Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 28 (1975)

Heft: 1

Artikel: Le progrès des sciences naturelles en cinq années de microscopie électronique à balayage (M.E.B.)

Autor: Reyre, Yves

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739792

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LE PROGRÈS DES SCIENCES NATURELLES EN CINQ ANNÉES DE MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE A BALAYAGE (M.E.B.)

PAR

Yves REYRE [1]

Quelques jours à peine après l'ouverture de l'exposition « Nature × 10 000 » qui inaugurait la nouvelle galerie du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, un visiteur anonyme de 78 ans inscrivait sur le Livre d'Or, au beau milieu des sympathiques calembours de la jeunesse, ce souhait inattendu: « je voudrais que les explications fassent la part de l'hypothétique, de l'apparemment démontré et des théories divergentes ». Le vieux monsieur (ou la vieille dame) s'était mépris sur l'objet d'une simple exposition de microphotographies esthétiques insolites ou simplement curieuses, mais son esprit perspicace s'était judicieusement interrogé sur le parti que les sciences naturelles avaient tiré de la morphologie ultramicroscopique.

A la différence, en effet, des microscopes photonique et électronique par transmission, qui ne donnent que des images agrandies de sections planes d'objets plus ou moins translucides, le microscope électronique à balayage (m.e.b.) est en quelque sorte une loupe d'une extraordinaire puissance qui ne montre, elle, que les formes extérieures des volumes microscopiques, comme l'œil les verrait s'ils étaient de 20 à 100 000 fois plus gros. Il s'agit donc d'une image superficielle et purement topographique de la nature ne restituant ni la couleur ni l'apparence interne des objets lorsque ceux-ci sont translucides. Cette vision partielle de l'univers microscopique a pourtant considérablement enrichi les sciences naturelles et ceci en quelques années seulement. En dévoilant des êtres morphologiques nouveaux jusque là inaccessibles, elle a en effet révélé des phénomènes naturels aussi nombreux que variés (cosmiques, minéralogiques, géologiques, biologiques, médicaux, etc...).

Le nombre des publications de Sciences Naturelles rapportant un progrès des connaissances obtenu grâce au m.e.b. pouvait être estimé au début 1973 et pour le monde entier à environ 1800. C'était un volume à la fois suffisamment grand et

---

[1] Laboratoire de géologie du Musuém National d'Histoire Naturelle de Paris. 61, rue de Buffon 75 — Paris V^e^.

suffisamment petit pour faire, à ce moment, un tour d'horizon pluridisciplinaire de l'effectif progrès scientifique et se livrer à une réflexion analytique sur les processus de son cheminement.

En raison de la diversité et de la haute spécialisation des sujets, seule une enquête collective aurait pu fournir une revue exhaustive du progrès et une analyse approfondie des mécanismes. Malheureusement les quelques colloques pluridisciplinaires organisés dans ces intentions (Reading 1970, Paris 1971) se sont bornés [1] à un nouvel enrichissement de la bibliographie spécialisée ou à des polémiques sur les interprétations visuelles entre spécialistes de mêmes sujets. Certes il est normal que les chercheurs aient plus d'attention pour le sujet scientifique où ils se débattent que pour la portée d'un instrument commun qu'ils utilisent; mais il faut admettre du même coup que l'idée d'une mise au point et d'une réflexion collectives en ce domaine, pour séduisante qu'elle soit, est utopique.

Sans être collective l'enquête réalisée ici a tout de même été menée à travers les « interviews » de spécialistes [2] (principalement les exposants de NATURE × 10 000) au courant de la « production » internationale sur leur sujet. De plus une assez grosse bibliographie a été épluchée notamment les revues générales les plus fournies telles les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, le *Journal de Microscopie*, l'excellente et polyvalente revue anglaise *Micron*, ou des revues spécialisées comme *Pollen et Spores*, la revue américaine *Micropaléontology* etc... Il va de soit cependant que la bibliographie internationale (américaine notamment) est loin d'avoir été dépouillée, surtout celle des sujets non abordés en France.

Le panorama brossé ici sera donc celui de l'impact scientifique du m.e.b. en France principalement quoique pas uniquement. L'enquête a été menée de trois points de vue imaginaires différents: celui du gestionnaire administratif chargé de tester le « rendement » de cette recherche en France, celui de l'encyclopédiste curieux de connaître les sujets creusés, celui du philosophe enfin, désireux d'examiner les mécanismes d'une science d'observation en marche.

I. A TRAVERS LES COMPTES-RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS

Par leur diversité, leur concision et la relative nouveauté des faits rapportés, les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (C.R.A.S.) demeurent le cahier d'enregistrement des découvertes fondamentales préféré des chercheurs français. Malgré d'évidentes exceptions, on peut admettre que, dans l'ensemble, la série D

[1] A l'exception d'une courte revue des disciplines biologiques concernées par le m.e.b. (J. de Microscopie, mars 1972, p. 305).

[2] L'illustration photographique a été sélectionnée au milieu de plusieurs milliers de documents pour sa valeur didactique. Je remercie vivement les chercheurs ou laboratoires qui m'ont fourni cette illustration et m'ont autorisé à la publier ou la reproduire.

reflète globalement la découverte nationale en Sciences Naturelles, d'autant que très peu d'étrangers y ont recours. Que ressort-il de sa consultation depuis la présentation du « Stereoscan » fin 1966 ?

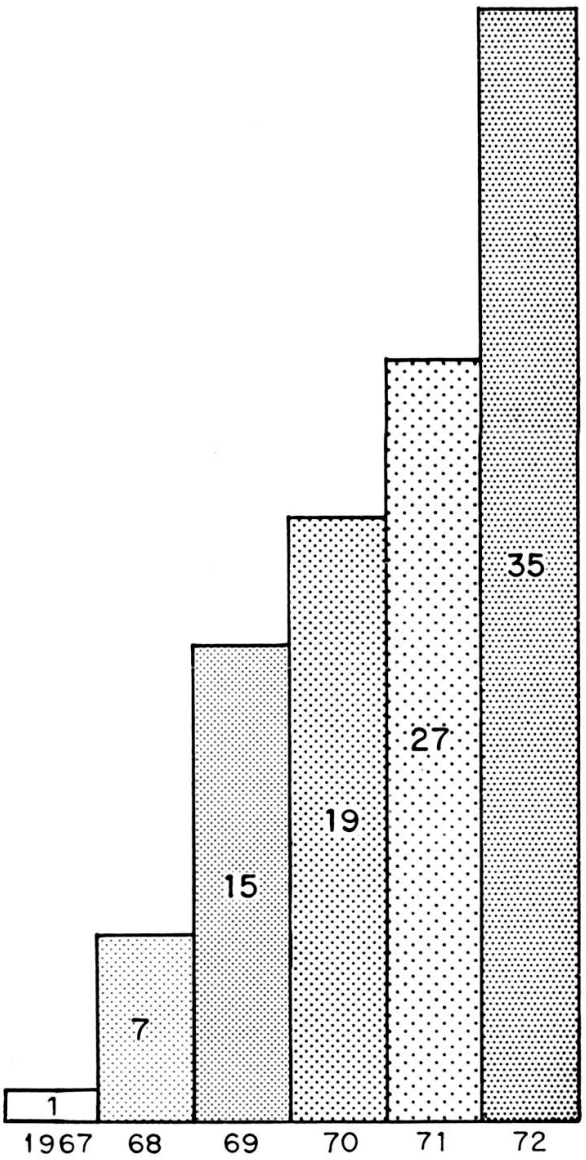


FIG. 1. — Nombre de communications présentées à l'Académie chaque année.

Tout d'abord quantitativement. Rien n'enchante plus en effet l'administratif gestionnaire et planificateur, qu'une courbe cohérente et régulière si possible mais surtout ascendante, l'ascension étant à la fois le critère et la preuve du rendement. De ce point de vue la série D lui offre une progression rêvée puisque entre 1967 et 1972, le nombre de communications de faits nouveaux observés grâce au m.e.b. passe de 1 à 7, 13, 19, 27 et 35; avec les huit du premier trimestre 1973 on en compte donc 112 au total, qui s'étagent suivant le diagramme idéal de la figure 1.

Qualitativement maintenant il est intéressant de recenser les disciplines où l'analyse microtopologique a eu des résultats et de voir à partir de quand et suivant quelle progression elles ont « rendu ». L'exercice est délicat parce que bon nombre de rubriques de la série D s'emboitent ou se chevauchent, certaines à la limite de la superposition.

Devant les dissensions académiques sur la terminologie et l'objet des disciplines nous avons pris le risque, après analyse du fond, de reclasser les 108 communications concernées en 19 rubriques dont 13 sont authentiques, 4 résultant d'une condensation arbitraire (physiologie et biologie végétales; cytologie et histologie végétales; physiologie et biologie animales; cytologie, cytologie pathologique et histologie animales) et deux d'un éclatement (palynologie ancienne et actuelle). Le tableau ci-dessous sépare ainsi sans trop d'ambiguité, si on prend les termes au sens large, la géo-minéralogie, la botanique et la zoologie où nous avons inclus les rares notes sur l'homme parce que les C.R.A.S. ne répercutent qu'une faible partie de la

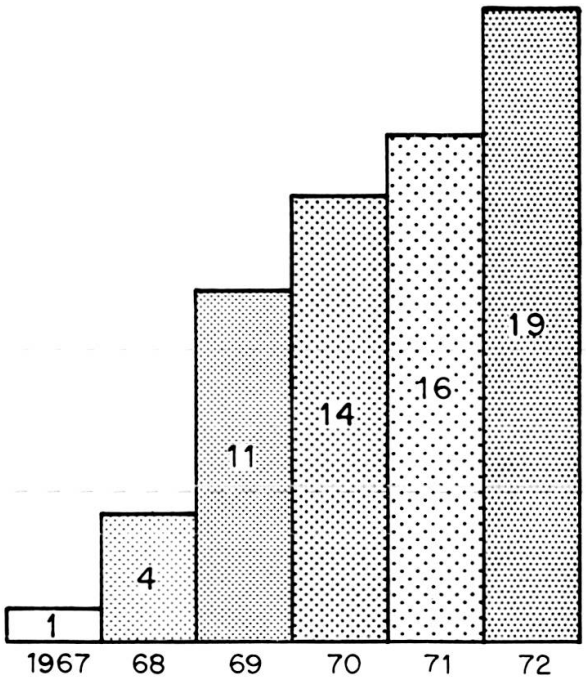


FIG. 2. — Nombre de disciplines ayant fait l'objet d'au moins une communication présentée dans l'année en cours ou antérieurement (nombre cumulé).

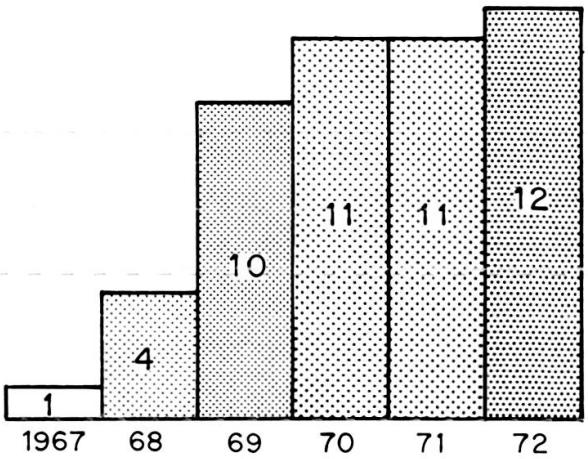


FIG. 3. — Nombre de disciplines ayant fait l'objet d'au moins une communiction dans l'année en cours.

recherche médicale. Que montre ce tableau chronologique et par matière ? Tout d'abord que le premier résultat français date du début de 1967. Il concerne les plus petits microfossiles connus, les coccolithes et ceci n'est pas dû au hasard. On peut en effet remarquer que les quatre disciplines représentées en 1967 (micropaléontologie)

TABLEAU

Répartition des communications à l'Académie des Sciences rapportant des faits observés au microscope électronique à balayage de 1967 à la fin du premier trimestre 1973.

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973 1er Trim.	Product. totale par discipline	
Météorites/Minéralogie						2		2	MINÉRALOGIE/GÉOLOGIE 31
Cristallogénèse/Fractographie					1	4		5	
Pétrographie sédimentaire	1	1	2	1	1	4		10	
Palynologie ancienne		2	1	1				5	
Micropaléontologie		2		2	1	1		6	
Paéléomicrobiologie				1				1	
Paléontologie						2		2	
Océanographie					1			1	Oc. 1
Palynologie actuelle		2		2	2	6	1	13	BIOLOGIE VÉGÉTALE 30
Mycologie			2	1	1			4	
Physio-biologie végétale			1			1	1	3	
Cyto-histologie végétale			1			1	1	3	
Morphologie végétale				1	2	4		7	
Entomologie			3	5	11	5	2	26	BIOLOGIE ANIMALE 51
Zoologie générale			3	3	3	3	1	13	
Physio-biologie animale			1		2	1		4	
Cyto-histologie animale			1	1	1			3	
Virologie				1				1	
Physiol. cellulaire/Hématologie					1	1	2	4	
Production globale annuelle	1	7	15	19	27	35	(8)		PRODUCTION GLOBALE 113

et en 1968 (pétrographie sédimentaire des calcaires, palynologie ancienne et palynologie actuelle) avaient eu recours depuis les années 1964 environ à la technique dite des « répliques de carbone » sur microscope à transmission, de même que la mycologie sporale (début 1969), ce qui témoigne de l'ancienneté d'un besoin longtemps insatisfait de précision microtopographique. Le remplacement progressif et quasi total entre les débuts 1968 et 1970 des « répliques de carbone » par le « scanning » est d'ailleurs spectaculairement visible à travers les C.R.A.S. et montre le succès foudroyant du second. La figure 2 montre à quelle allure et comment la microscopie à balayage a fait tache d'huile en sciences naturelles. En 1969, en effet, ce sont, dans l'ordre, la physio-biologie végétale, l'entomologie et la mycologie, la physio-biologie animale, la zoologie et la cyto-histologie animale et végétale qui font l'objet d'une première communication à l'Académie. Viennent s'ajouter

en 1970 la paléomicrobiologie, la morphologie végétale et la virologie; en 1971, l'océanographie et la physiologie cellulaire-hématologie; en 1972, enfin, la paléontologie, la cristallogénèse et la minéralogie des météorites. Pour ces deux dernières, les premiers résultats publiés datent en fait de 1969. Ceci est assez exceptionnel car, pour la plupart des disciplines, ce sont les communications à l'Académie qui précèdent les publications extérieures plus développées.

La figure 3 indique, elle, par année, le nombre de disciplines dont au moins une communication concernée par le m.e.b. a été faite dans l'année en cours. Il croît fortement jusqu'en 1970, puis se stabilise. En effet, certaines disciplines restent improductives pendant plus d'un an; pourtant la « production » globale est compensée et même augmentée par celle de nouvelles venues. Les disciplines ne fléchissent cependant pas toutes: la pétrographie sédimentaire, la palynologie actuelle et l'entomologie sont même en augmentation régulière et constante.

En conclusion, on peut dire qu'en cinq ans toutes les disciplines ou presque ont eu recours au m.e.b. même si celui-ci ne reste pour certaines qu'un moyen d'investigation secondaire. Globalement la plus importante « production » est celle du règne animal (gonflé, il est vrai, par l'entomologie dont une bonne partie est encore purement descriptive); celles du règne végétal et du monde minéral sont sensiblement égales, chacune étant inférieure de plus d'un tiers à la première. Si on remarque enfin que près de 40% des communications à l'Académie reposent sur des observations faites sur le « stereoscan » du laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle, on peut se livrer à un calcul cocasse, celui du coût matériel moyen de l'observation par « découverte »: en admettant que l'appareil fonctionnera dix ans au total et en tenant compte des frais de fonctionnement, ce coût s'élève à 5000 francs. Si approximatif et farfelu qu'il soit, ce chiffre mis en regard du prix des microanalyses, des campagnes océanographiques ou de celui des ordinateurs, montre que la science d'observation visuelle, même lorsqu'elle utilise un matériel coûteux, reste la moins chère du monde.

II. LES SUJETS ÉTUDIÉS LES FAITS NOUVEAUX ET LEURS CONSÉQUENCES SCIENTIFIQUES

Minéralogie - Géologie

L'observation des cristaux naturels extra-terrestres a permis, en peu d'années, de mettre au point une remarquable technique, celle de la datation des voyages intersidéraux des *météorites* et des *roches lunaires* dans le système solaire. On sait que tout corps voyageant dans l'espace (sonde) est irradié. D'abord par le rayonnement cosmique galactique (R.C.G.) s'exerçant dans tout l'univers. De forte énergie (ses

ions Fe pénètrent jusqu'à 20 cm dans les cristaux), celui-ci est cependant de faible intensité et ne laisse en moyenne que 5×10^7 traces/cm^2 sur une sonde ayant voyagé dix millions d'années, traces encore individualisables donc comptables en microscopie photonique. Lorsque la sonde pénètre dans le système solaire un Rayonnement Cosmique Solaire (R.C.S.) se superpose au premier. Il est de faible énergie (pénétration cristalline: 1 mm) mais de grande intensité (10^{11} traces/cm^2 sur la surface d'un cristal exposé 10 000 ans seulement). Il faut alors un pouvoir séparateur énorme pour connaître avec exactitude cette densité de traces à chaque niveau de profondeur dans le millimètre superficiel. En fait quelques évaluations avaient été avancées en 1968 par des chercheurs indiens à l'aide de la seule optique, mais c'est le m.e.b. qui, dès 1969, (en France), a rendu possible le calcul exact des expositions au R.C.S. des météorites et des roches lunaires (pl. I, fig. 1). Et pourtant cet outil s'avère déjà dépassé dans ce genre d'observations: les impacts du Vent solaire (troisième terme du Rayonnement Cosmique) ne sont visibles qu'avec l'énorme microscope à transmission de 300 000 volts de Toulouse.

En *cristallogénèse* le m.e.b. a permis de mieux connaître deux phénomènes minéralogiques qui n'avaient jamais été réellement prouvés par l'image: celui des micro-inclusions cristallines et celui de l'épitaxie intracristalline ou expérimentale. C'est en France, dès 1970, que les observations en ce domaine ont commencé. Ce n'est pas un hasard, c'est une continuité historique. Au siècle dernier en effet le grand minéralogiste Haüy avait exprimé l'idée que tout cristal n'était pas une masse parfaite mais renfermait des micro-inclusions liquides ou gazeuses du magma originel. Non seulement on a pu photographier ces dernières de près et presque de l'intérieur, mais on a pu voir que s'y cristallisaient souvent d'autres microcristaux soit de même nature chimique et minéralogique et contenant eux-mêmes des inclusions, soit de nature chimique différente (impuretés) et cristallisant alors non dans leur réseau habituel mais dans celui du grand cristal! C'est le phénomène d'épitaxie naturelle. Ce phénomène a lui-même été éclairci expérimentalement sinon tout à fait expliqué. Une théorie persistait selon laquelle les cristaux épitaxiques se formaient en suspension puis se déposaient sur le minéral-guide; on a pu photographier par exemple que de petites pyramides d'une fraction de μ de chlorure d'ammonium naissaient au contact d'un mince support et se nourrissaient ensuite de toutes parts.

En *pétrographie* le m.e.b. contribue à l'étude du refroidissement des laves volcaniques: deux générations de quartz pyroclastiques ont été visualisées dans les ponces du Mont-dore, les premiers formés étant « situés aux points les plus éloignés du centre d'émission ». De même la caractérisation morphologique des espèces dites phyllites constituant, entre autres, l'énorme masse argileuse terrestre, est actuellement en cours dans le cadre des divers problèmes que pose la formation des sédiments.

En *pétrographie sédimentaire* c'est également en France que parurent, dès 1967, les premières notes. Elles révélaient que la craie et certains calcaires fins prétendus « chimiques » depuis toujours (tel celui de Solnhofen) étaient en fait de véritables

cimetières de coccolithes et étaient donc dus à un dépôt biologique de squelettes microplanctoniques. En 1968 on spécifiait même que de tels dépôts étaient en relation avec des cycles de développement biologique: ainsi dans les séries à alternance marne/calcaire du Barrémien de Haute-Provence les interlits marneux sont « d'une extrême richesse en coccolithes » tandis que les bancs calcaires ne contiennent que des *Nannoconus*. Ces observations relançaient le problème de la genèse des roches carbonatées, sans expliquer toutefois celle dec calcaires oolithiques. L'observation de ces derniers permettait, dès 1969, d'illustrer clairement la structure complexe de certains oolithes du Jurassique français puis d'oolithes formés actuellement dans le Golfe Persique. Avec deux importantes thèses françaises, l'une soutenue en 1970, l'autre en cours, étaient méthodiquement entreprises l'observation microscopique et la classification des calcaires en général. Il était établi que faciès et nannofaciès étaient sans correspondance absolue sinon statistique et que les perturbations diagénétiques affectant les textures initiales compliquaient l'interprétation des mécanismes de la genèse. Ceux-ci sont toutefois étudiés au m.e.b. sur quelques modèles actuels depuis 1970 par des chercheurs allemands qui observent la lithification des récifs et la manière dont le ciment s'insère entre les grains grossiers des calcaires tandis que des suédois observent la dissolution des calcaires en mer froide (1971).

En *sédimentologie* on interprétait jusqu'ici l'histoire des galets et des sables (origine éolienne, fluviatile ou marine) en ne se basant que sur la forme générale des grains. Dès 1969 la microexoscopie superficielle des sables ouvrit la voie à une technique nouvelle pour interpréter leur origine et leur transport. Des auteurs ont cru ainsi reconnaître ceux des sables du Bourbonnais ou des limons de la vallée de la Garonne (1972). Toutefois ces interprétations sont délicates car de récents travaux de fractographie des sables ont montré que l'apparence externe du grain dépend parfois « de l'ouverture mécanique de ces inclusions fines » dont nous avons parlé en cristallogénèse.

Quant à l'important problème de la genèse des dépôts laminés il a été abordé à l'aide du m.e.b. dès 1972: « les laminites lagunaires ou marines à couple calcaire/matière organique et argileuse, apparaissent caractérisés à la fois par l'extrême abondance du nannoplancton et par une lithologie ultra-fine » qui tendent à montrer: 1) que la matière organique est bien d'origine planctonique; 2) qu'elle s'est déposée et conservée dans le calme d'un confinement bien net.

Enfin, remarquable exemple de sédimentologie appliquée, le m.e.b. a concourru à montrer que les « marnes » plastiques et les « caillasses » rigides du plateau de la Défense à Courbevoie (même composition chimique) ne diffèrent de solidité qu'en raison de la forme et de la disposition des grains, explication visuelle bien inattendue d'un singulier comportement jusque-là inexpliqué!

En *paléontologie* le m.e.b. a été utilisé pour préciser la structure intime des coquilles et des squelettes et surtout pour étudier les modifications qu'elles subissent

au cours de la fossilisation (diagenèse). En 1970 un chercheur anglais montrait la transformation minéralogique des coquilles de Mollusques tandis qu'en 1972 des chercheurs français découvraient qu'un Polypier du Trias qui servait de type à toute une famille qu'on croyait toujours primairement calcitique *(Cnidaria hydrozoa)* était resté fossilisé en aragonite originelle, ce qui remettait en cause le principal critère systématique de la famille !

Mais c'est en *micropaléontologie* que les observations ont été les plus précoces et les plus nombreuses. A commencer par les plus petits fossiles connus, les Coccolithes, dont la classification venait précisément d'être bouleversée dans une récente thèse de microscopie « par répliques de carbone » (1966): on apercevait enfin les divers types d'assemblage des nannocristaux élémentaires. Puis deux importants ouvrages français paraissaient en 1970, l'un classant les Coccolithes du Crétacé supérieur français, l'autre ceux du Néogène méditerranéen. Depuis de nombreux articles américains, danois, polonais illustrent la bibliographie.

Aux U.S.A., dès 1967, les Foraminifères avaient fait l'objet de nombreuses études au m.e.b. Les premières références françaises, qui datent de 1968, ne faisaient que montrer les énormes conséquences probables en systématique. Dès l'année suivante d'ailleurs s'ouvraient, images à l'appui, quelques polémiques taxinomiques tandis que paraissait un important mémoire français sur les Foraminifères du Paléogène du Bassin de Paris (1970). Puis genres ou espèces étaient créés ou révisés dans le monde entier sans pour autant que la systématique générale, depuis toujours disputée entre plusieurs théories, ait pu trouver dans les détails révélés une base nouvelle universellement admise.

Les Diatomées ont été également observées. En 1970 on a découvert chez les espèces coloniales au moins, que les deux valves s'associent « grâce à deux rangées de dents marginales qui s'insèrent entre la plaque valvaire et le manteau formant un véritable engrenage...». Si les espèces fossiles et actuelles sont en pleines réobservation et redéfinition, la classification générale n'est pour l'instant pas remise en question.

Pour les Radiolaires au contraire, le m.e.b. vient de soulever un important problème de méthode à propos de leur systématique: en effet la dissolution naturelle des coques (chez les Sphaerellaires les plus anciennes disparaissent avant les plus externes) remet en cause toute la classification des espèces fossiles !

L'incidence taxonomique est plus nuancée en ce qui concerne les *spores et pollens fossiles*. Dès 1968 en effet un chercheur français établissait que le grain de *Classopollis*, pollen de Conifères inconnus mais qui eurent une immense expansion au Secondaire, n'était qu'une microspore évoluée avec encore une aperture trilète primitive et voyait dans l'ultra sculpture de l'exine un critère spécifique capital. Puis il proposait pour certains pollens anciens de Gymnospermes une méthode de reconnaissance de l'appartenance botanique par comparaison de l'ultra sculpture avec celles des pollens actuels, ce qui permettait de reconstituer des flores et des végétations disparues. Pour cela se posa très tôt un problème de terminologie descrip-

tive des surfaces microscopiques complexes observées, terminologie qui servit à mettre au point une nouvelle systématique des *Classopollis* et qui fut largement employée dans un mémoire paru en 1970 sur les pollens du Secondaire saharien. Parallèlement de nombreux articles de palynologie fossile, anglais, américains australiens et canadiens se succédaient tandis qu'était reprise au m.e.b. l'étude des pollens du tertiaire français. Toutefois, si les révisions et créations spécifiques sont légion, la classification d'ensemble des pollens fossiles n'est pas remise en cause. Celles des macroscopes du Carbonifère français (1972) et des Tasmanacées (algues fossiles) également étudiées au m.e.b. non plus.

Le Monde des Plantes

Le premier domaine de la Botanique abordé en microscopie à balayage fut celui des *spores et des pollens actuels.* Dès 1968, nous venons de le voir, des critères taxinomiques nouveaux ressortaient de l'observation des ultrasculptures externes de l'exine (Gymnospermes, Graminées). Début 1970 la remarquable observation expérimentale après « cassure du pollen par les ultra-sons pour l'étude structurale de l'exine au m.e.b.» ouvrait une nouvelle compréhension de l'ontogénie des pollens et de leurs mécanismes de gonflement, d'ouverture, etc... Puis les études de familles entières se multiplièrent, tant en France qu'à l'étranger (Ombellifères, Aristidae, Mesanbryanthémacées, Annonacées, Abietacées, etc...), les nouveaux critères polliniques confirmant en général les classifications botaniques établies mais les modifiant parfois au niveau des espèces ou des groupes d'espèces. Un très important problème nouveau se trouvait toutefois soulevé: on a remarqué dans plusieurs familles et différents genres, que les espèces donnant des hybrides naturels avaient en général des pollens identiques ou très peu différents à l'échelle microscopique. Au contraire les espèces morphologiques très voisines mais ne se croisant pas (même lorsqu'elles fleurissent et pollinisent à la même période dans la même région) ont des pollens présentant des différences micromorphologiques plus sensibles. Une étude approfondie pourrait dès lors s'avérer capitale pour mieux cerner le grand problème de la valeur du pollen en tant qu'enregistreur de l'évolution et en tant que barrière génétique, véritable acte de naissance des espèces botaniques.

Une palynologie particulière est celle des *Champignons* dont la classification tient un compte essentiel des appareils reproducteurs. En France, dès 1968, l'ornementation sporale des *Ustilago*, parasites des Polygonacées, était observée par « réplique de carbone ». Peu après le m.e.b. permettait d'établir que « la fente de germination sporale des Ascomycètes ne constitue qu'un pore sporal plus ou moins allongé». En 1969 un chercheur anglais montrait que l'orientation des hyphes corticaux des *Lichens* avait un caractère générique. Tandis que l'ontogénie sporale était visuellement observée sur un *Dendryphiella*, des recherches plus généralisées commençaient sur la valeur fonctionnelle comparée des pores, fentes ou amincissements germinatifs.

L'emploi du m.e.b. en *micromorphologie végétale* proprement dite a commencé très tôt en Angleterre puisqu'au Colloque de Reading (1970), trois études déjà exhaustives étaient présentées: celle d'algues microscopiques (Biddulphiacées), celle des graines d'Ombellifères, celle des cuticules et stomates des feuilles de Conifères, cette dernière apportant un nouveau point de vue sur l'évolution de ce groupe. Les systématiciens français ont-ils ignoré ou craint les incidences taxinomiques de la micromorphologie ? En 1971 encore l'un d'eux se pose la question de « l'apport des observations du m.e.b. dans la diagnose des genres ». Elle prend comme exemple l'espèce *maximilianni* dont la plantule a les caractères du genre *Braunsia* mais qui est rangée dans le genre *Lampranthus* parce que la graine n'a pas d'épine: or, vue au m.e.b., cette graine est garnie de micropoils qui pourraient être des épines atrophiées. Elle pose alors la question suivante: « Faut-il s'en tenir à une interprétation stricte des diagnoses ou les lire à la lumière des nouveaux moyens d'investigation ? »

Physiologistes et *histologistes* par contre ont été très productifs. Dès 1969 la formation des concrétions siliceuses épidermiques des Equisetacées était expliquée ainsi que leur « agencement caractéristique très constant que l'on est conduit à proposer comme critère de valeur taxinomique ». Début 1969 on montrait que le stomate de l'épiderme cotylédonaire d'une Euphorbe fonctionne grâce à deux replis internes et deux replis externes se chevauchant; en 1971 que les formes brévistyles et longistyles du *Linum austriacum* se distinguent par l'ornementation du pollen et celle du stigmate; en 1972 qu'il existe chez les *Carex* divers types de stomates dont « la variété des ornementations et la constance constituent des caractères taxonomiques d'un très grand intérêt »; en 1972 encore que les glandes en bouclier des écailles de *Lathrea clandestina L.* ont pour rôle « le transport et le rejet de l'eau (et des substances dissoutes) par la plante » (confirmation). A partir de 1972 toujours paraissent d'importantes études sur le raisin. Il a été montré qu'« au cours de la croissance, de la maturation du fruit, on assiste au remplacement d'un type morphologique de cires cuticulaires par un autre type »; qu'« il existe 25 à 40 stomates environ à la surface de chaque fruit » et que de ce point de vue les cépages Aligoté, Chardonnay et Gamay sont identiques au Pinot (Pl. I, fig. 2); qu'au cours de la maturation enfin se crée « une auréole péristomatique formée de tissus morts ou sénescents et plus ou moins déchirés » par où le « Champignon de la Pourriture grise commence son développement sur le raisin et pénètre à l'intérieur ». D'autres auteurs français ont montré que les levures de vin ne se développent pas seulement « à la surface de la pruine des baies de raisin » mais aussi sur la rafle et les pédicelles.

Nous quitterons la botanique sur une application industrielle du m.e.b. très inattendue. Etudiant la résistance du bois à l'écrasement et à la traction (*Eucalyptus* notamment) des ingénieurs australiens ont observé comment se faisait la rupture des fibrilles et l'interaction intime de celles-ci avec les polymères infusés dans les bois pour en augmenter les qualités physiques.

ZOOLOGIE

La microscopie électronique à balayage se prête bien mieux à l'observation des productions solides qu'à celle des protoplasmes visqueux et déformables. Ceci explique que les études de squelettes, coquilles, peaux, plumes, poils, œufs, etc... aient été plus nombreuses que celles des tissus eux-mêmes et que les Arthropodes dominent largement dans le lot des animaux étudiés.

En *entomologie*, les observations mettaient en évidence dès 1969, la micro-ornementation très ordonnée des Collemboles, puis l'organisation sensorielle (Neelidae) et le dimorphisme sexuel (Sminthuridinae) de leurs antennes.

Les Orthoptères furent étudiés surtout pour leurs appareils de stridulation et d'acoustique. Un chercheur confirmait (début 1970) sur les Phaneropterinae « que les élytres ne sont jamais parfaitement symétriques et que la réduction de la râpe de stridulation droite totalement inutile à la production des sons est plus ou moins accusée selon les espèces », qu'enfin c'est le nombre, la répartition et la forme des dents qui donne aux émissions sonores « une originalité spécifique ». Tandis que le fonctionnement de la *pars stridens* était éclaircie sinon éclairée sur diverses espèces, un autre chercheur attribuait son ontogénie (chez les Ensifères femelles cette fois) à l'hypertrophie de petites épines nervurales qui évolueraient en dents massives ne persistant que sur une seule nervure, la nervure stridulante. Ces femelles répondent en effet aux stridulations des mâles par des cliquetis. Mais comment les entendent-elles ? Il a été montré quelques mois plus tard que c'est la face supérieure de l'élytre droit qui est différencié en appareil acoustique. Si le fonctionnement intime de ce dernier reste inexpliqué, on a pu montrer par contre comment les vésicules acoustiques du Grillon constituent, grâce à une double membrane arrêtant l'air, « une véritable caisse de résonance ».

Chez les Hymenoptères, l'observation détaillée des plages glandulaires tergales des termites et des fourmis a permis de préciser (1970, 1971) le mécanisme de sécrétion de la phréromone de piste, moyen par lequel ces insectes coloniaux se suivent en file indienne.

Sur les Lépidoptères on a surtout observé les mécanismes optiques qui donnent aux ailes de papillons de jour leurs couleurs, résultats d'une pigmentation mêlée à des « phénomènes d'interférence ou de réflexion de la lumière blanche » grâce à des jeux (parallélisme, inclinaison, etc...) de lamelles plus ou moins compliquées. Etudiant les androconies alaires des papillons le même auteur a pu imaginer quelques « mécanismes possibles d'évaporation et de répartition dans l'atmosphère des substances odorantes sécrétées à l'occasion de la rencontre des sexes », précisant que chez les Hesperidae elles « auraient simplement pour rôle de mettre la femelle en situation d'acceptation du mâle ».

Certains Coléoptères (Hydrophilidae) ont été observés pour leur *pars stridens* mais aussi pour la manière dont ils tissaient leur cocon de ponte; on a pu voir d'après

la forme des fils que la filière de l'insecte « travaille » tantôt par écoulement, tantôt par étirement, tantôt par augmentation de fluidité (Pl. I, fig. 3 et 4).

Enfin, certains mécanismes physiologiques découverts grâce au m.e.b. semblent concerner tous les insectes. Au Colloque de Reading (1970) un chercheur anglais argumente une théorie de la respiration des œufs d'insectes sur des images des orifices respiratoires. Puis le fonctionnement intestinal de la larve de certains scarabidés est observé par un autre anglais. Plus tard deux français montrent qu'une larve de Dictyoptère prématurément privée d'hormone juvénile par allatectomie évolue en un « adultoïde » dont le tégument diffère considérablement de celui de l'imago normal par « la morphologie des organes sensoriels et l'ultrastructure de surface ». Pour finir, on a montré qu'en général, l'insecte adulte avait trois types de sacs aériens, différents par l'ultrastructure de l'intima cuticulaire. « Les types réticulés et ponctués prédominent dans les sacs peu dilatables, au voisinage des muscles, tandis que le taenidien, aux possibilités d'extension plus grande, est généralement présent dans les sacs abdominaux », ce qui éclaire considérablement le mécanisme respiratoire des Insectes.

Comme les Insectes, les *Crustacés* se prêtent bien à l'observation au m.e.b. En France, on précise dès 1969 la manière dont la vie parasitaire a modifié l'appareil buccal de certains Isopodes. Puis des caractères génériques et même de famille sont découverts dans les pléopodes copulateurs des Aselloïdea. Chez les Amphipodes on découvre que les formations épicuticulaires des gnathopodes d'*Orchestia* varient selon le sexe et les espèces et ont une fonction plus physiologique que mécanique. Puis la *pars molaris* des mandibules de divers Gammaridés est étudiée. En 1972 enfin est décrit chez un Diplopode Penicillate un organe antennaire cupuliforme jusqu'ici inconnu et qui permettrait de reconnaître une antenne régénérée après amputation accidentelle.

Les travaux sur les *animaux à coquille ou à squelette* sont plus disparates. Dès 1970 un Anglais montre le mécanisme de croissance des Brachipodes fossiles et actuels : si chez les Strophomenidés la structure laminaire des coquilles est due à l'alternance des sécrétions de protéine puis de carbonate, chez ceux qui ont une croissance spirale (Graniopsidés par exemple) il y a des sécrétions simultanées. On a également observé les Eponges calcaires en Angleterre, les spicules des Tuniciers, les coques et les pédicelles des Etoiles de mer et des Oursins en France ; en particulier sur les formes juvéniles et très petites de certains Echinodermes abyssaux, on a pu voir que ce n'est qu'à partir d'une taille minima (R = 5,5 mm pour le *Plutonaster bifrons*) que tous les caractères de l'espèce sont présents.

Bien d'autres animaux ont été observés au m.e.b. Dès 1969 des zoologistes établissaient que chez les *vers* Nématodes « certains détails céphaliques peuvent avoir une valeur générique ». En 1972 un australien conclut que l'observation des larves de *poissons marins* aura vraisemblablement des répercussions taxinomiques » les myomères et les vertèbres pouvant se compter facilement ». En 1973 enfin une

communication sur le mécanisme de la coloration par interférences lumineuses des plumes de *Paradisiers* provoqua à l'Académie des Sciences une discussion animée où chimistes et physiciens ne furent pas les moins passionnés.

Biologie animale et Médecine

Venons-en maintenant aux observations *cyto-histologiques* par où ont été abordés de nombreux problèmes physiologiques et médicaux bien que toutes ne portent pas sur des tissus humains. Paradoxalement ce furent les plus précoces. En France, dès 1969, était montrée visuellement sur des lymphocytes l'intense activité de la membrane provoquée par une phyto-hémagglutine [1] (on sait que cette action revêt une importance considérable en immunologie expérimentale ainsi que dans les théories de l'origine virale du cancer). Par ailleurs on venait de caractériser les particules d'amiante dans des mésothéliomes pleuraux humains, particules qui constituent, on le sait, un des plus dangereux polluants atmosphériques des villes (Pl. II, fig. 1). En 1970, on observe à la St-George's Hospital Medical School de Londres l'ultramorphologie des chromosomes entiers et au St-Mary's Hospital le phénomène depuis longtemps connu du changement de forme des globules rouges: le passage du disque à la sphère (et *vice versa*) s'opère grâce à une variation d'épaisseur de la membrane qui de 5,0 ± 1,0 nm passe à 40 ± 10 nm., ce qui confirmerait la théorie selon laquelle cette membrane est elle-même constituée de plaquettes changeant de forme. Ce phénomène du changement de forme normal ou pathologique (drepanocytose par exemple) des erythrocytes et des reticulocytes est depuis 1970 en plein approfondissement à l'Institut de Pathologie Cellulaire du Kremlin-Bicètre ainsi qu'à l'hôpital Saint-Antoine (INSERM U 104, pl. II, fig. 2 et 3).

En *anatomie* des médecins anglais ont montré en 1971 l'extrême complexité du cartilage humain qui, loin d'être massif, est constitué d'un enchevêtrement de couches percées de piqûres d'épingle ou formées de fibrilles disposées chaque fois différemment.

En *histo-physiologie* normale ou pathologique un certain nombre d'observations ont été faites sur les glandes et les épithéliums d'animaux de laboratoire. En 1971 des biologistes français montraient de spectaculaires images de l'épithelium utérin de la Ratte entre les 4e et 5e jours de la gestation tandis que d'autres confirmaient (m.e.b. + transmission) le mécanisme secrétoire des cellules insulaires du pancréas des batraciens, des reptiles et des mammifères. Puis des néphrologues français ont montré les modifications du « pôle urinaire des cellules tubulaires distales chez le Rat soumis à une acidose gazeuse et à une alcalose métabolique » tandis qu'en

[1] Plusieurs biologistes ont parfois fait état de points brillants (blancs sur les photos) dans les tissus ou les cellules étudiés et ont conclu à des émissions électroniques naturelles et spontanées venant perturber l'émission électronique secondaire provoquée normalement par le faisceau incident de l'appareil. Ces interprétations sont sujettes à caution.

Nouvelle Zélande on observait (1972) les muqueuses intestinales de souris saines et de souris ischémiques pour mieux comprendre « l'organisation des cellules saines et des cellules malades ». En 1972, étaient observées en France les modifications des cellules folliculaires thyroïdiennes sous l'effet de l'hormone thyréotrope. Plus récemment le m.e.b. associé à la détection *in situ* de l'iode par la microsonde de Castaing a permis de suivre au sein même des tissus « la cinétique des hormones thyroïdiennes, ou de leur formation ou de leur mise en réserve, en décelant l'iode qui les identifie ou les préfigure, ceci sans intervention traumatisante pour les organelles qui les concentrent ainsi que pour le cytoplasme...»

En *parasitologie* signalons les observations en France des grégarines intestinales, des gales de la peau, de la punaise des lits, du morpion et du poux, et surtout la belle étude du « Pest Infestation Laboratory » de Slough (Angleterre) sur les œufs d'Acariens en général.

En *virologie* des chercheurs français ont montré en 1970 que « les corps d'inclusion polyèdriques viraux » de certains lépidoptères, connus depuis longtemps comme des cristaux protéiniques, appartiennent au système cubique et sont souvent des cubes typiques dont « le vieillissement et l'usure » se manifestent dès qu'ils sont sortis des tissus ou de l'hémolymphe, pour être conservés en suspension ou à l'état sec. Par ailleurs, des anglais ont observé l'évolution des colonies de *Streptococcus mutans*.

Enfin tout récemment à été publié en France une remarquable observation expérimentale *in vitro*: un chercheur du C.E.A. a montré la forte radiorésistance des hystocytes alvéolaires. « Une seule cellule peut successivement phagocyter plusieurs granules (d'oxyde de plutonium) en dépit de la forte irradiation qu'elle subit de ce fait » mais cette radiorésistance diminue pourtant à chaque phagocytose et la cellule finit par mourir.

Les sciences naturelles polyvalentes

La *pédologie* se penche depuis longtemps, entre autres, sur la stabilité et la cohésion des sols. En observant les parois de galeries animales, les turricules et les sols normaux, on a pu voir et comprendre le rôle supposé des trois facteurs principaux de la stabilité: le tassement des particules, l'enlacement de celles-ci par des filaments micelliens (champignons), l'adhérence des argiles aux limons. Enfin, on a fait la découverte visuelle de champignons divers (encore inétudiés) qui provoquent la désagrégation des nodules d'oxyde de fer et de manganèse dans les sols.

En *agronomie*, on a pu observer que les micelliums qui envahissent et pénètrent la paille humide se gonflent au niveau des tomates.

En *océanographie*, on a découvert enfin des « particules de matière carbonatée dans des nodules de manganèse des grands fonds océanographiques ». « La morphologie très particulière permet d'affirmer que les particules sont passées par un stade de fusion et de dégazage à des températures dépassant 300° C ce qui donne lieu,

selon l'auteur, à deux hypothèses génétiques: il s'agirait soit de « particules riches en goudrons émises lors des incendies naturels de forêts terrestres, « soit de particules « arrivant à des vitesses planétaires dans la sphère d'attraction terrestre » et qui « s'échaufferaient et pourraient acquérir une morphologie assez similaire aux particules terrestres » (?)

En conclusion de cette revue générale on peut dire que toutes les sciences naturelles ont largement bénéficié du m.e.b. Les faits nouveaux sont aussi divers qu'éparpillés mais l'importance de chacun risque bien d'apparaître au profane comme à la mesure de l'instrument employé, c'est-à-dire microscopique. C'est qu'en réalité, les sciences naturelles ne bondissent que par à-coups et par digestion cumulée d'une foule de petits faits précédemment notés et qui sont l'ordinaire de l'avancement des sciences.

III. LES DEGRÉS ET LES MANIÈRES DE LA DÉCOUVERTE

Simple à définir d'une façon abstraite, la « découverte » scientifique est plus difficile à identifier dans le cheminement concret du progrès des connaissances. Elle est encore plus délicate à qualifier. Les exemples suivants le montreront.

Eliminons d'abord toute subjectivité morale sur la finalité des Sciences Naturelles. La rencontre de sphérules bactériennes dans un schiste bitumineux, rencontre susceptible d'éclairer la formation du pétrole, est-elle une découverte plus grande ou moins grande que la modification de forme observée lorsqu'on extrait tel virus de son tissu ambiant ? Les opinions du géologue et du médecin sont connues d'avance comme opposées mais celle du philosophe est plus embarassée car à ses yeux les Sciences Naturelles ont à découvrir tout ce qui existe sans faire de choix. A découvrir et à expliquer; là sont les vraies questions. « De quelles découvertes parlez-vous ? » dira-t-il peut-être avec scepticisme. « On soupçonne depuis longtemps l'action bactérienne dans la formation des hydrocarbures et la mouvance morphologique du virus n'a rien d'étonnant en raison même de sa nature protéinique! ». Ceci met en relief une dualité qui s'attache à la « découverte »: son degré de nouveauté et sa conséquence scientifique.

Essayons de cerner ces notions de plus près et d'abord la nouveauté. N'importe quel objet observé pour la première fois au microscope à balayage révèle des micromorphologies nouvelles; mais le degré de nouveauté dépend autant de l'intention de l'observation que de son résultat. Quand le m.e.b. fournit les formes exactes de détails qui étaient à la limite de l'artefact optique, il s'agit en réalité de précisions morphologiques et ce « nouveau » n'est qu'un « mieux vu ». Lorsqu'on obtient la vision originale de détails soupçonnés mais jusque là inobservables (en raison de leur extrême petitesse ou tout simplement de l'opacité des corps), il s'agit d'un « nouveau recherché »: ce n'est pas l'être qui est révélé, c'est sa forme. Un exemple sédimentologique illustre bien ce cas: les grains de sable dits « ronds-mats » et ceux dits

« émoussés-luisants », devaient bien sûr différer par leurs micromorphologies superficielles mais quelles étaient ces différences ? Enfin il existe les « révélations véritables », en général inopinées voire fortuites, et qui sont de deux types au moins: les « révélations de présence » d'objets déjà connus mais rencontrés dans un endroit où on ne les imaginait pas (coccolithes dans le calcaire de Solhnhofen par exemple) et les « révélations *sensu-stricto* » de microcorps, microorganismes, microorganes dont on ne soupçonnait même pas l'existence (nouveaux microspicules d'Holothuries ou d'Echinodermes par exemple).

L'implication scientifique d'un fait morphologique nouveau est encore plus nuancée donc plus délicate à qualifier. Il s'agit d'évaluer le progrès de la connaissance, c'est-à-dire la qualité du petit bond fait en avant, et non pas l'importance de fait du phénomène. Le Rayonnement Cosmique Solaire est plus colossal et plus important pour le monde que le mécanisme de la respiration des Insectes. Pourtant le m.e.b. n'a fait que *vérifier* et *confirmer* le premier alors qu'il a (pratiquement) *révélé* le second. En simplifiant les choses, un fait morphologique peut entraîner dans l'ordre:

— la confirmation d'une vision, d'une explication ou d'un classement des choses,
— la modification d'une explication,
— la révélation d'un phénomène (avec éventuellement son explication),
— l'infirmation d'une vision, d'une théorie ou d'un classement,
— l'ouverture pure et simple d'un problème et d'un champ de recherche insoupçonnés.

Ces conséquences (ou mieux ces *incidences logiques*) sont citées dans l'ordre d'importance croissant car, paradoxalement et contrairement au progrès technique, le progrès scientifique se mesure moins par l'accumulation des problèmes résolus que par celle des questions soulevées.

Pour saisir comment avance la science d'observation micromorphologique et connaître les rouages de sa dynamique, c'est donc la relation *nouveauté du fait — incidence logique sur la connaissance* qu'il faut étudier. Vont-elles de pair en intensités ou sont-elles indépendantes? L'enquête est difficile car chaque chercheur tient son fait pour une révélation entièrement nouvelle et l'implication scientifique (exprimée ou non) de ce dernier pour capitale. Une première attitude égalitaire (et peut-être fort justifiée) consiste donc à accorder la même valeur à chaque « révélation » et à chaque « conséquence », rendant vide de sens toute analyse de la relation nouveauté-incidence. Une autre attitude, plus subjective mais plus pénétrante, consiste à faire la part des choses entre les avis des auteurs spécialistes et ceux de scientifiques plus généralistes, à la connaissance moins fouillée mais plus panoramique.

Avant d'illustrer tous les cas possibles par des exemples concrets, il faut ouvrir une importante parenthèse relative à la qualité des incidences logiques en Sciences Naturelles en général. Toutes ces sciences ont deux activités principales, séparées mais complémentaires: le classement des espèces minérales ou vivantes et l'explica-

tion des mécanismes. [1] Aux yeux des « explicateurs », le changement de tiroir d'une espèce est, en incidence logique comme en fait, peu de chose à côté du processus physico-chimique ou biologique qu'il vient de démontrer car, disent-ils, tout classement est subjectif et provisoire (ce que les puristes répètent si souvent qu'ils laissent les choses en désordre) tandis que le mécanisme mis en évidence par eux est une réalité tangible. Au contraire le systématicien sent confusément le mépris courtois dans lequel il est tenu et l'attribue à l'incompréhension de ses difficultés et de son utilité. Car le travail du systématicien est ingrat. Il doit compiler toutes les données, pas seulement les morphologiques mais celles des explicateurs aussi, pour mieux classer son groupe et offrir à ces derniers une base de travail rationnelle et mise à jour. La systématique est donc, contrairement à l'opinion fréquente des premiers, à la fois la base des Sciences Naturelles et leur résultante à chaque instant. L'incidence systématique n'est donc pas une conséquence scientifique négligeable; elle traduit une vision synthétique nouvelle, à la fois soupesée et déterminante. Nous en tiendrons compte dans l'analyse qui suit.

1) Les *révélations s.s.* d'êtres morphologiques nouveaux sont rares, du moins celles qui ont une application scientifique immédiate en dehors du problème de leur nature et de leur origine propre [2]. Ce problème formel et gratuit peut prendre parfois une dimension qui le dépasse: les corps carbonés découverts dans les nodules de manganèse océanique par exemple sont une donnée nouvelle et capitale pour un problème en cours, celui de l'origine et de la genèse de ces nodules. Ainsi, dans la plupart des cas, les révélations s.s. bousculent des convictions mal fondées et soulèvent des problèmes insoupçonnés comme celui de la pigmentation des insectes qu'intuitivement on croyait due à une imprégnation chimique intramoléculaire: or des granules de 2 à 5 μ retenus par de fins filaments ou téguments de certains insectes *seraient* pigmentaires (1972). L'incidence logique peut être moindre toutefois, la découverte inopinée d'un organe cupuliforme sur certaines antennes de Crustacés Péniciliates (1972) ne fait que résoudre un problème précédemment posé, celui de la distinction d'une antenne normale et d'une antenne régénérée après amputation accidentelle. Nous ne classerons pas dans cette catégorie tous les détails structuraux, ornementaux ou fonctionnels récemment révélés en biologie car ils ne sont pas tous autonomes; de plus, ils étaient virtuellement recherchés du fait même qu'on soumettait les objets qui les portent au m.e.b.

2) Les *révélations de présence* d'objets déjà connus en des lieux insolites sont également rares. Elles sont pourtant souvent recherchées pour tenir lieu de preuves dans les théories de l'origine et de la genèse du contenant. De ce fait leurs incidences logiques sont en général fortes (confirmations) ou très fortes (infirmations et rem-

---

[1] Avec en plus en Zoologie l'étude du comportement et des mœurs, ouverture sur le psychisme.

[2] C'est pourquoi de nombreux êtres morphologiques nouveaux ne sont pas signalés par les chercheurs.

placements par d'autres explications): le calcaire dit « chimique » de Solnhofen par exemple était en fait d'origine bio-planctologique ». De même l'observation d'impuretés microcristallisées autonomes dans les inclusions fluides du quartz fumé bouscule l'interprétation intuitive ancienne de l'imprégnation chimique interne à la maille cristalline.

3) Le *nouveau recherché* est de loin le plus abondant dans la bibliographie; précisément il est très attendu dans les débats en cours. Toute l'échelle des incidences logiques est couverte:

— confirmation de mécanismes physiologiques (sécrétions glandulaires, fonctionnement des stomates, etc...) ou de théories (inclusions, fluides cristallines).
— révélations de mécanismes jusque là inconnus, physiologiques (respiration des insectes et de leurs œufs), pétrophysiques (marnes et caillasses de la Défense), pathologiques (particules d'amiante s'enkystant dans les poumons).
— nombreuses incidences systématiques constructives: critères spécifiques, génériques ou familiaux chez les animaux (Crustacés, Insectes), les plantes (Equisetacées, *Carex*), les pollens fossiles *(Classopolis)*, etc...
— infirmations quasi-totales d'anciennes systématiques: celles des Foraminifères pour certains spécialistes; celle des Coccolithes dont les bases nouvelles sont encore en discussion.
— ouverture de problèmes nouveaux proprement micromorphologiques: comment se marquent dans l'exoscopie des grains de sable les différentes phases successives de transport par exemple.

4) Le *mieux vu* est relativement peu abondant, surtout le « mieux vu » avoué. Certains chercheurs pourtant indiquent dans leurs titres qu'il s'agit de précisions. Les incidences logiques sont variables et, chose curieuse, les importances de fait souvent très grandes. On y relève entre autres:

— la confirmation du Rayonnement Cosmique Solaire et la datation précise d'échantillons lunaires par exemple.
— de nombreuses précisions de mécanismes minéralogiques (épitaxie), biophysiques (colorations physiques des insectes et des oiseaux, émissions sonores des insectes), physiologiques (résistance des globules blancs à la radioactivité), ontogéniques (origine des râpes de stridulation des insectes orthoptères), etc.
— des classifications ou interprétations nouvelles (provenance botanique des pollens fossiles inaperturés)
— pratiquement pas d'infirmations spectaculaires toutefois.

5) Enfin il faut faire une place à part aux *révélations micromorphologiques lentes*, celles dont on ne prend conscience qu'au bout d'une série d'observations alors

qu'elles étaient visibles dès les premières. Nous en citerons deux qui ont une incidence logique moyennement grande (révélations de phénomènes nouveaux) mais une grande importance de fait. A force d'étudier les insectes pour leur mécanique et leur micromécanique, (c'est-à-dire le fonctionnement des pattes, des pièces buccales, des antennes, etc...) on a fini par s'apercevoir que les téguments reflétaient en général la disposition cellulaire du tissu sous-jacent secréteur, ne se modifiant qu'à certains endroits pour des nécessités de solidité (renforcements masticateurs par exemple). De même, exemple déjà cité, les infimes variations de détail de la microsculpture des pollens dans les espèces affines sans hybride, variations qui posent la question de la valeur du pollen en tant qu'enregistreur et barrière génétiques, n'ont été perçues qu'à la longue.

En résumé, malgré ses imprécisions et ses lacunes, voire ses erreurs d'appréciations, cette rapide analyse met un peu d'ordre (subjectif il est vrai) au sein d'une grande anarchie de fait. Si on admet les points de vue émis sur la nouveauté et les incidences logiques, on peut cerner les choses statistiquement. Dans l'ensemble le « mieux vu » est surtout générateur de confirmations et de précisions, le « nouveau recherché » l'est autant de confirmations que de précisions et d'infirmations tandis que les « révélations véritables » tendent plutôt à soulever de nouveaux problèmes. Ce schéma qui satisfait globalement l'esprit n'était nullement évident *à priori*, et il était intéressant de mettre à profit cette enquête, dans un domaine restreint mais en pleine expansion de la science d'observation visuelle, pour analyser les mécanismes de sa dynamique.

IV. CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour incomplète qu'elle soit, cette étude menée avec trois optiques aux profondeurs de champs différentes révèle dans chacune de ses parties un certain nombre de choses. Premièrement une grande explosion de la production qui montre bien que bon nombre de sujets des sciences naturelles buttaient sur les limites physiques de l'observation. Deuxièmement, des investigations « tous azimuths » sur les mêmes objets ou des objets analogues qui soulignent à l'évidence que la recherche fondamentale, basée sur l'intérêt intellectuel pur, a besoin que les fenêtres de la liberté individuelle lui soient pleinement ouvertes, ce que les planificateurs oublient de plus en plus. Troisièmement, qu'à l'époque des mesures, des ordinateurs et des analyses physiques et chimiques de toutes sortes, la toute simple observation visuelle des seules morphologies (figées de surcroît) est encore, par la réflexion souvent inconsciente qu'elle enclenche et maintient sur les rails du réel, un des plus efficaces moteurs de la pénétration scientifique de la nature. Par la seule analyse des formes l'esprit reconstitue le fonctionnement des choses et les plus beaux exemples (les plus autonomes, c'est-à-dire sans le concours d'autres données) se trouvent dans le domaine

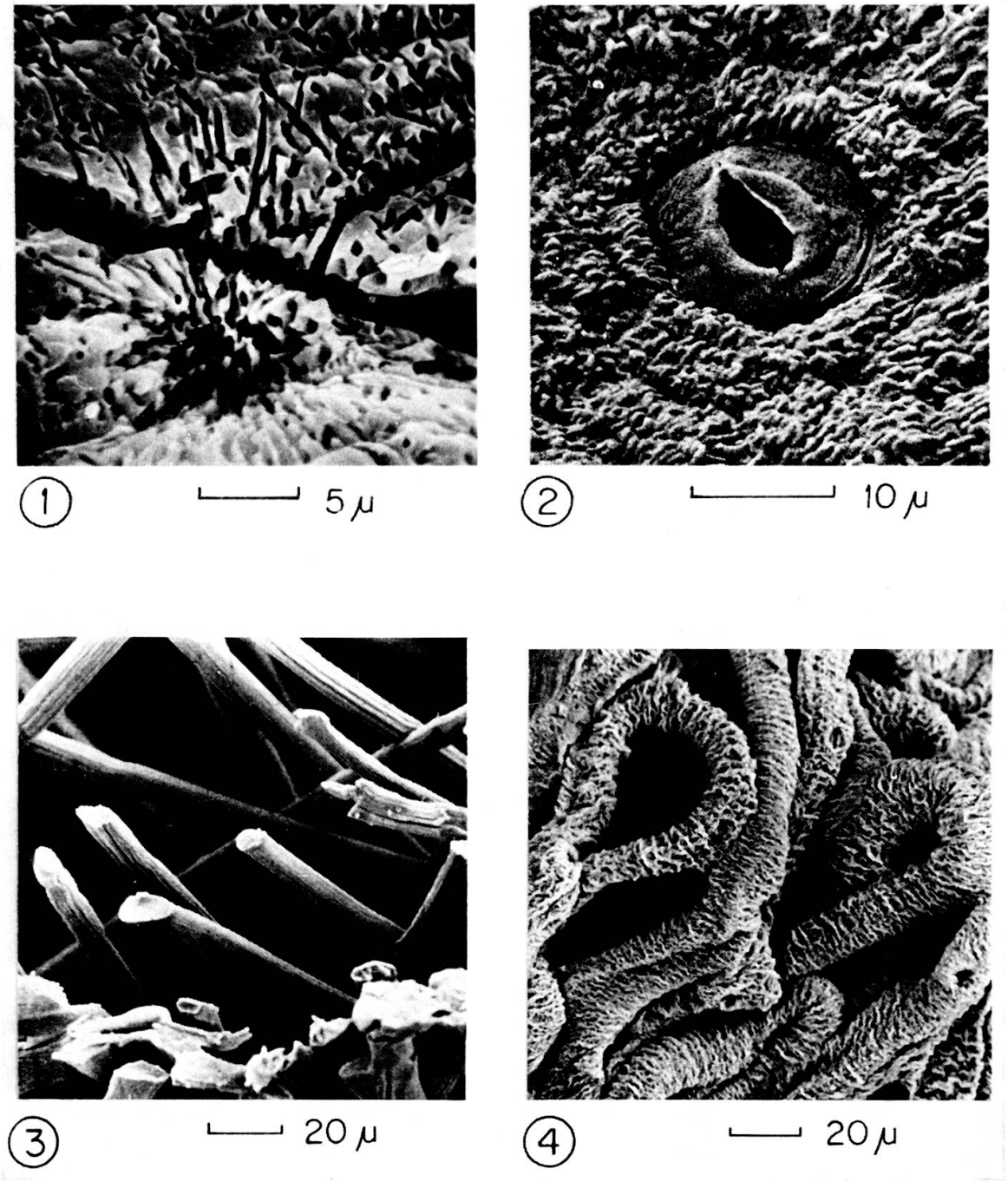
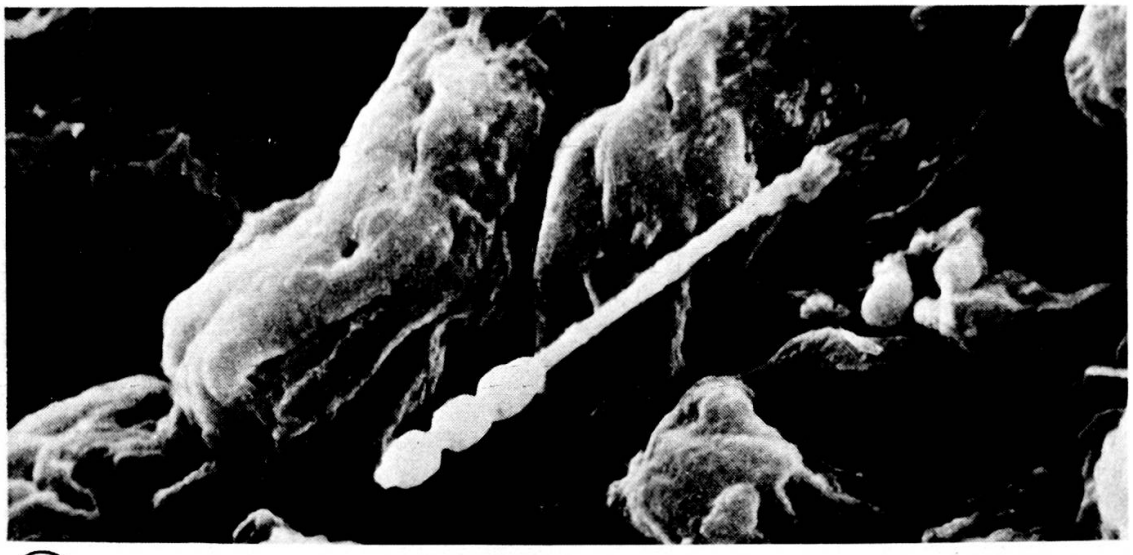


FIG. 1. — Trace de fission nucléaire spontanée d'une inclusion radioactive dans un cristal (feldspath) d'une roche lunaire datée de 3,9 millions d'années. Pellas (Muséum de Paris).

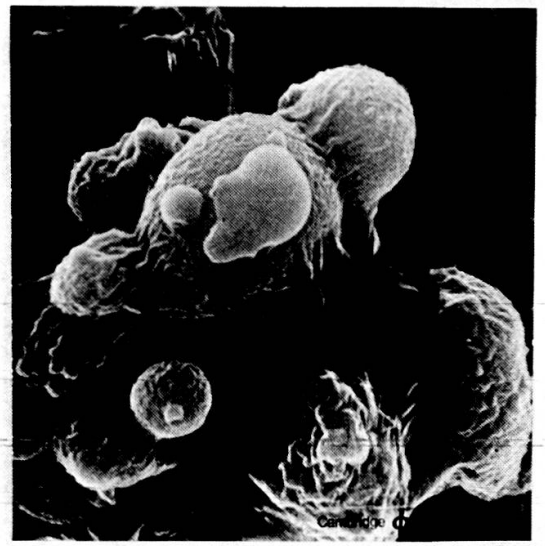
FIG. 2. — Surface de la peau d'un grain de raisin (cépage Pinot) avec, au centre, un stomate (dispositif respiratoire). Bessis (Université de Dijon).

FIG. 3. — Soies du bouchon operculaire du cocon de ponte d'un Coléoptère *(Hydrophylus)* : fils tendus par étirement d'une secrétion peu fluide. Maillard (Université de Nantes).

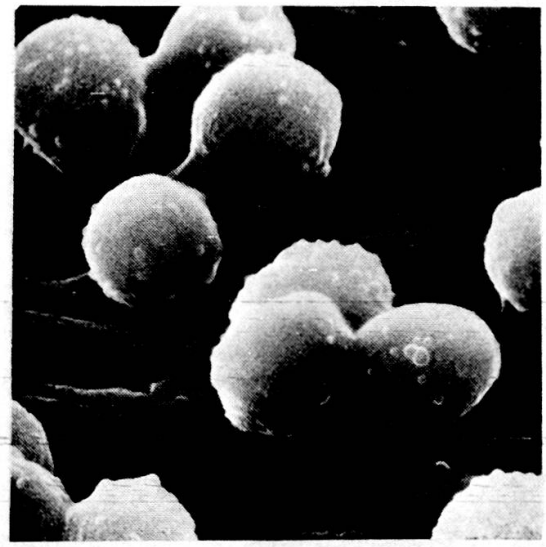
FIG. 4. — Soies de la face antérieure du mât du cocon de ponte d'un Coléoptère *(Hydrophylus)* : fils sinueux produits par poussée d'une secrétion assez fluide. Maillard (Université de Nantes).



1 20 μ



2 2 μ



3 2 μ

FIG. 1. — Fibre d'amiante enrobée d'une gaine ferrugineuse discontinue fichée dans un alvéole pulmonaire humain (pollution atmosphérique). Le Bouffant (C.E.R. CHAR, Paris).

FIG. 2. — Lymphocytes d'origine ganglionnaire. Cellules normales. Robineaux et coll. (INSERM U104, Paris).

FIG. 3. — Lymphocytes d'origine ganglionnaire. Cellules stimulées par la phytohémagglutine après 6 heures de culture. Robineaux et coll. (INSERM U104, Paris).

de la physiologie. C'est à dessein qu'ont été reproduites ici les photographies des diverses soies du cocon des Hydrophilidae: par la seule observation analytique des formes, le naturaliste a reconstitué tout le fonctionnement astucieux et nuancé de la filière de ces insectes. Cet exemple illustre à merveille cette remarquable capacité de l'esprit de visualiser dynamiquement un mécanisme qu'en fait il n'a jamais vu fonctionner. Au Colloque du Reading déjà (1970) un chercheur anglais écrivait: « les découvertes micromorphologiques ont donné un stimulant à l'interprétation du fonctionnel ».