuse en 'coulées' orientées qui illustre l'altération du quartz dans un horizon pédologique où s'accumulait la silice, antérieurement au transport fluvial.

Provenance de l'échantillon: rivière le Loing à Episy-Sur-Loing, Seine-et-Marne, France.

FIGURE 3. Grain de quartz ayant subi une longue éolisation: remarquer les très nombreux croissants de chocs caractéristiques d'une telle évolution.

Provenance de l'échantillon: fleuve Seine aux environs du Havre, Seine-Maritime, France.

FIGURE 4. (Détail de la figure 3.) Grandissement sur les croissants de chocs: ces derniers sont légèrement exploités par des figures de dissolution (cercles); cette dissolution s'est exercée sur toute la surface du grain: le quartz a donc évolué en milieu marin infratidal.

FIGURE 5. (Détail de la figure 4.) Fort grandissement sur une portion du grain entre deux croissants de chocs: les dépôts siliceux visibles ici sont un indice d'évolution fluviale de moyenne énergie.

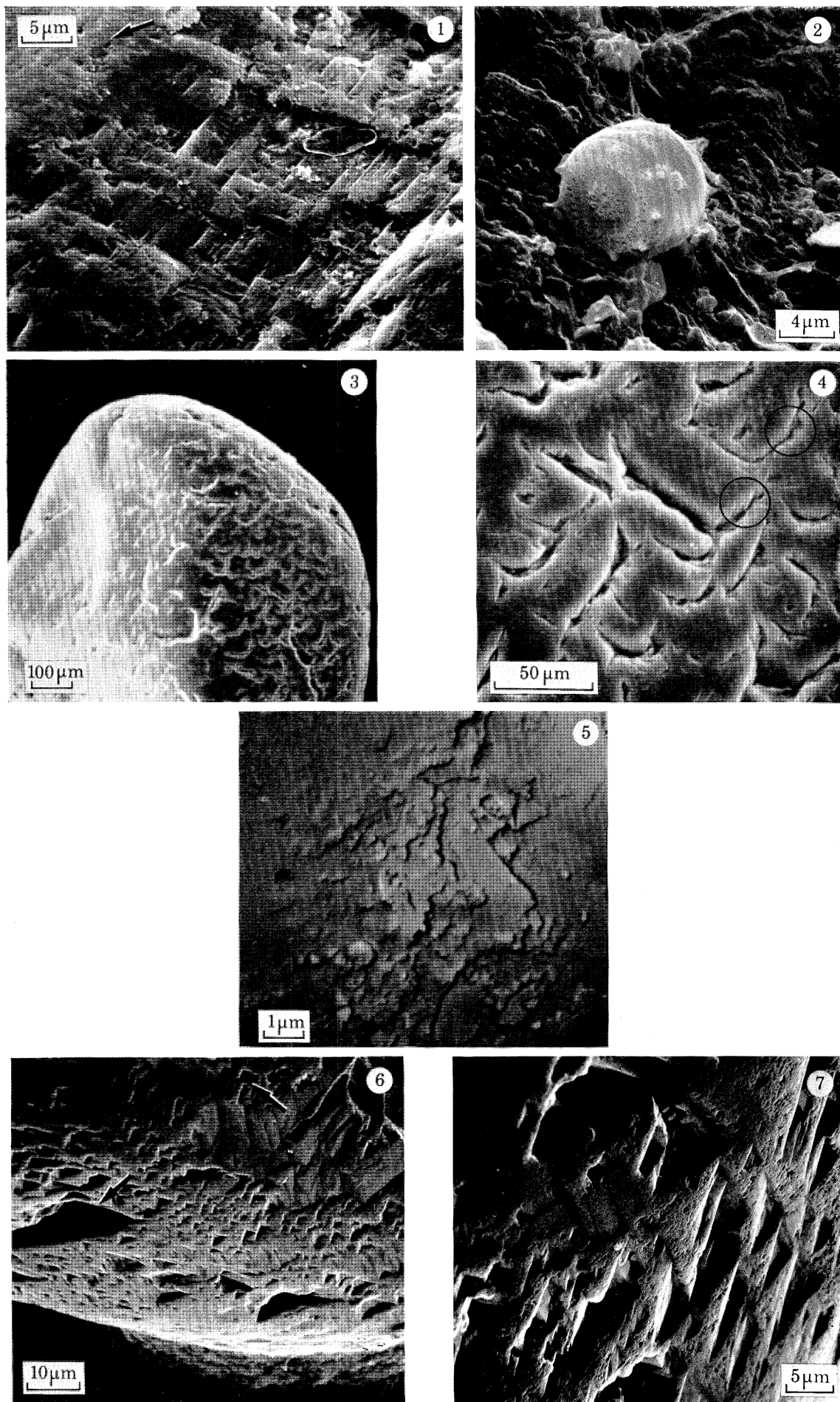
L'histoire du grain de quartz illustré par les clichés 3, 4 et 5 est donc la suivante: Forte éolisation (vraisemblablement sur une dune littorale), puis évolution marine infratidale dans une zone faiblement agitée, et enfin transport en milieu fluvial de moyenne énergie. Il s'agit donc d'un quartz marin fossile repris par la Seine.

FIGURES 6 ET 7. Les quartz infratidaux.

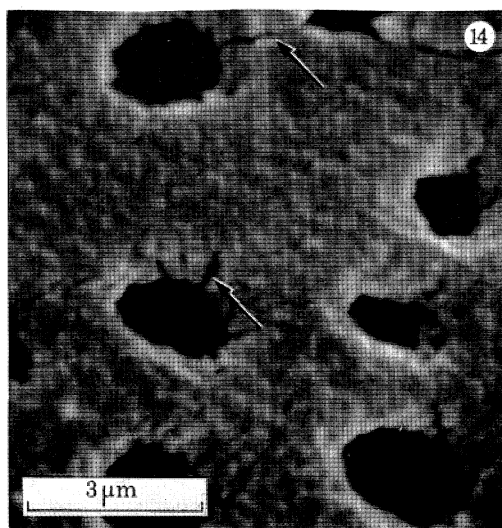
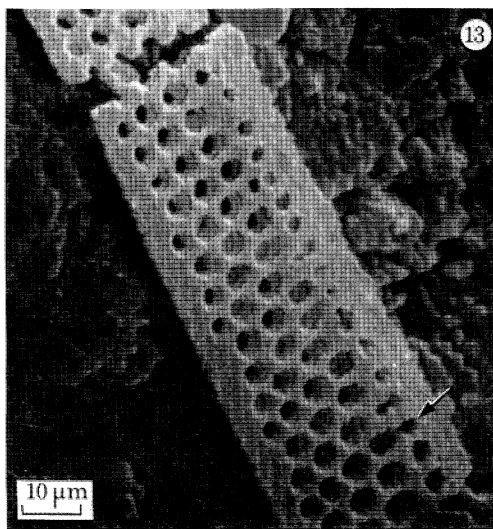
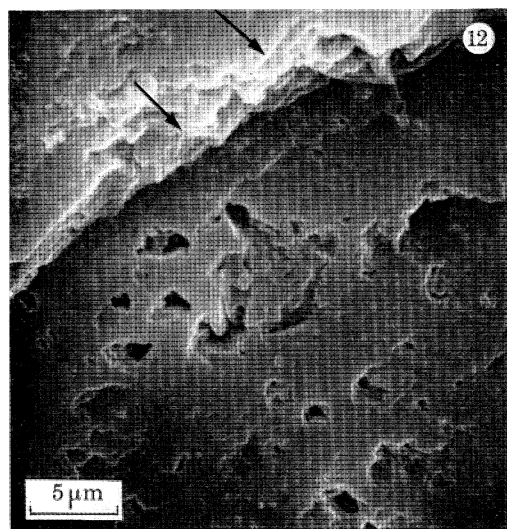
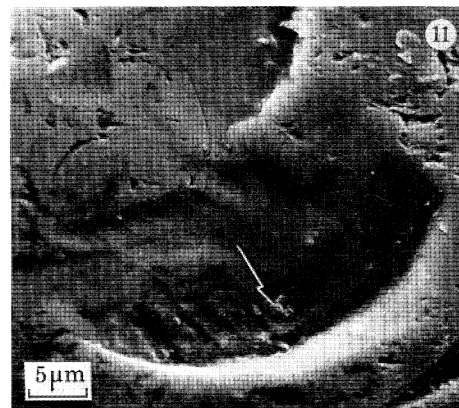
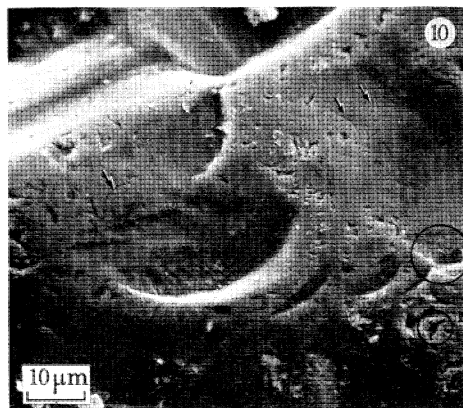
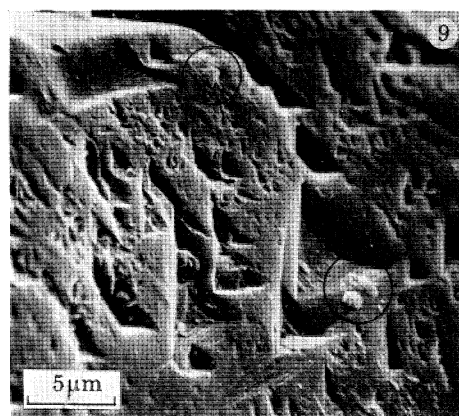
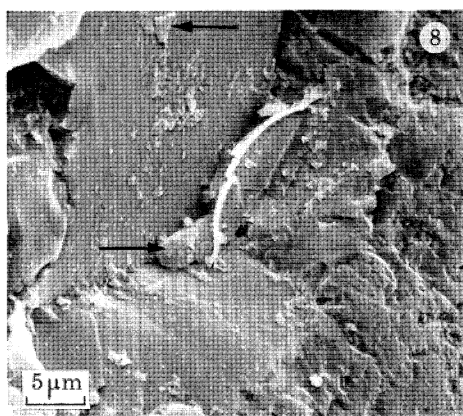
FIGURE 6. Ce cliché à faible grandissement (1000 ×) montre que les figures de dissolution affectent seulement les arêtes du grain de quartz: les faces planes (en haut de la photo) en sont dépourvues, excepté aux endroits entaillés par d'anciennes traces de chocs: ceci est une caractéristique des quartz infratidaux évoluant à une profondeur où un certain brassage des sédiments par la houle peut encore se produire.

Provenance de l'échantillon: Zone des Basses Mers de Grandes Vives Eaux, bas de la plage de Pirou, Manche, France.

FIGURE 7. (Vue d'un détail du grain représenté figure 6.) A un grandissement plus fort, la surface du quartz, modelée par de très nombreuses figures de dissolution, apparaît totalement dépourvue de dépôts siliceux secondaires. Elle est très 'propre'.



FIGURES 1-7. Pour la description regarder en opposer.



FIGURES 8-14. Pour la description regarder enop poser.

ECHANTILLONS PRELEVES EN MANCHE ORIENTALE 283

Précipitation de silice sous forme de dépôts globuleux sur les faces planes des grains (voir figures 1, 2 et 4) et à proximité immédiate des arêtes (milieux de haute et moyenne énergie); ces dépôts peuvent éventuellement recouvrir toute la surface des quartz (milieux de basse énergie, tels que bras morts de rivière par exemple).

Piégeage éventuel de diatomées par ces dépôts secondaires (voir photos 1 et 2).

Néogénèses de quartz dans les dépressions (milieux de moyenne et basse énergie) et sur les faces planes (milieux de basse énergie).

(d) *Les caractères des quartz marins*

En milieu marin, la phénomorphie (Le Ribault 1971) des grains de quartz sera principalement déterminée par l'influence de l'eau de mer: en effet, on sait que celle-ci est très sous-saturée en silice dissoute. Le quartz sera donc attaqué, et cette dissolution sera d'autant plus marquée que le brassage sera important.

DESCRIPTION DE PLANCHE 8

FIGURE 8. Les quartz intertidaux. Ce cliché illustre les différences qui existent sur un quartz intertidal entre les arêtes et les dépressions du grain: les arêtes, entaillées par de nombreuses traces de chocs à gradient de polissage (preuves d'un vigoureux brassage), sont dépourvues de tout dépôt siliceux secondaire. Par contre, les dépressions, *et elles seules*, sont emplies de tels dépôts qui cimentent divers débris minéraux (flèches) et une diatomée.

Provenance de l'échantillon: zone intertidale de la plage de Pirou, Manche, France.

FIGURES 9–11. Les quartz éoliens

FIGURE 9. On reconnaît ici les figures de dissolution qui ornent les arêtes des quartz marins, qu'il s'agisse de grains intertidaux ou infratidaux. Toutefois, contrairement à ce que montre le cliché 7, on constate ici que la surface du grain n'est pas 'propre', mais présente au contraire de nombreux débris (cercles) disséminés sur les faces planes et les arêtes: il s'agit de débris minéraux arrachés aux grains pendant l'éolisation; en outre, des dépôts siliceux au fond des figures de dissolution témoignent d'un épisode intertidal postérieur à une évolution infratidale et antérieur à l'épisode dunaire.

Provenance de l'échantillon: dune littorale, plage de Berck, Pas-de-Calais, France.

FIGURE 10. Les quartz de dunes littorales témoignent fréquemment de leurs allées et venues entre celles-ci et la zone intertidale proprement dite. Sur ce cliché, la figure la plus marquante est le croissant de choc légèrement poli qui occupe le centre de la photo. Mais celui-ci n'est pas isolé: en regardant de près, on constate (flèches) que de nombreux autres croissants, mais très polis ceux-là, cohabitent avec lui. Le quartz représenté ici a donc subi au moins deux épisodes éoliens, suivis chacun par une reprise en milieu marin. Enfin, à droite du cliché (cercle), de petites traces de chocs à bords aigus indiquent une dernière éolisation, actuelle, puisque le contour de ces traces est dépourvu de tout polissage.

Provenance de l'échantillon: dune littorale, Domaine du Marquenterre, Pas-de-Calais, France.

FIGURE 11. (Détail de la figure 10.) La bordure du croissant apparaît nettement polie; on distingue en outre (flèche) des dépôts intertidaux qui montrent que ce polissage s'est produit sur une plage, ce qui précise les conclusions données pour la photo 10.

L'histoire du grain de quartz est donc la suivante: (1) éolisation, (2) reprise par la mer, (3) éolisation, (4) reprise en milieu intertidal, (5) nouvelle éolisation sur une dune littorale.

FIGURES 12–14. Echantillon 20 A 1

FIGURE 12. La surface très propre du grain de quartz, les figures de dissolution qui apparaissent sur l'arête (flèches) et le début d'exploitation des traces de chocs et des inclusions par la dissolution montrent clairement les caractéristiques d'une évolution infratidale déjà bien amorcée.

FIGURE 13. Diatomée reposant sur un grain de quartz. La dissolution affectant le test Siliceux de cette algue en un milieu très sous-saturé en silice dissoute est très visible vers le bas du cliché (flèche).

FIGURE 14. Vue à fort grandissement (30000×) du test siliceux d'une diatomée. La dissolution est déjà poussée et le test est en voie de désagrégation (flèches).

(i) *Les quartz infratidaux*

Disparition de la pellicule écaillée soluble héritée de l'altération.

Dissolution de la zone de transition.

Disparition des fleurs de silice, même bien cristallisées.

Attaque du quartz, avec apparition des figures de dissolution qui caractérisent ce phénomène. Mais contrairement à ce qui se produit en milieu pédologique, les sables sont ici légèrement brassés par la houle ou les courants sous-marins: les figures de dissolution apparaissent donc *d'abord* sur les arêtes et exploitent les anciennes traces de chocs (figures 6 et 7), *puis* s'étendent aux faces planes et atteignent enfin les dépressions.

La conséquence d'une telle dissolution est que la surface des quartz, débarrassée de tous les dépôts secondaires siliceux, apparaît très propre même à de forts grandissements.

(ii) *Les quartz intertidaux*

Outre les caractères déjà décrits pour le milieu infratidal, les quartz intertidaux s'individualisent par d'autres critères:

Le brassage plus ou moins violent qui se produit sur les plages provoquera l'apparition de traces de chocs à gradient d'émoussé (voir figure 8).

DESCRIPTION DE PLANCHE 9

FIGURES 15 ET 16. Echantillon 20 A 4

FIGURE 15. Différentes traces de chocs et surtout un croissant indiquent une éolisation. Les bords du croissant sont légèrement polis, ainsi que les irrégularités de la surface recouvertes par une pellicule en 'coulées' orientées que l'on distingue en bas à droite (P); celle-ci montre que le grain, après un léger transport, a été immobilisé dans un profil pédologique où s'accumulait la silice: sur la portion de grain protégée (SP) par le contact avec d'autres minéraux, des fleurs de silice se sont formées et constituent un groupe individualisé dans le croissant de choc d'origine éolienne.

FIGURE 16. Détail de la pellicule de silice en 'coulées' orientées ('P', en bas à droite du cliché 15); celle-ci présente un début de dissolution caractéristique d'une évolution infratidale; ce dernier épisode a toutefois dû être très bref, puisque les fleurs de silice subsistent sur le grain.

L'histoire du quartz est donc la suivante. (1) Eolisation bien marquée sur une dune littorale. (2) Léger transport en un milieu aquatique de faible énergie. (3) Immobilisation terrestre dans un horizon pédologique où s'accumulait la silice. Ce caractère peut être un indice d'émersion. (4) Enfin, reprise du grain en milieu infratidal.

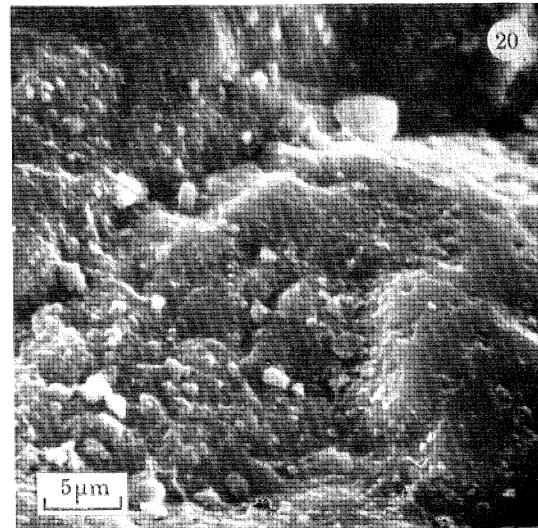
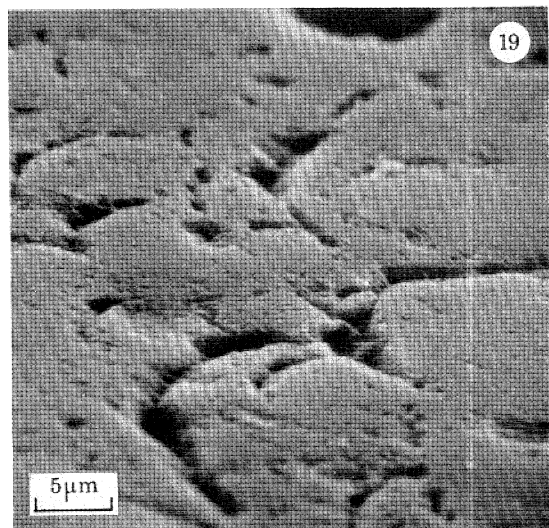
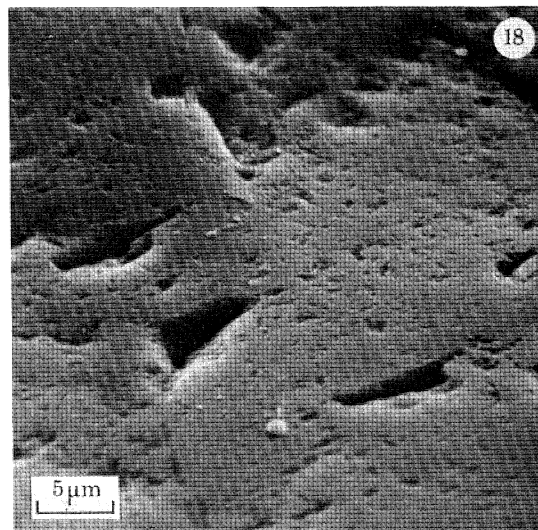
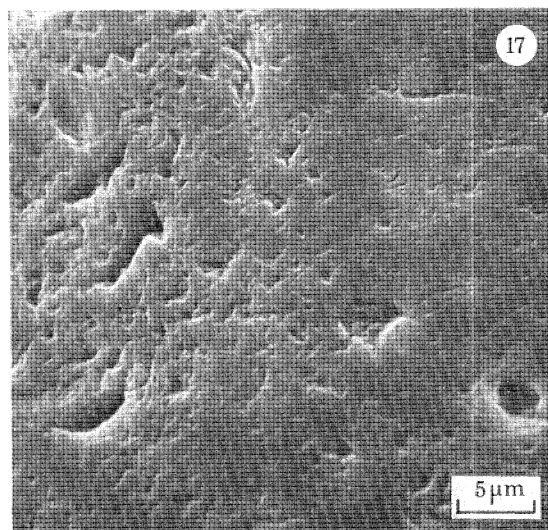
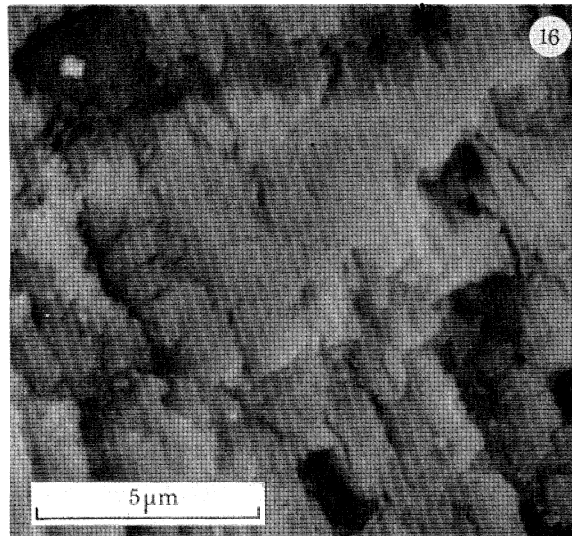
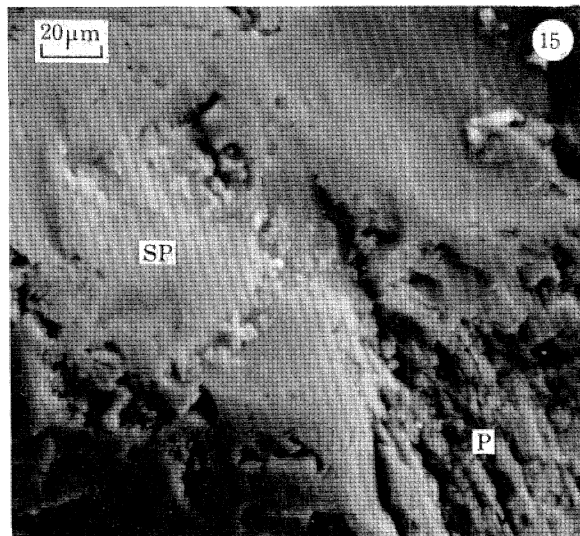
FIGURES 17-20. Echantillon 20 B 2

FIGURE 17. On remarque sur ce grain deux parties nettement distinctes: à gauche, une surface entaillée par de nombreuses traces de chocs en croissants témoigne d'une éolisation ancienne sur une dune littorale. À droite, l'arête du grain apparaît polie, et seules subsistent encore les traces les plus profondément marquées. Ce polissage de l'arête et l'absence de dépôts siliceux secondaires prouvent qu'après l'éolisation, le grain a évolué dans un milieu infratidal de basse énergie.

FIGURE 18. Sur un autre grain, une surface plane également polie témoigne d'une évolution infratidale. Les nombreuses traces de chocs en 'V' montrent qu'avant son immersion, le grain a évolué sur une plage de haute énergie.

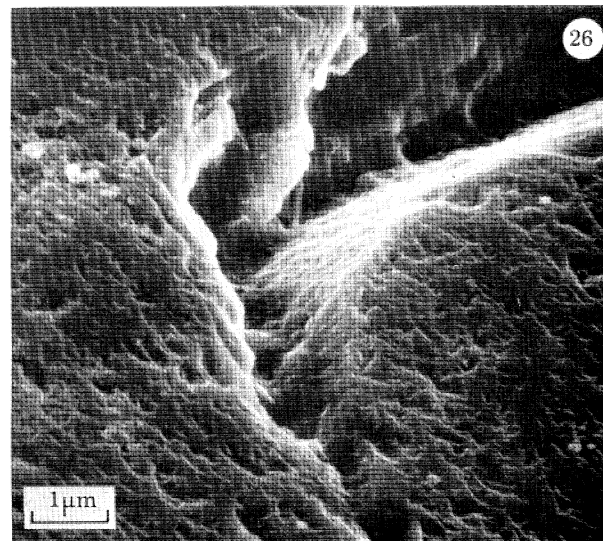
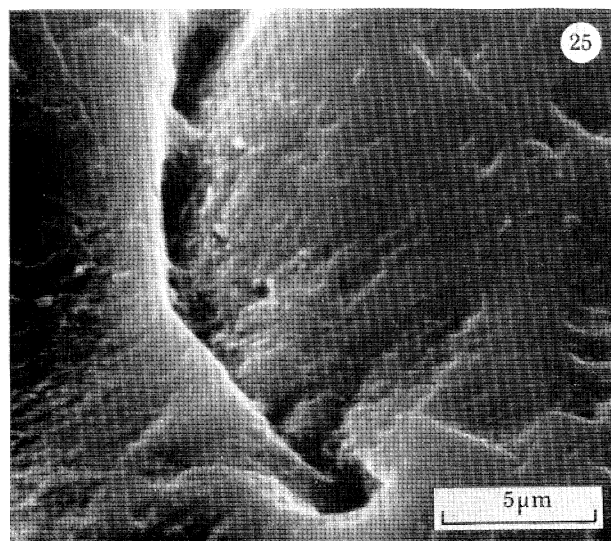
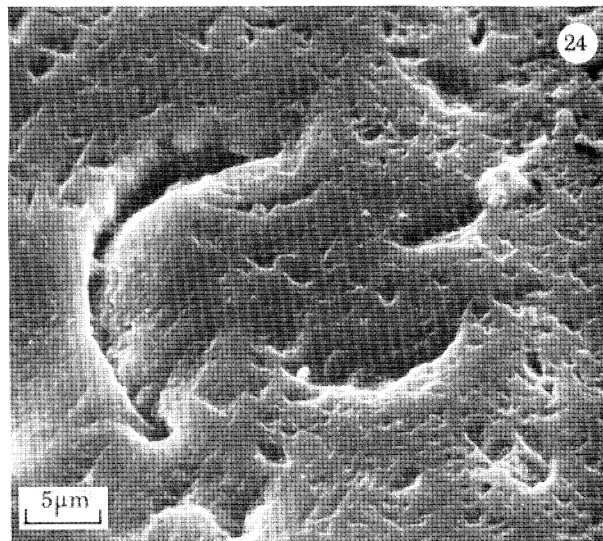
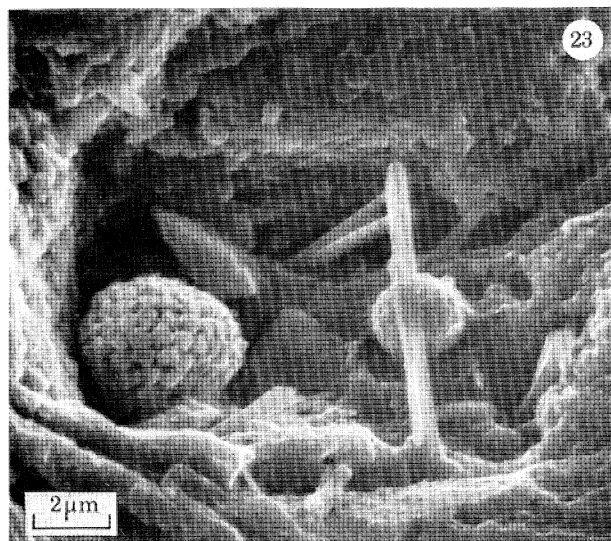
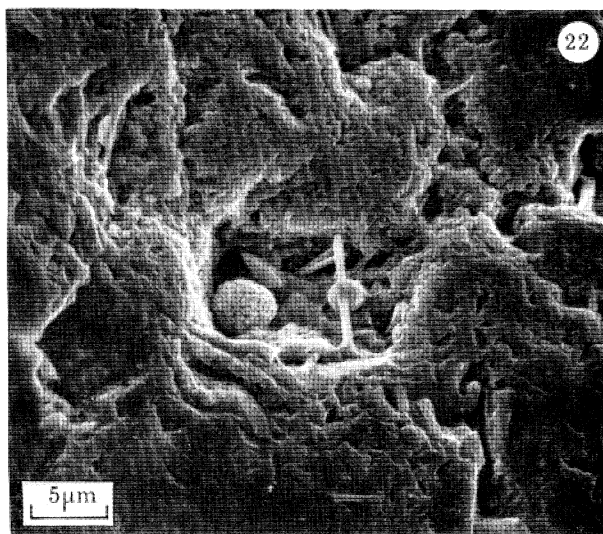
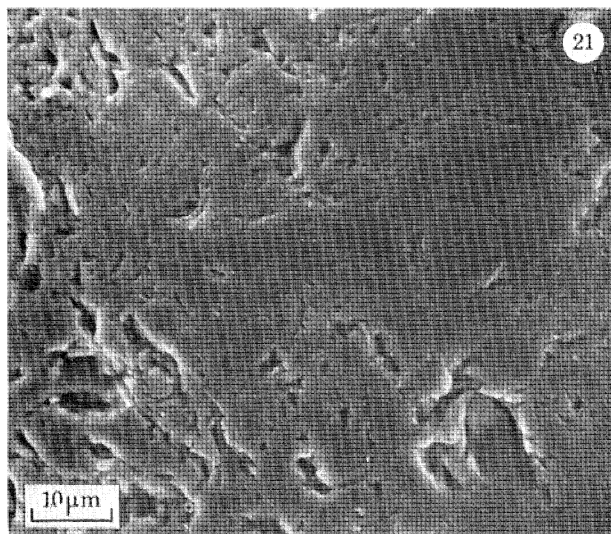
FIGURE 19. Un autre aspect d'un grain ayant subi une très violente éolisation avant son immersion en zone infratidale de basse énergie. Les caractères des grains illustrés par les clichés 17, 18 et 19 sont donc à dominante nettement marine.

FIGURE 20. L'arête du grain (en bas à droite) est affectée de traces de chocs à gradient d'émoussé et dépourvues de dépôts siliceux. Par contre, ces derniers envahissent les faces planes et les dépressions du quartz: nous sommes donc ici en présence d'un grain à évolution fluviale de moyenne énergie.



FIGURES 15–20. Pour la description regarder en opposer.

(Facing p. 284)



FIGURES 21–26. Pour la description regarder en opposer.

Pendant les émerisions bi-journalières subies par le grain, l'eau retenue dans les creux de la surface s'évapore; cette évaporation occasionne un enrichissement relatif de la solution en silice, et cette dernière précipite finalement sous forme de dépôts *strictement* localisés aux dépressions du grain (voir figure 8).

(e) *Les caractères des quartz éoliens*

Quelle que soit la densité des traces de chocs et leur morphologie, une évolution éolienne est aisément identifiable, même si elle est très peu poussée: en effet, les traces de chocs présentent toujours des contours extrêmement francs, très aigus et dépourvus de tout polissage (voir figure 9).

Quand l'éolisation est très poussée, on observe sur les quartz une densité de 'V', de cupules et de croissants de chocs plus ou moins importante selon le niveau d'énergie mécanique du milieu:

- Basse énergie: rares 'V' de chocs.
- Moyenne énergie: Nombreux 'V' de chocs plus quelques croissants et rares cupules (photo 10).
- Haute énergie: Très nombreux 'V' plus nombreux croissants et quelques cupules.

Conclusion

Il est donc possible de différencier les quartz évoluant dans les principaux environnements. Les clichés 1 à 11 illustrent cette possibilité sur des échantillons prélevés dans la Seine ou sur les côtes normandes et picardes, c'est-à-dire des sables récents semblables aux sables anciens prélevés par carottages au fond de la Manche.

DESCRIPTION DE PLANCHE 10

FIGURES 21–23. Echantillon 1 D6

FIGURE 21. L'aspect de surface représenté ici est très semblable à celui illustré par le cliché 17: une éolisation poussée a été suivie d'une immersion en milieu marin infratidal de très basse énergie mécanique (absence totale de toute trace de choc fraîche sur l'arête).

FIGURE 22. A la périphérie du cliché, on reconnaît les caractères d'une éolisation ancienne dont les traces de chocs sont émoussées sur les arêtes par un polissage aquatique. Au centre de la photo, on distingue deux pyritosphères au fond d'une ancienne inclusion.

FIGURE 23. (Détail de la photo 22.) Le grandissement révèle une pyritosphère typique, aux cristaux bien formés, et une autre moins nette, en partie cachée par un cristal, à droite de la précédente.

FIGURES 24–26. Echantillon 1 E3

FIGURE 24. Croissants de chocs éoliens exploités par des figures de dissolution. La localisation de celles-ci, sur l'arête, alors qu'elles sont absentes sur les faces planes (voir à droite du cliché) prouve que le grain de quartz a finalement été immergé dans une zone infratidale où sévissait un brassage assez important des sédiments (traces de chocs à gradient d'émoussé).

FIGURE 25. (Détail de la figure 24.) On note au fond du croissant la présence de dépôts siliceux typiquement intertidaux, légèrement polis.

FIGURE 26. Vue d'un autre grain à fort grandissement. Ici, les dépôts intertidaux ne sont pratiquement plus visibles, et indiquent une évolution infratidale. La proportion de grains de ce type (65%) par rapport à ceux qui présentent les dépôts intertidaux encore bien visibles illustrés par le cliché 25 (35%) indique que l'échantillon d'où proviennent les quartz étudiés évoluait au bas d'une plage, dans la zone des Basses Mers de Grandes Vives Eaux.

C'est à quelques analyses exoscopiques réalisées sur ces derniers que sera consacré le chapitre suivant. Le nombre d'échantillons étudiés est très restreint (5 échantillons), car le but de cet article n'est pas de relater une étude systématique de sables en provenance de la Manche, mais de démontrer sur quelques exemples l'intérêt de l'exoscopie des quartz pour des sédimentologues cherchant à retracer la paléogéographie de cette région.

3. APPLICATION DE L'EXOSCOPIE DES QUARTZ A QUELQUES SABLES DE LA MANCHE

Les carottes 1 et 20 d'où proviennent les échantillons décrits ici ont été prélevés en Manche Orientale par le navire Terebel, et étudiés au Laboratoire d'Océanographie de l'Université Paris-Sud (Orsay) dans le cadre des contrats C.N.E.X.O. 69/83 et 71-330.

(a) *Echantillon 20 A1: Profondeur dans le sédiment: de 0 à 10 cm*

Les quartz constituant cet échantillon sont directement soumis à l'action de la mer et, à 15 m de profondeur, subissent un certain brassage dû aux houles. Quelle que soit leur histoire antérieure, les caractères phénomorphiques des quartz hérités de celle-ci sont progressivement effacés par les influences marines du milieu infratidal (voir photos 12 à 14): tous les dépôts siliceux d'origine pédologique ou fluviatile ont disparu; des figures de dissolution apparaissent sur les arêtes des grains, et commencement à exploiter les anciennes traces de chocs et les inclusions; enfin, les diatomées emprisonnées dans le sédiment montrent une dissolution plus ou moins poussée (Chamley & Millot 1972).

Les mêmes constatations ont été faites pour l'échantillon 1 A1 (profondeur dans le sédiment: de 0 à 10 cm).

(b) *Echantillon 20 A4: Profondeur dans le sédiment: de 30 à 40 cm*

Les études granulométriques montrent ici les caractères des sables de ridens.

L'exoscopie des quartz à fort grandissement révèle un stock quartzueux assez homogène dont les grains présentent une histoire plus ou moins complexe, mais dont le dernier stade évolutif est toujours caractéristique d'un enfouissement rapide en milieu marin: en effet, la conservation sur certains quartz (voir photos 15, 16) de fleurs de silice (= indice probable d'émergence des sables avant la reprise marine) et la très légère dissolution des pellicules en 'coulées' orientées traduisent une importante vitesse de sédimentation en milieu marin infratidal: dans le cas contraire (reprise sur une plage par exemple ou évolution infratidale sous une mince épaisseur de sédiment) la pellicule et les fleurs auraient rapidement été dissoutes.

(c) *Echantillon 20 B2: Profondeur dans le sédiment de 1,10 à 1,20 m*

L'exoscopie des quartz montre dans cet échantillon la présence de deux stocks quartzueux très différents:

(i) *Les quartz d'origine côtière*

Ils représentent 70 % de l'échantillon. Sur la majorité d'entr'eux, de nombreux croissants de chocs, caractéristiques d'une éolisation sur une dune littorale, sont encore visibles, surtout sur les faces planes des grains. Par contre, les arêtes sont nettement polies et les croissants de chocs y sont moins visibles. Le fait que les traces de chocs soient plus fraîches sur les faces

planes que sur les arêtes prouve que les quartz, après une forte éolisation côtière, sont ensuite passés dans un environnement aquatique de basse énergie mécanique; enfin, l'aspect propre de la surface des grains précise que cet environnement final de dépôt est de type marin infratidal.

(ii) *Les quartz d'origine fluviatile*

Ils représentent 30 % de l'échantillon. Contrairement aux précédents, on n'y observe aucune trace d'éolisation. Les arêtes des grains (voir cliché 20), affectées de traces de chocs à gradient de polissage, sont dépourvues de dépôts siliceux. Par contre, ces derniers envahissent les faces planes et les dépressions des grains: nous sommes donc en présence de quartz ayant subi une évolution fluviatile de moyenne énergie. La reprise en milieu marin n'est marquée que par une légère dissolution des dépôts sur les faces planes des grains.

L'échantillon 20 B2 indique donc la proximité d'un estuaire dont les sables fluviatiles se mélangent à des quartz marins très évolués d'origine dunaire qui représentent la majorité de l'échantillon. L'évolution finale de tous les quartz est de type infratidal de basse énergie.

(d) *Echantillon 1 D6: Profondeur dans le sédiment de 3,50 à 3,60 m*

L'origine des quartz de cet échantillon est très semblable à celle des grains de l'échantillon 20 B2 (voir figure 21): on constate en effet que le premier épisode marqué sur les grains (voir photo 21) est une importante éolisation côtière.

Par contre, le second stade d'évolution est très différent: dans les dépressions de certains quartz, on remarque la présence de pyritosphères (voir figures 22 et 23); selon Combaz (1970), de telles microsphérules caractérisent un milieu marin, peu profond, marqué par des influences continentales proches et probablement plus ou moins dessalé. Une telle description pourrait s'appliquer par exemple à une lagune littorale, et expliquerait le polissage très discret et d'origine marine présent sur les arêtes des grains.

L'échantillon 1 D6, composé en majeure partie de quartz d'origine dunaire, s'est donc déposé dans une lagune littorale soumise à des influences continentales.

(e) *Echantillon 1 E3: Profondeur dans le sédiment de 4,20 à 4,30 m*

On retrouve ici un premier épisode éolien très fortement marqué sur les grains. Après cette évolution terrestre, les quartz ont été immergés en milieu marin infratidal, comme le prouvent les figures de dissolution surtout marquées sur les arêtes et exploitant les anciens croissants de chocs éoliens. La présence de nombreuses traces de chocs à gradient d'émoussé indique qu'il régnait dans cet environnement marin un brassage assez important. En outre, le fond des croissants, sur 35 % des grains, est rempli de dépôts siliceux typiquement intertidaux, mais en voie de dissolution (voir figure 25); tous les grains sont donc d'origine côtière, mais montrent ensuite une évolution infratidale dans un milieu de moyenne énergie, avec un important apport de quartz intertidaux: l'échantillon 1 E3 s'est déposé près de la côte, dans la zone des basses mers de Grandes Vives Eaux.

CONCLUSION

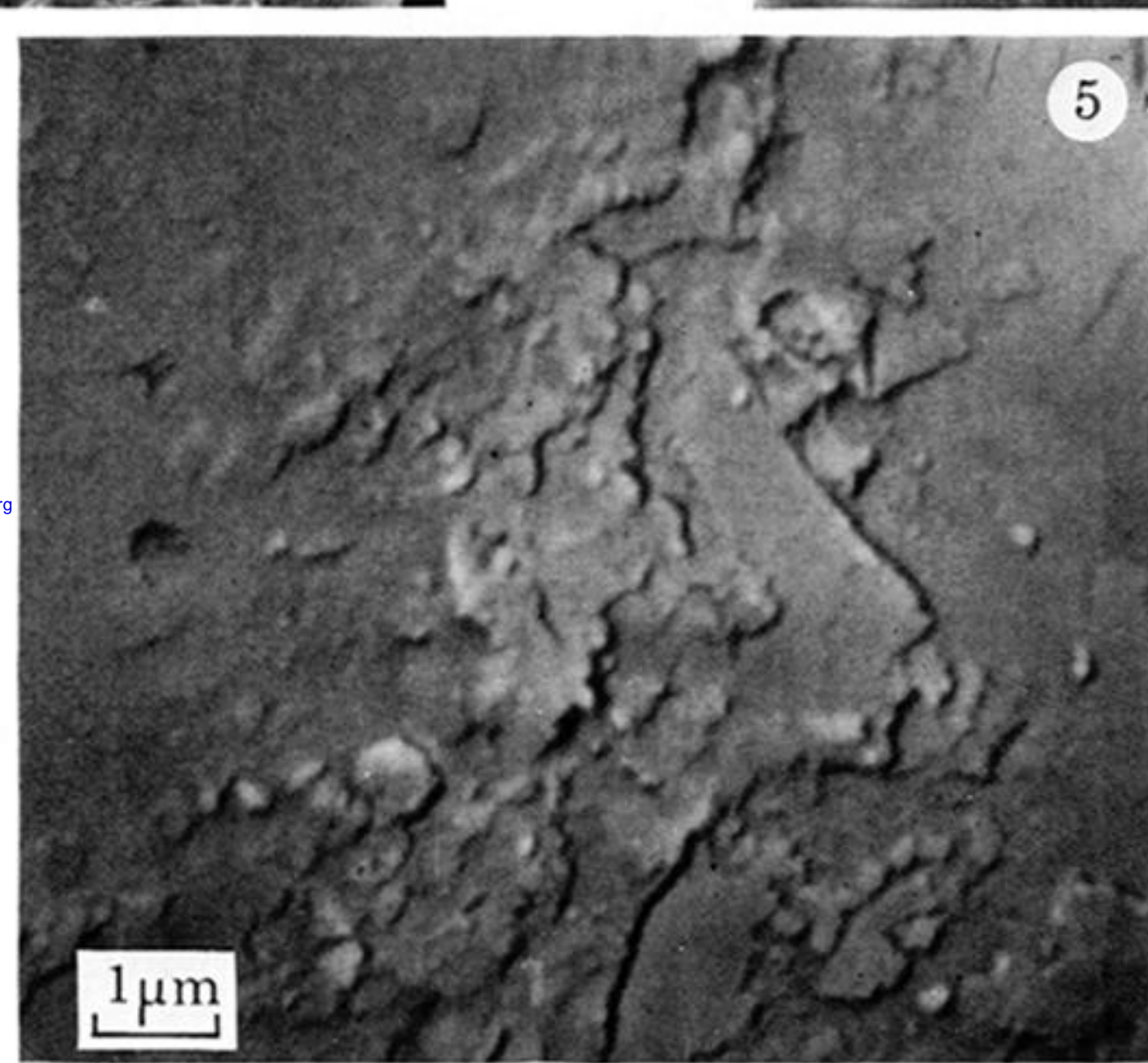
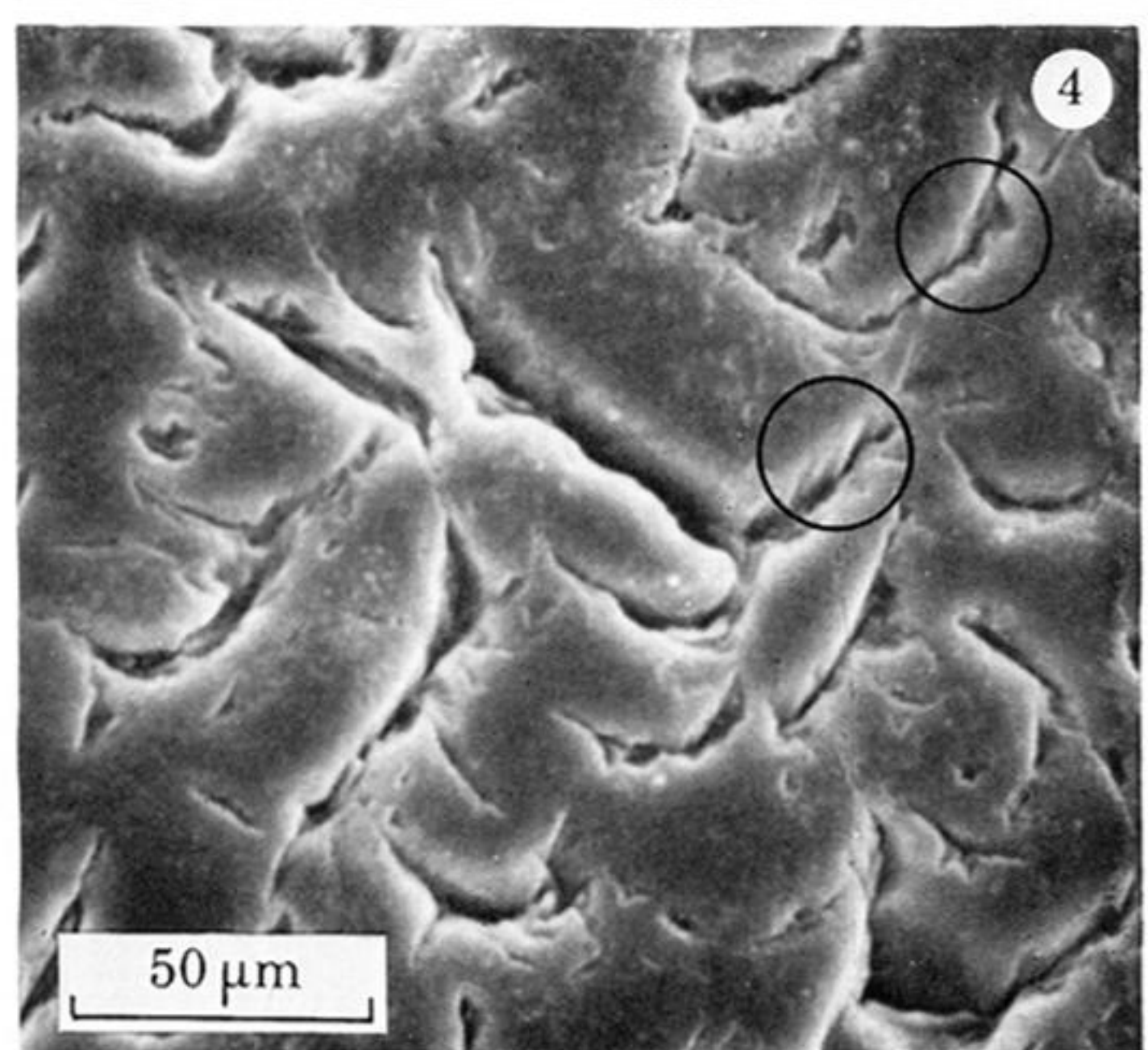
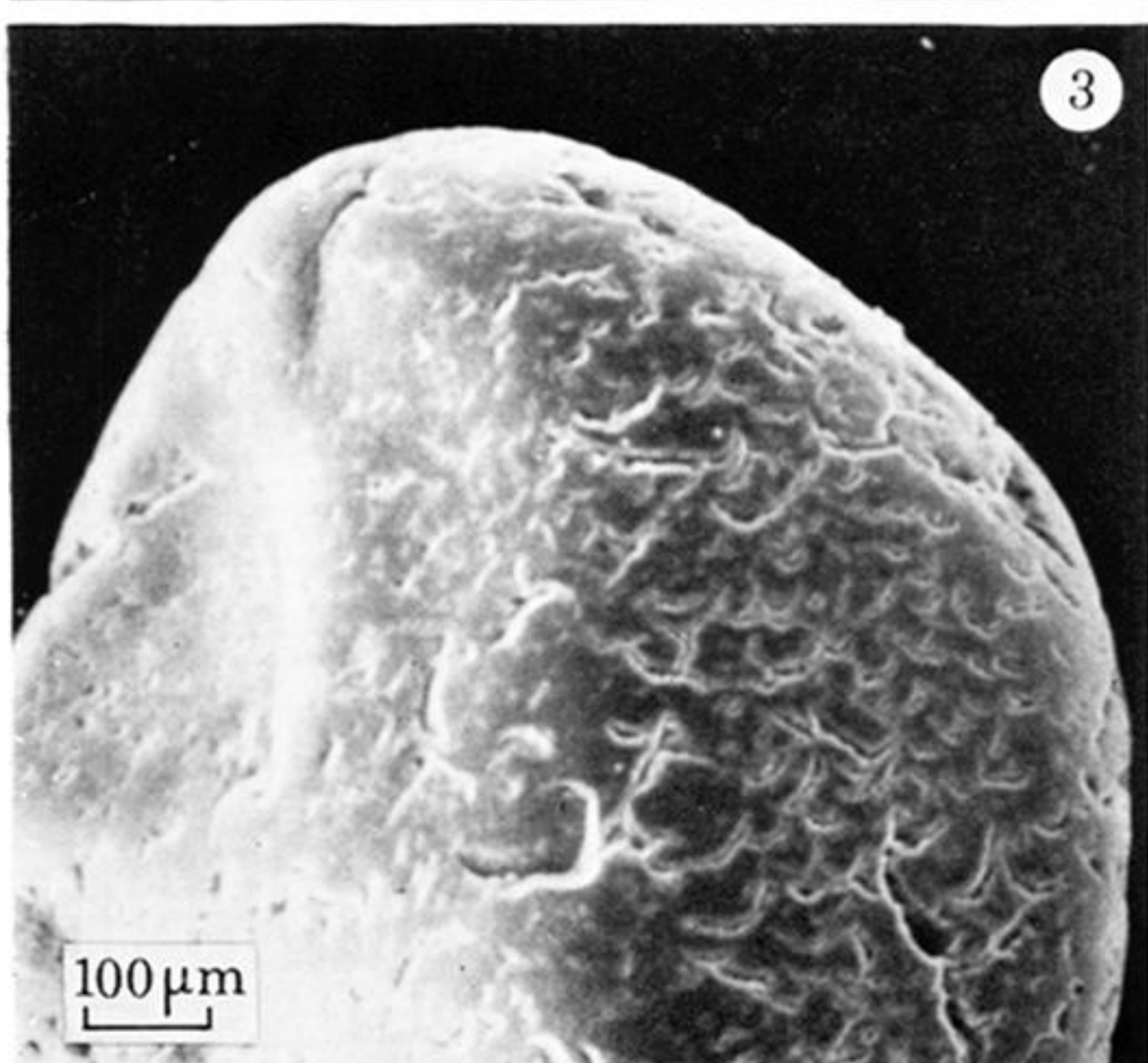
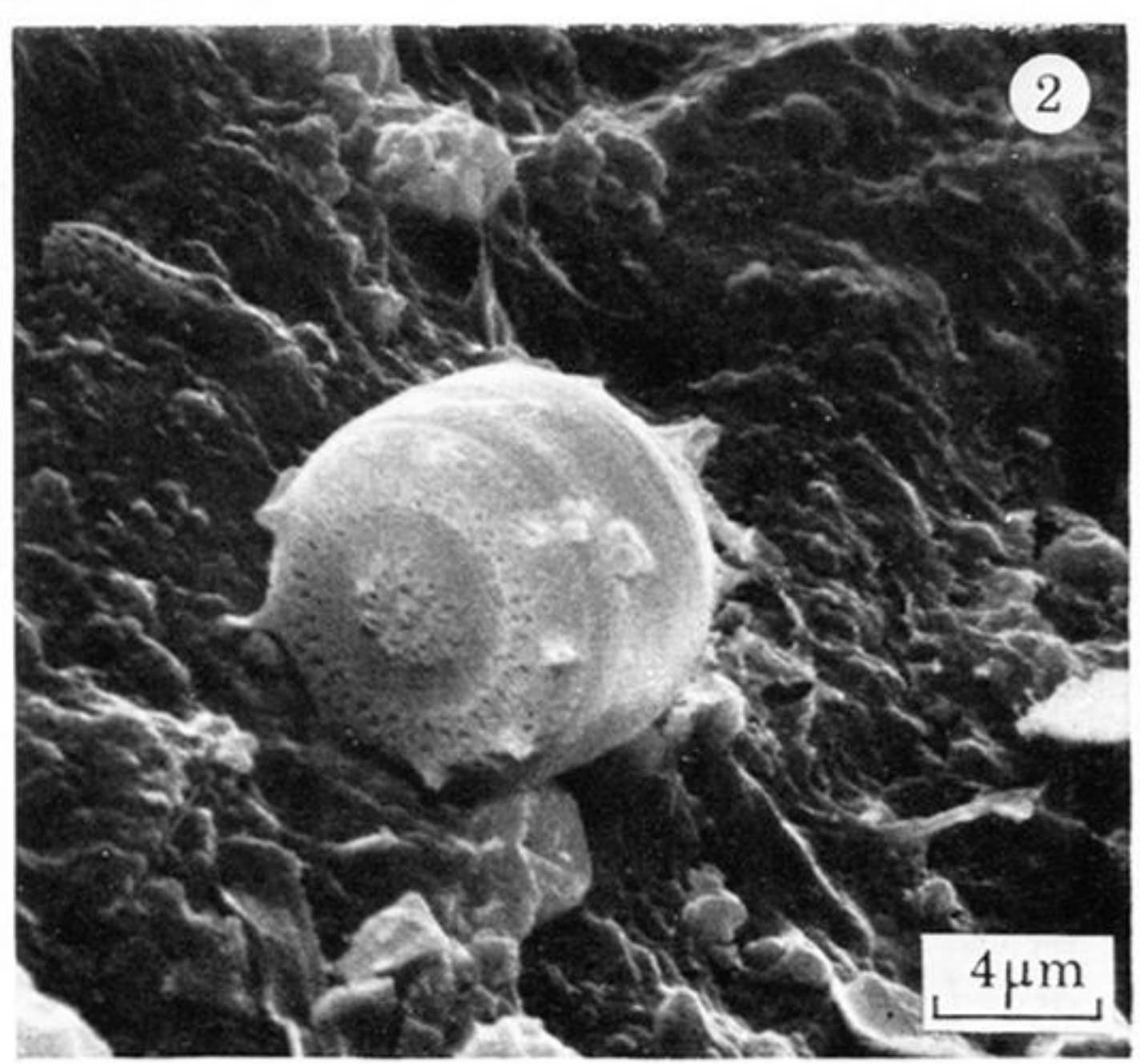
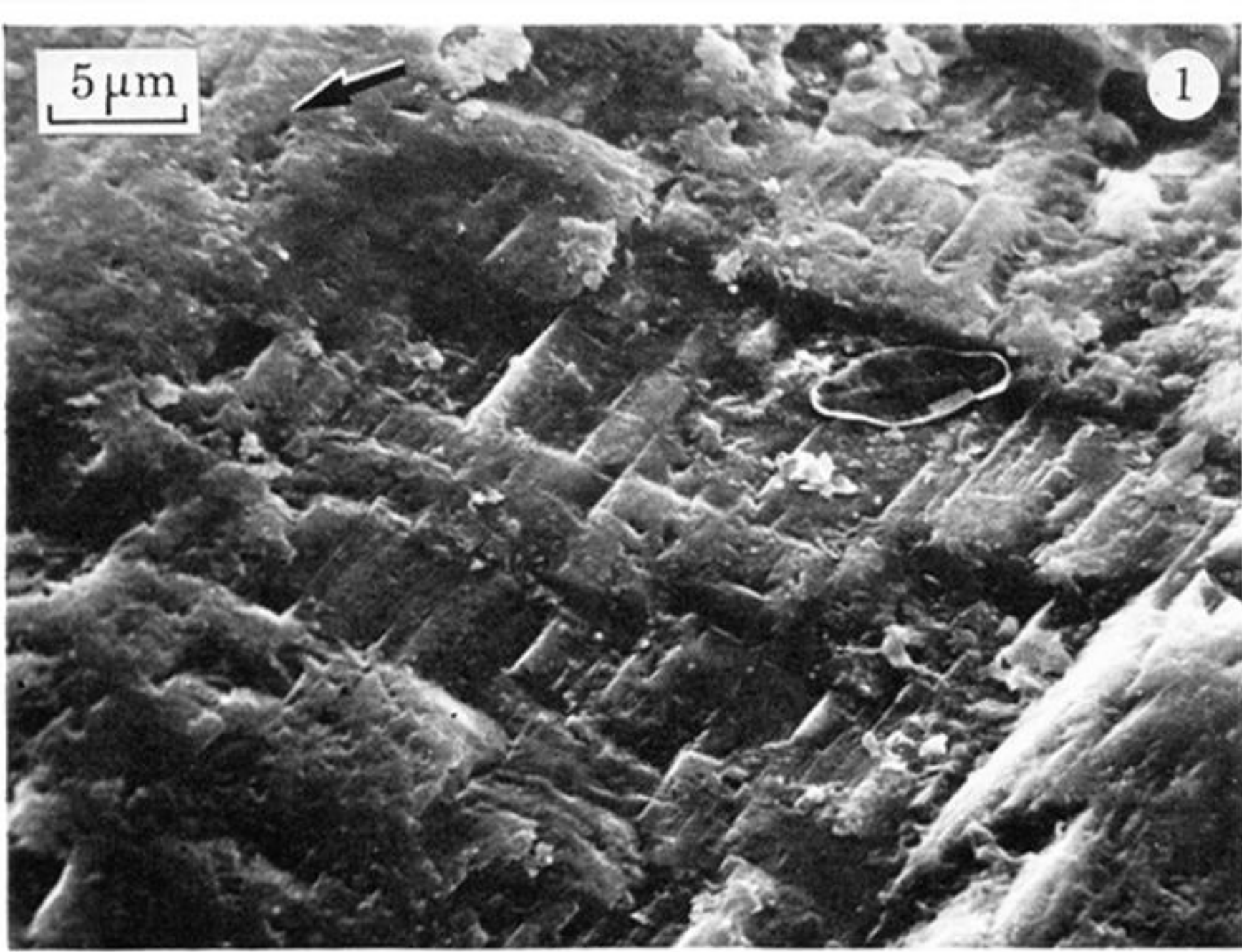
L'analyse exoscopique des quartz de quelques échantillons prélevés par carottage en Manche orientale a permis de déterminer non seulement leur milieu de dépôt final, mais aussi de retracer une partie de leur histoire antérieure; il est ainsi apparu que de nombreux grains de sable avaient une origine commune, les dunes littorales, mais que leur évolution ultérieure était

très variable selon les échantillons. Or, si l'éolisation marquée sur les grains pendant l'épisode dunaire est visible à faible grandissement grâce aux croissants de chocs aisément identifiables, il n'en est pas de même pour les caractères (dépôts siliceux, pyritosphères, etc.) moins visibles qui permettent cependant de préciser les conditions de dépôt final des grains de quartz. Ainsi croyons-nous avoir démontré la nécessité d'utiliser les forts grandissements qu'autorise le microscope électronique à balayage pour la détermination des évolutions embryonnaires subies par les grains de sable, et l'utilité de l'exoscopie des quartz dans les recherches paléogéographiques.

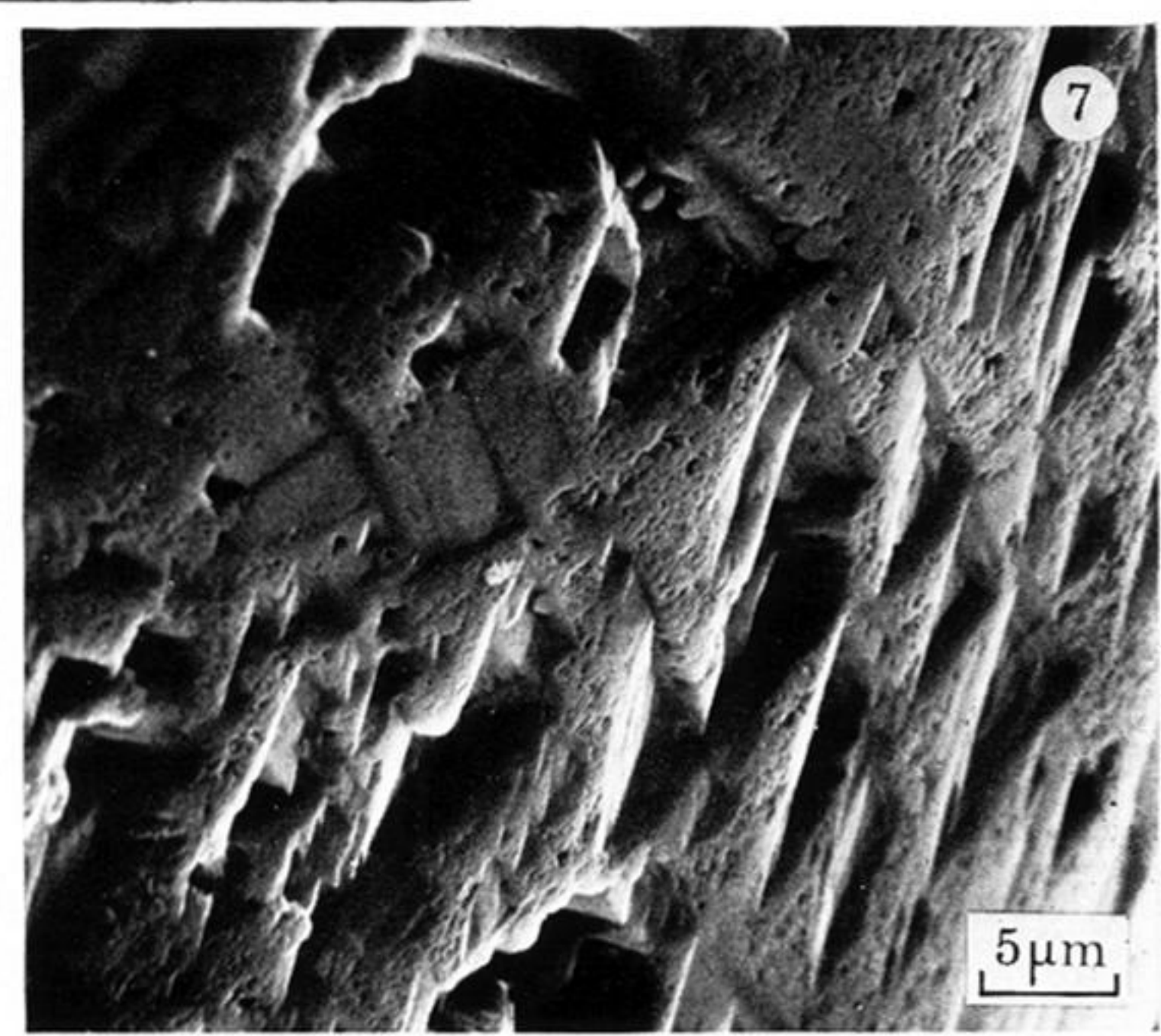
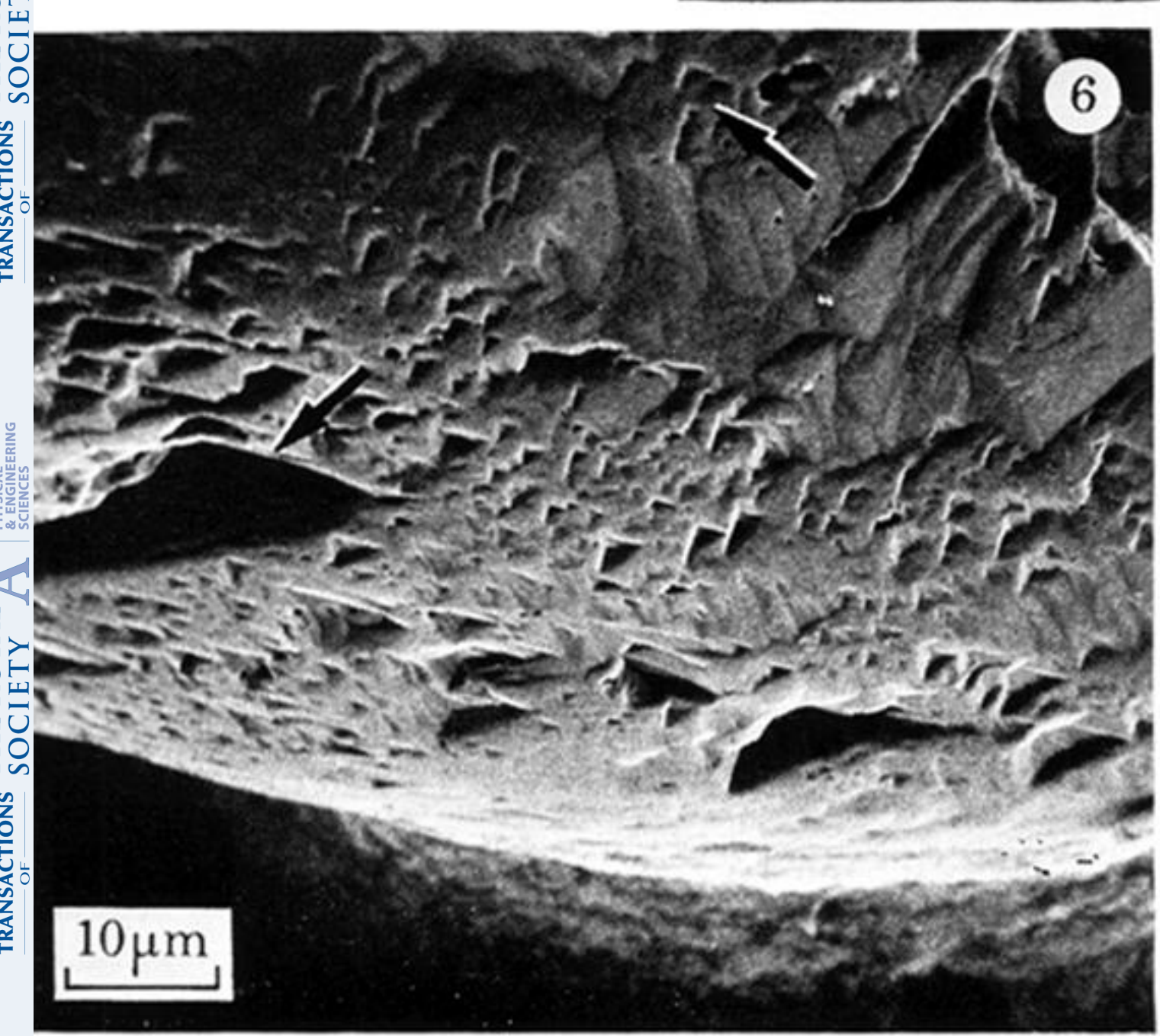
L'auteur remercie vivement la Royal Society de Londres des facilités qu'elle lui a accordées pour s'exprimer au cours du Colloque sur la Géologie de la Manche; il remercie également le Professeur Pomerol pour l'aide et les conseils qu'il lui a prodigués.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (le Ribault)

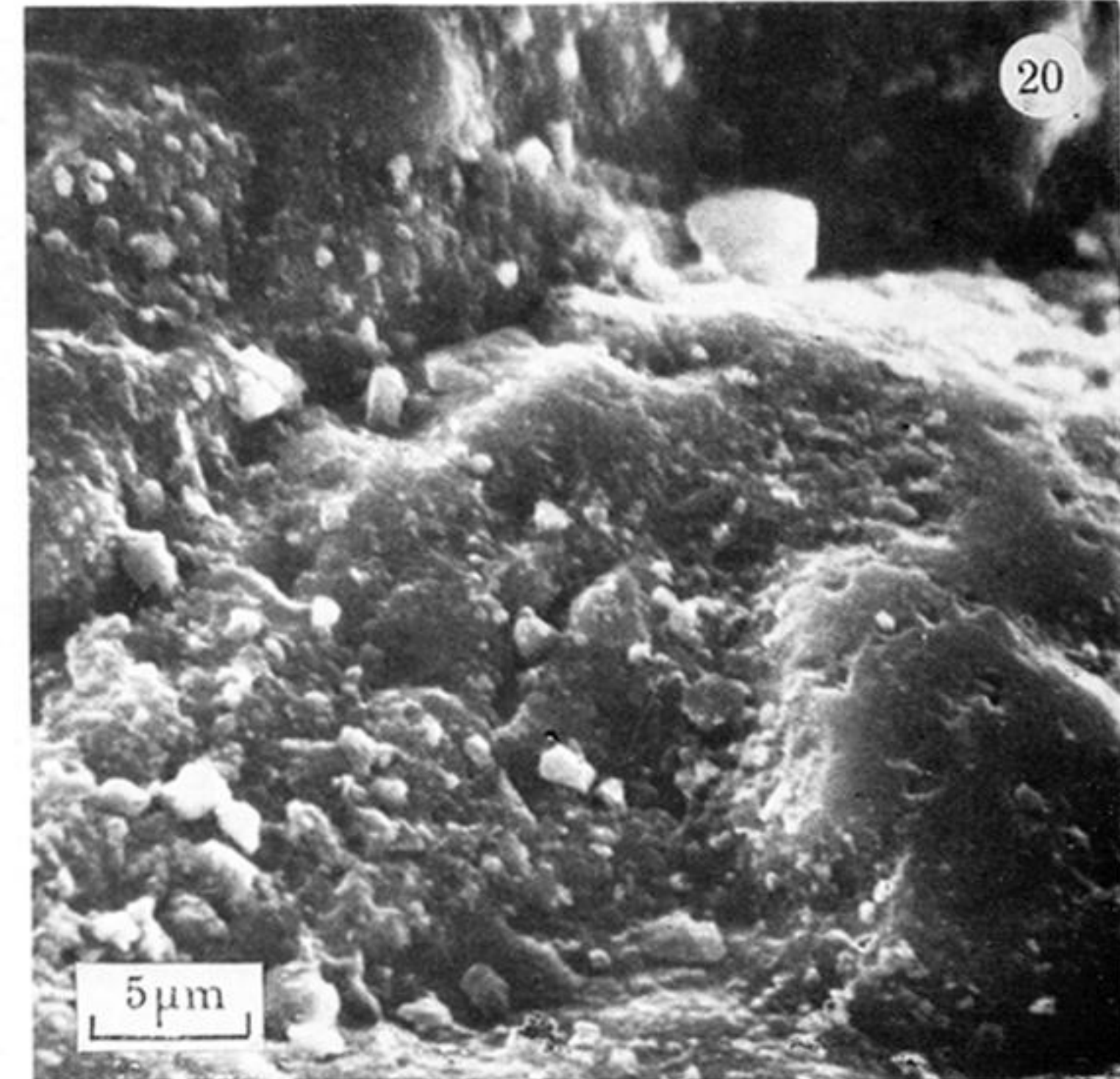
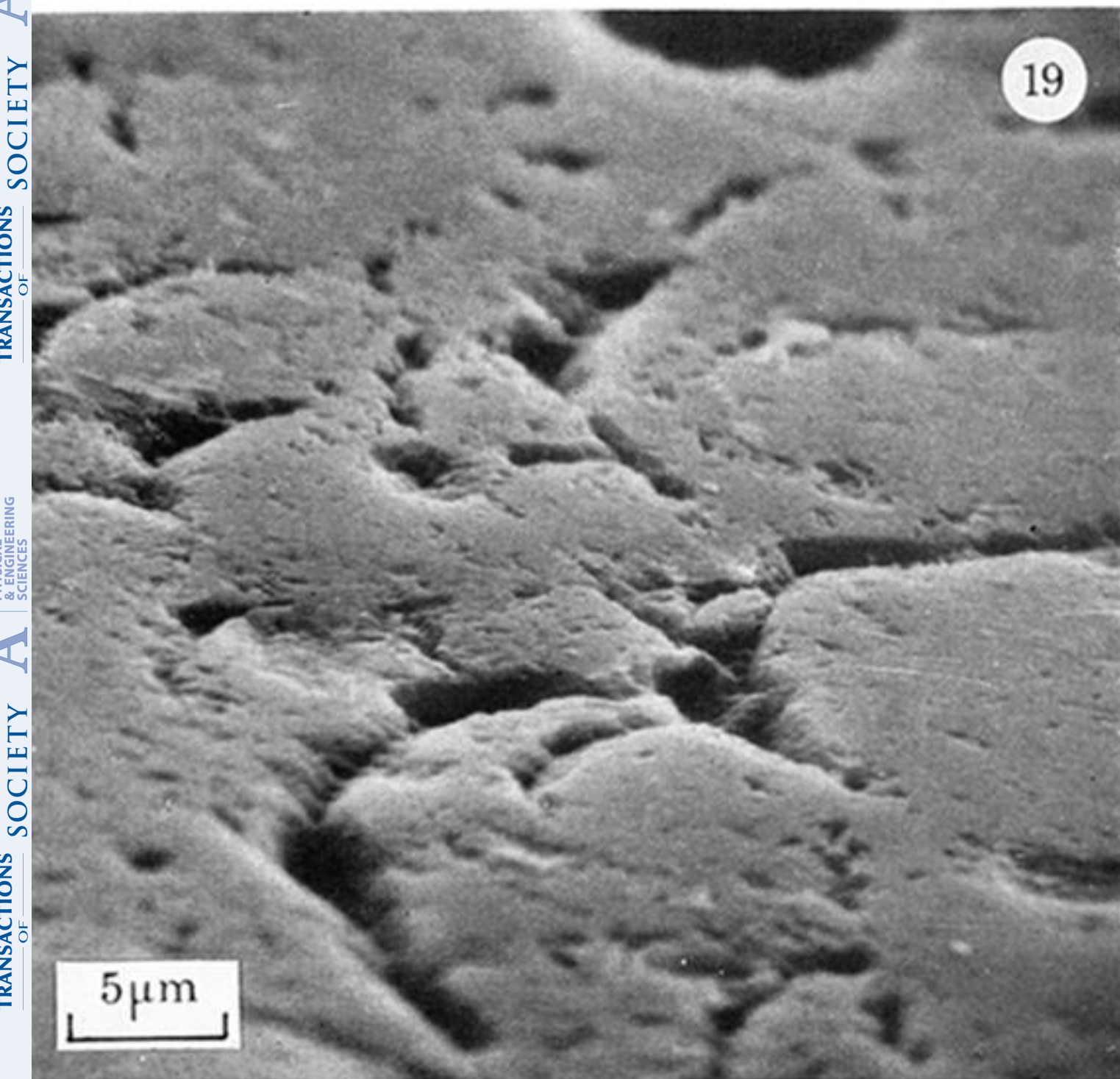
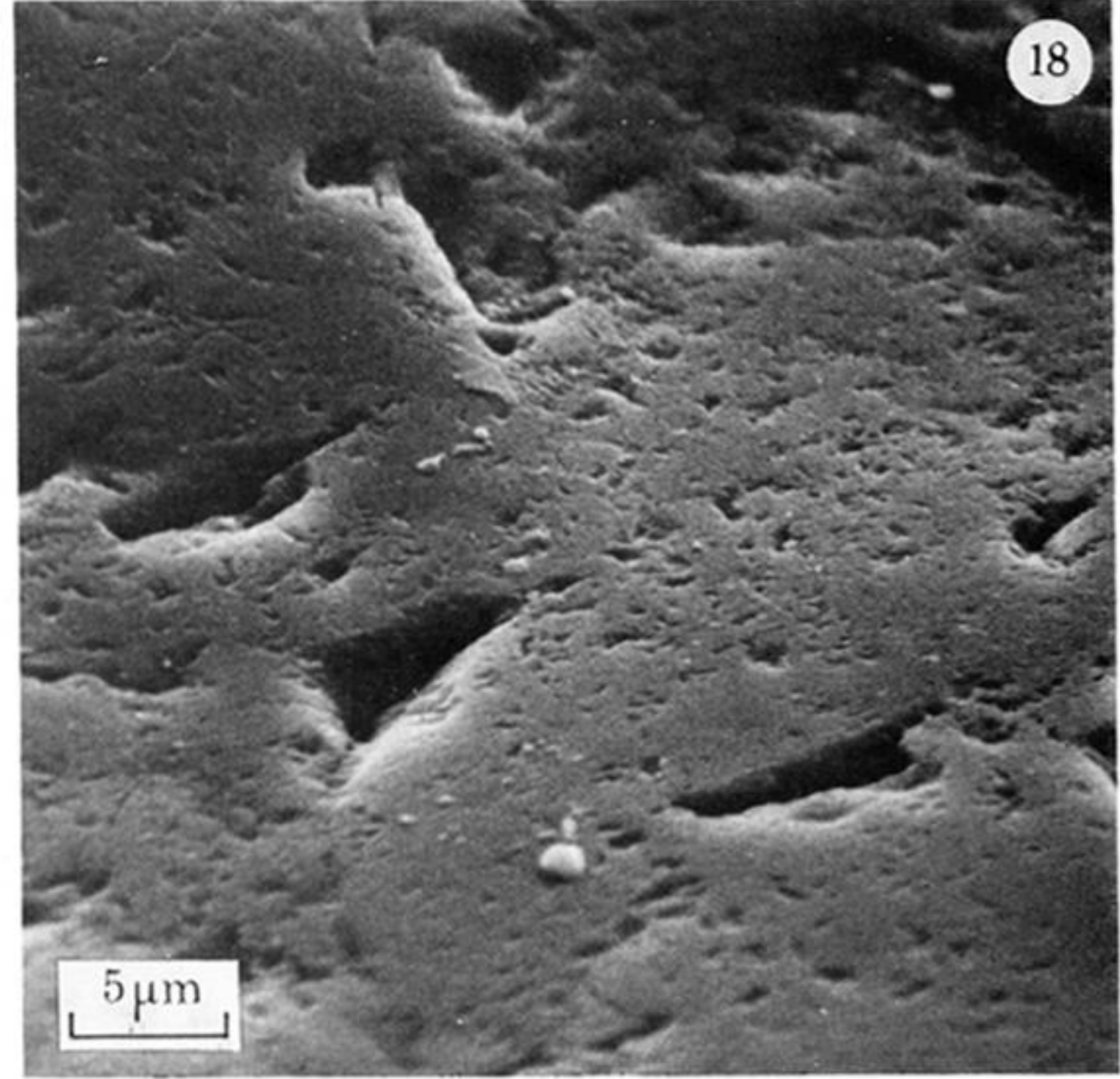
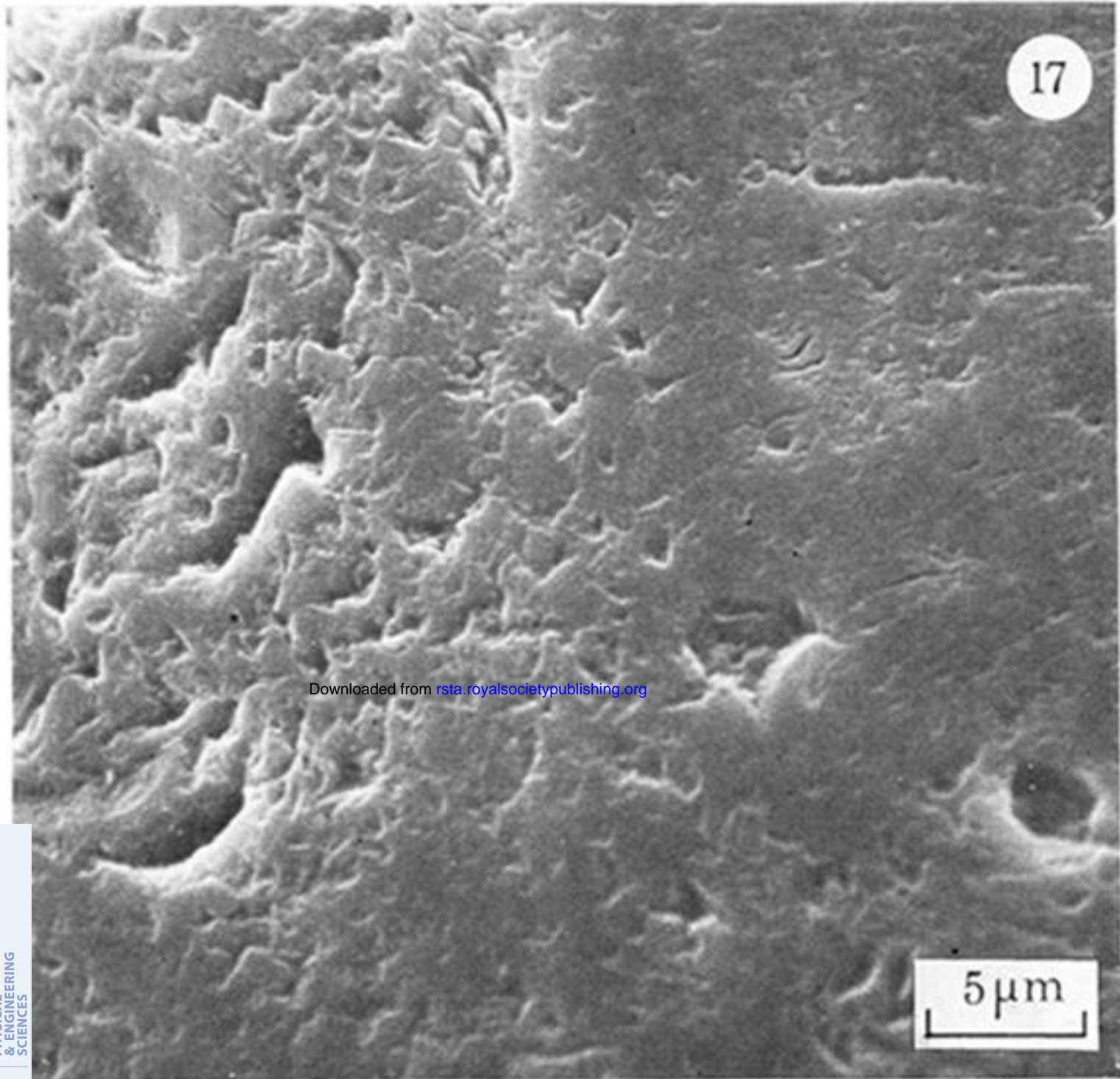
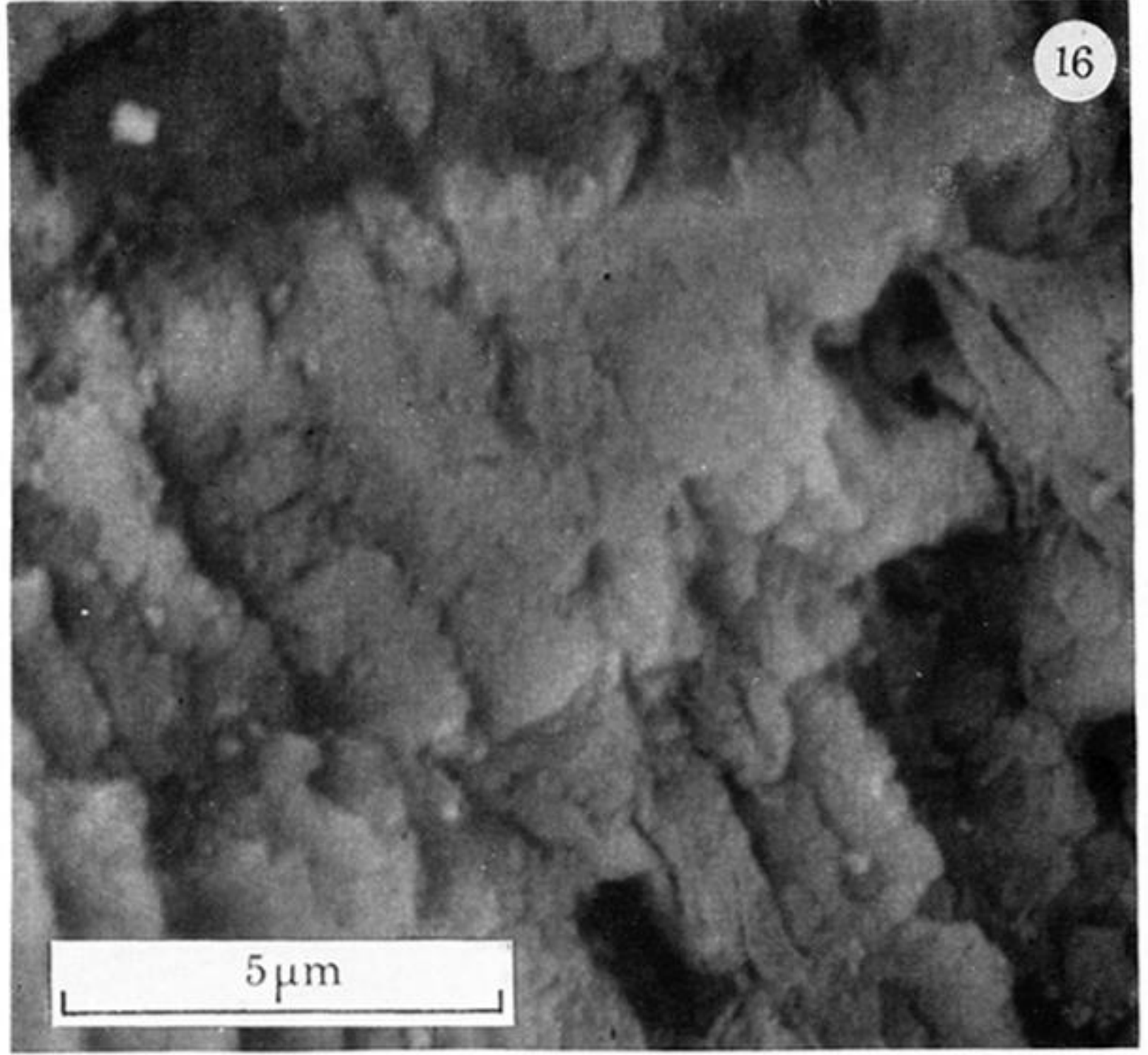
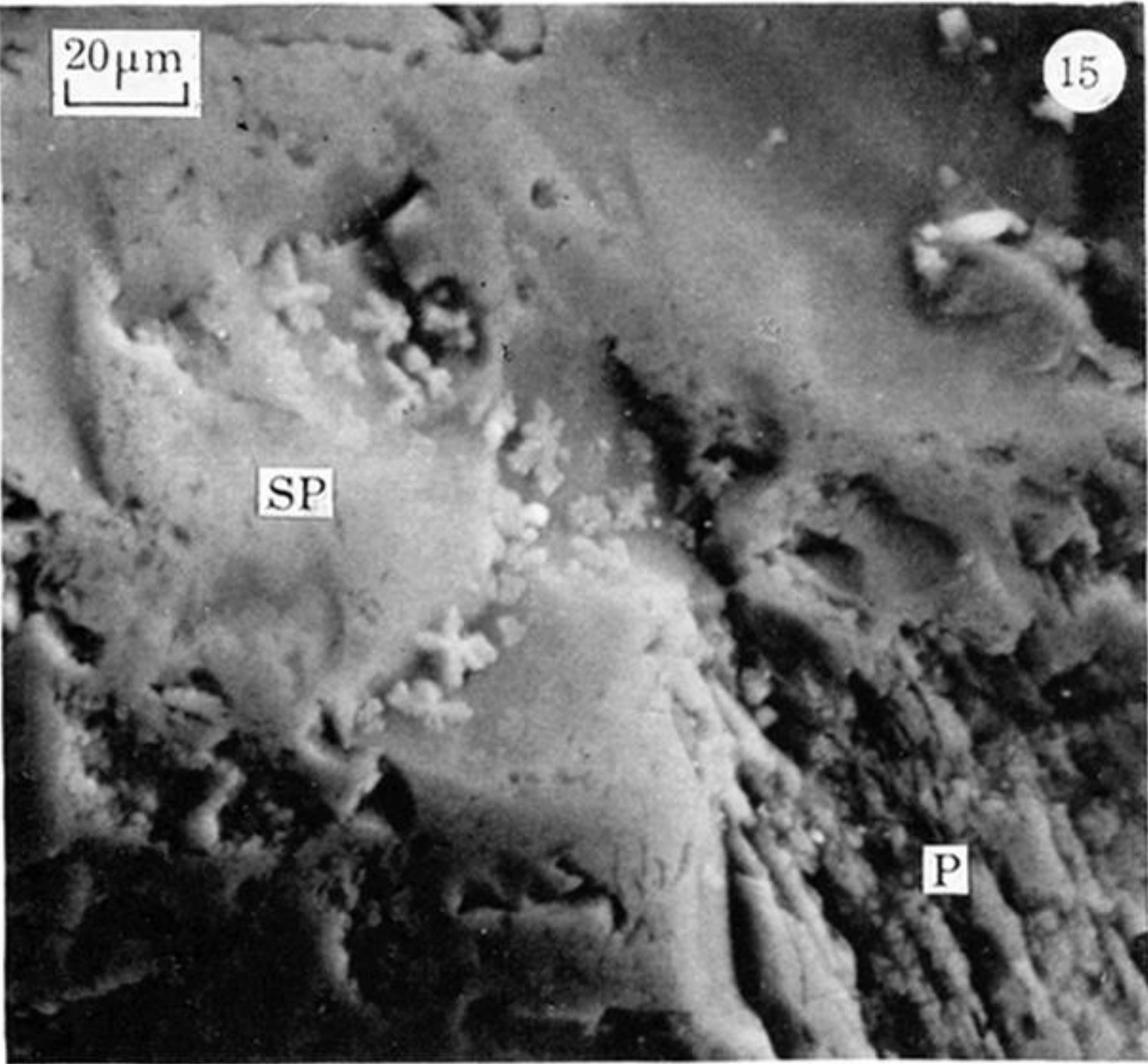
- Cailleux, A. 1942 Les actions éoliennes périglaciaires en Europe, *Mém. Soc. géol. Fr.* (fasc. 1-2), **21**, 176 pages.
- Cailleux, A. & Tricart, J. 1959 Initiation à l'étude des Sables et des Galets. *Centre Docum. Univ.* **1**, 376 pages, Paris.
- Chamley, H. & Millot, G. 1972 Néof ormation de montmorillonite à partir de diatomées et de cendres dans les sédiments marins de Santorin (Méditerranée orientale). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris D* **274**, 1132-1134.
- Claisse, G. 1972 Etude de l'altération du quartz en milieu tropical humide, *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris D* **274**, 2956-2959.
- Combaz, A. 1970 Microsphérules muriformes dans les roches-mères du pétrole: hypothèse sur leur origine. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris D* **270**, 2240-2243.
- Deicha, G. 1955 *Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides*. Paris: Masson & Compagnie.
- Krinsley, D. H. & Doornkamp, J. C. 1973 *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge University Press.
- Leneuf, N. 1972 Aspects microscopiques de la surface des grains de quartz du Continental terminal de Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M. (Géol.)*, **4**, 53-65.
- Le Ribault, L. 1971 Comportement de la pellicule de silice amorphe sur les cristaux de quartz en fonction des différents milieux évolutifs. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris D* **272**, 2649-2652.
- Le Ribault, L. 1973 L'exoscopie, méthode de détermination des évolutions subies par les grains de quartz au cours de leur histoire géologique, par l'étude de leurs aspects superficiels au microscope électronique à balayage. Thèse, 15 Janvier, Université Paris-Sud.
- Le Ribault, L. 1975 *Exoscopie des quartz: technique et applications*, Notes et Mémoires, C.F.P. Paris: Compagnie Française des Pétroles. (A paraître.)
- Lofoli, P. 1972 Endoscopie des grains de sable de la côte française de la Manche. *Mém. B.R.G.M. (Fr.)* **79**, 263-267.



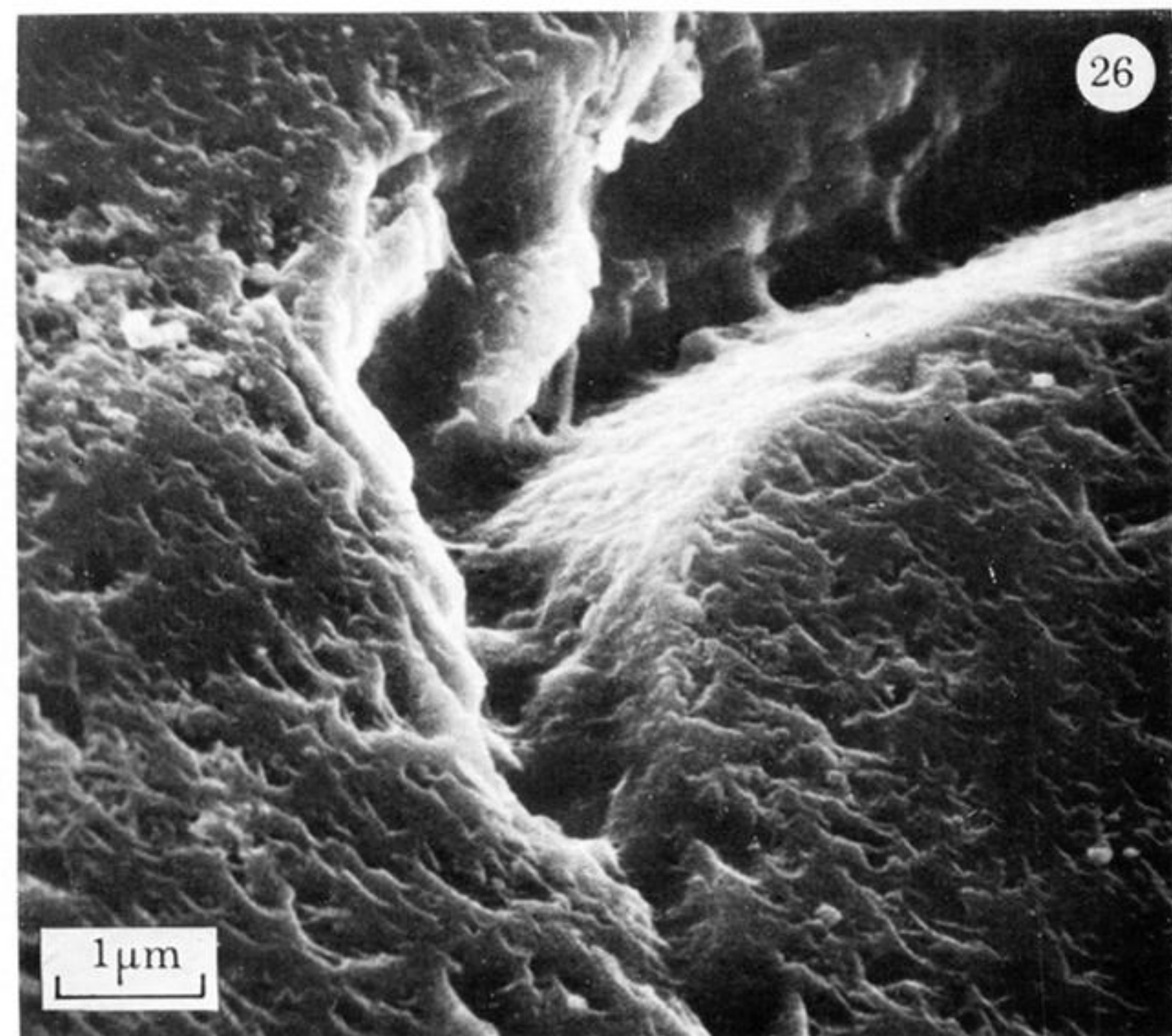
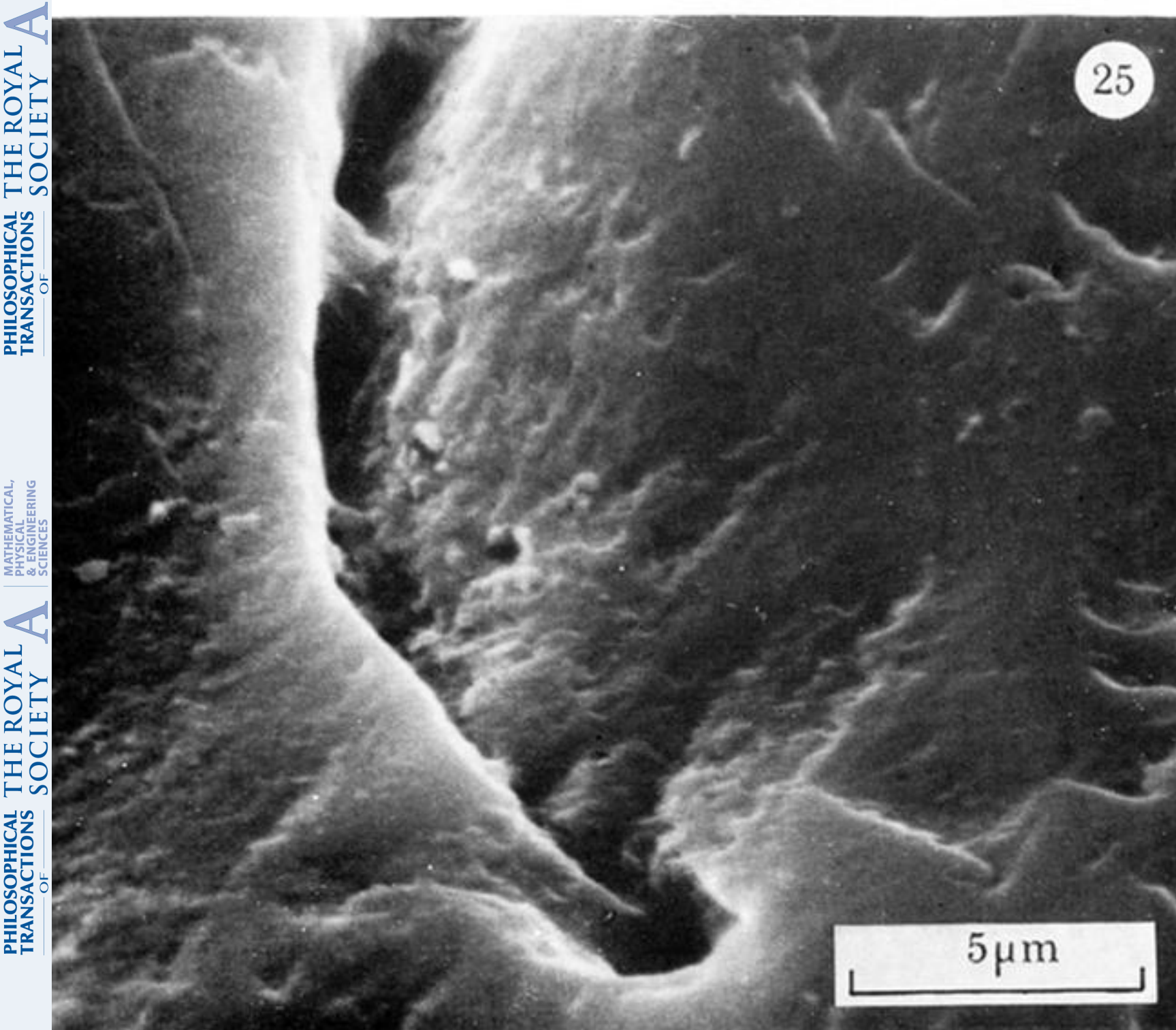
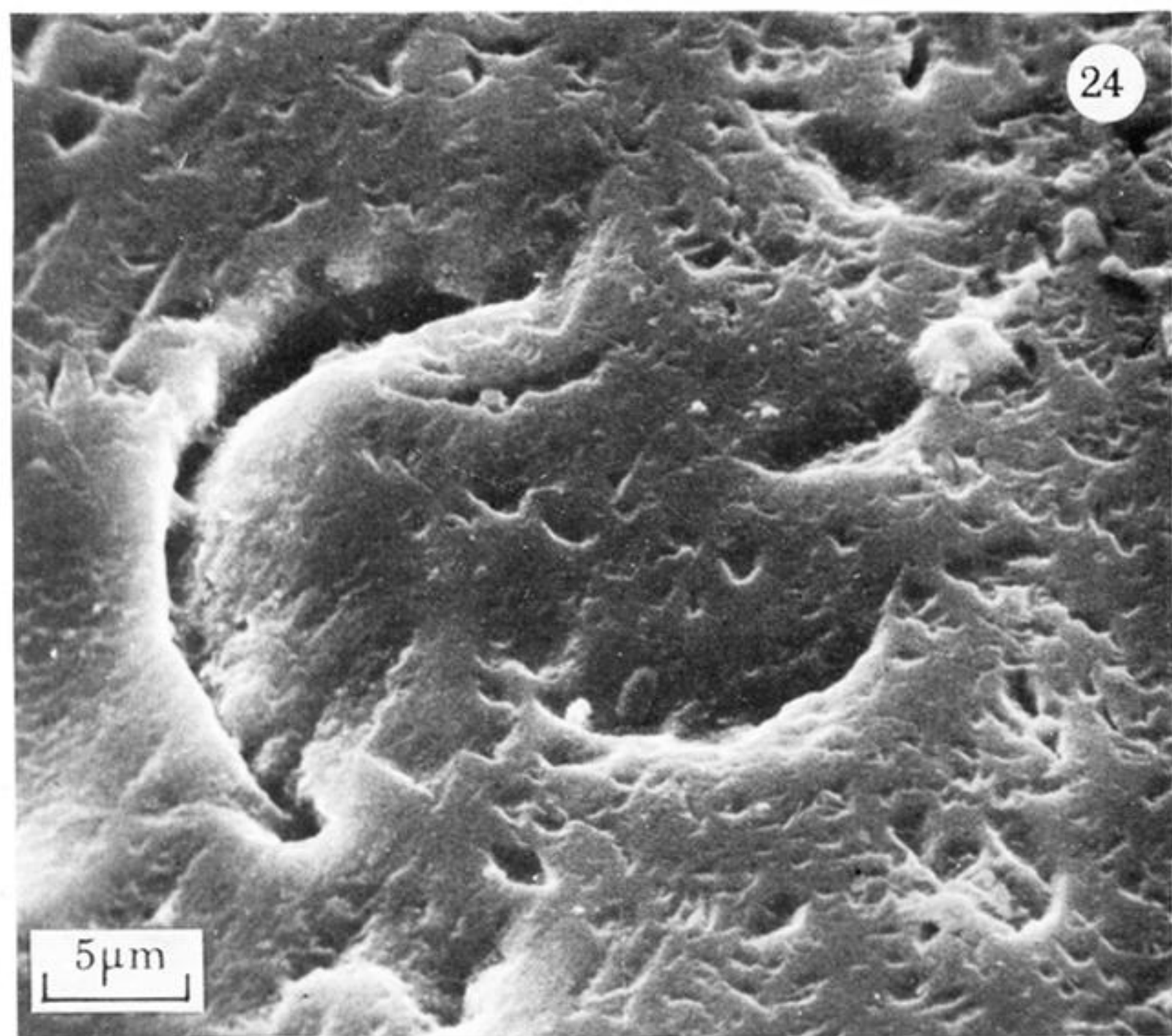
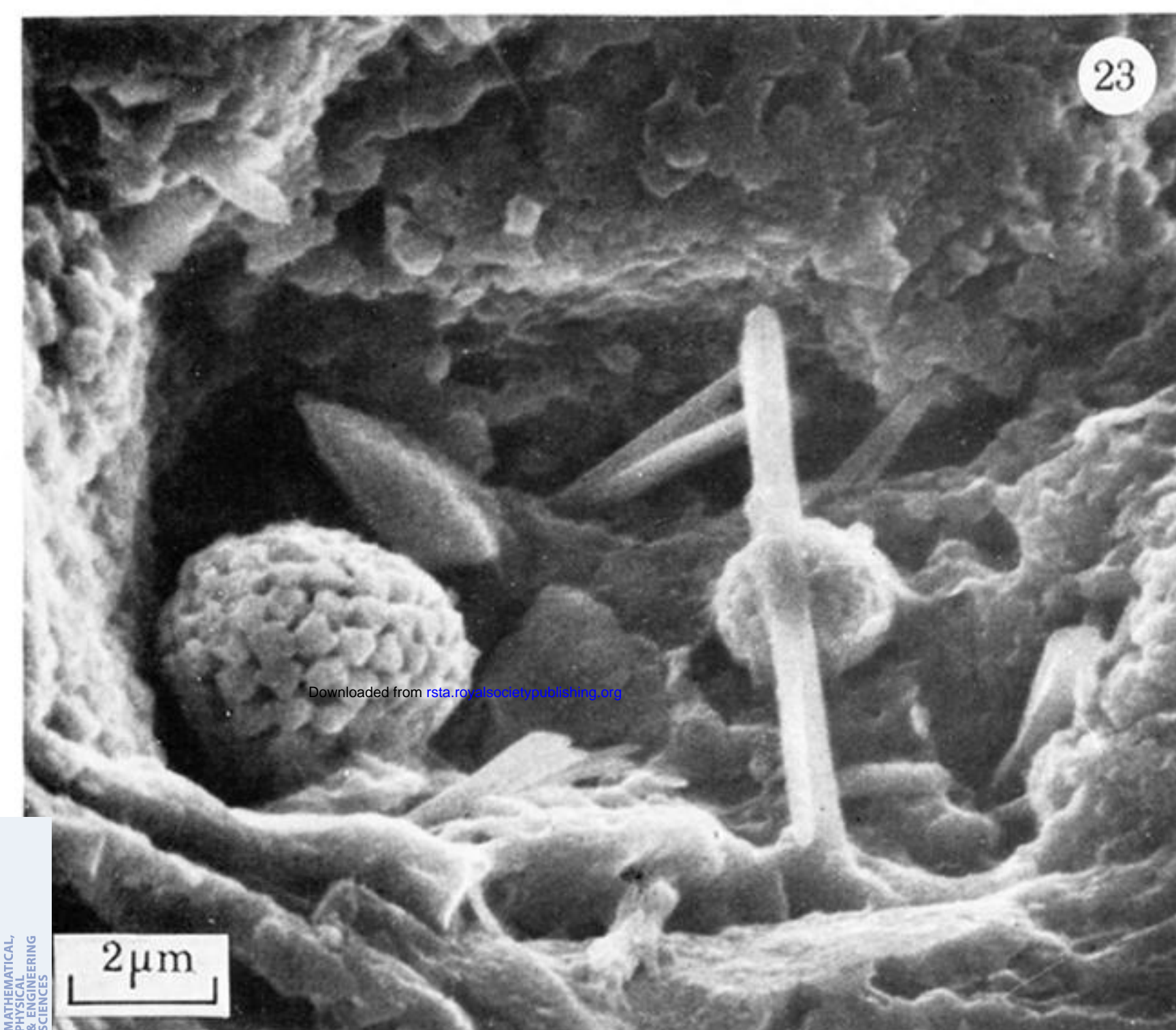
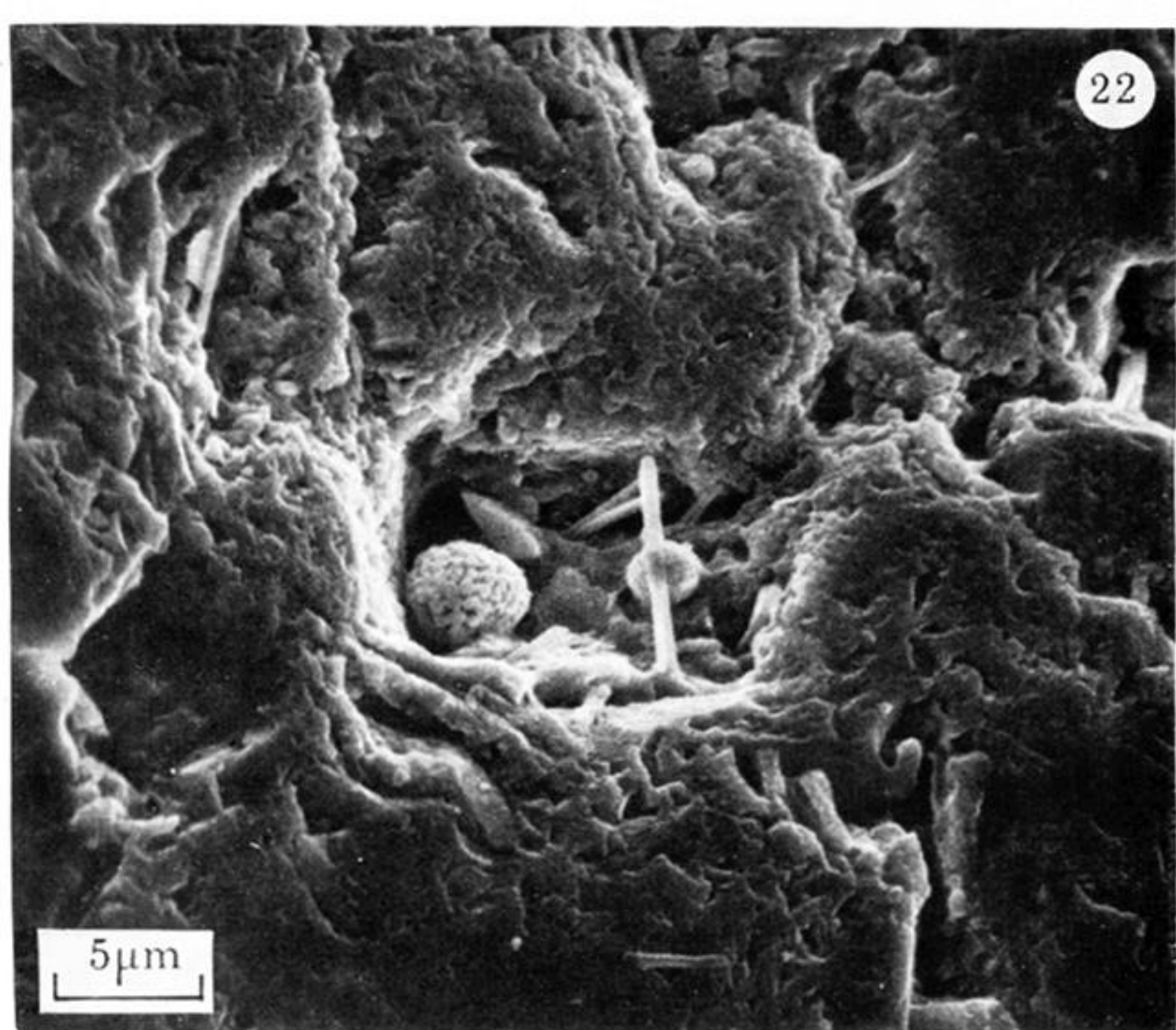
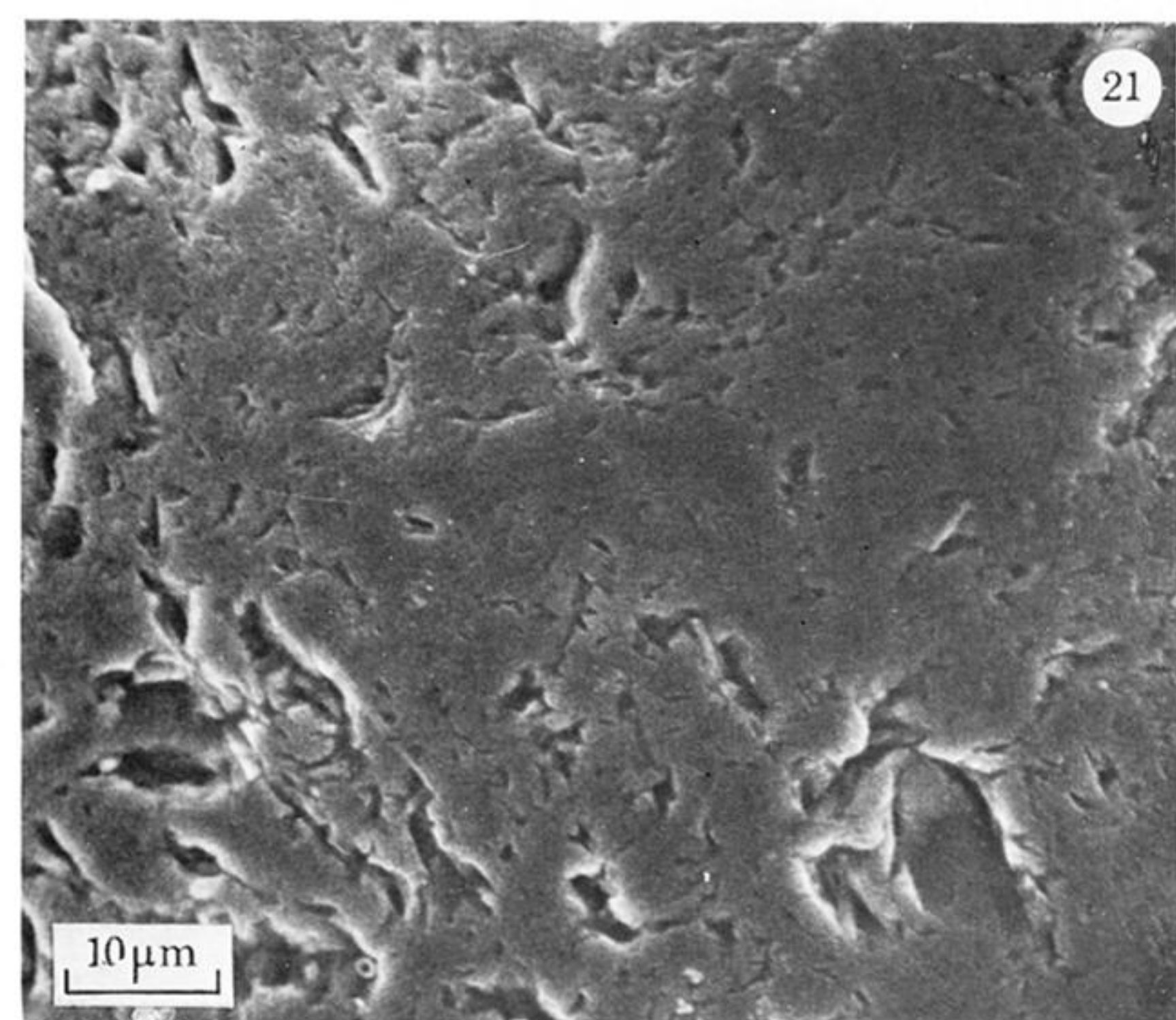
Downloaded from rsta.royalsocietypublishing.org



FIGURES 1–7. Pour la description regarder en opposer.



FIGURES 15–20. Pour la description regarder en opposer.



FIGURES 21-26. Pour la description regarder en opposer.