



Article professionnel

Article

1987

Published version

Open Access

This is the published version of the publication, made available in accordance with the publisher's policy.

La micropaléontologie: une science du XX^e siècle au service de l'homme

Zaninetti, Louisette; Wernli, Roland

How to cite

ZANINETTI, Louisette, WERNLI, Roland. La micropaléontologie: une science du XX^e siècle au service de l'homme. In: Cahiers de la Faculté des sciences / Université de Genève, 1987, n° 15, p. 9–26.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:182411>

LA MICROPALÉONTOLOGIE, UNE SCIENCE DU XX^e SIÈCLE AU SERVICE DE L'HOMME

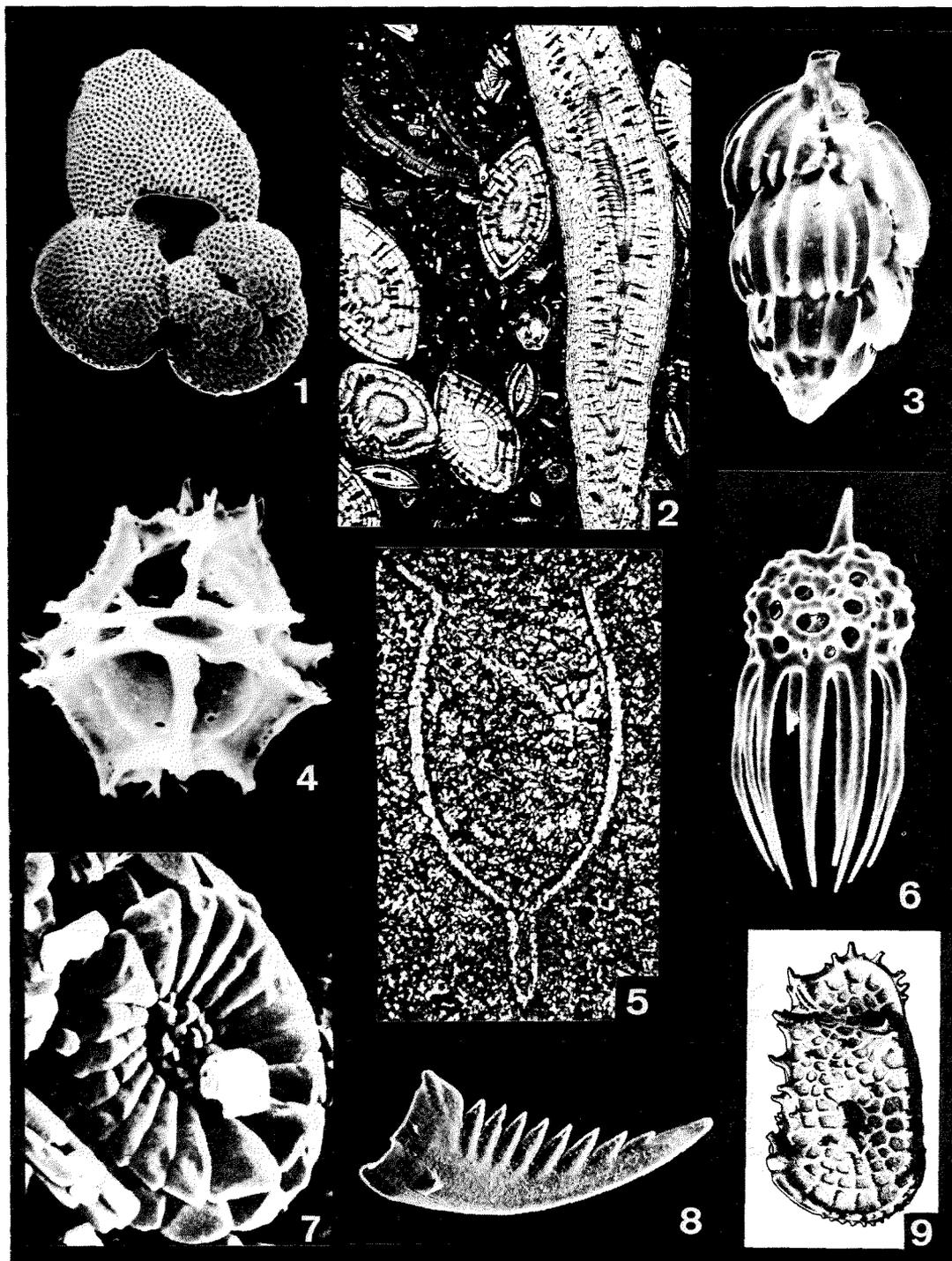
« Every time you drive a car you are able to do so because of the photosynthetic activity of plants many millions of years ago. »

R. FORTREY : « Fossils, the Key of the Past. »

W. Heinemann Ltd. and British Museum
(Nat. Hist.), Londres, 1982.

Les fossiles, ces « pierres » en forme d'animaux et de végétaux que l'on peut rencontrer dans la nature, ont probablement de tout temps suscité la curiosité des hommes. Les premières manifestations écrites de l'intérêt pour ces objets insolites, d'origine inexpliquée, ne remontent cependant qu'à l'Antiquité. En effet, bien avant l'invention du mot « fossile » (du latin *fodere*, fouiller), introduit au XVI^e siècle par un médecin saxon, Georg BAUER, dit AGRICOLA, Hérodote au V^e siècle av. J.-C., puis plus tard Strabo et Pline l'Ancien, au 1^{er} siècle de notre ère, mentionnaient déjà la présence d'étranges « pièces de monnaie » (ce qui valut à ces « microfossiles géants » le nom de *nummulites* que leur donna LAMARCK en 1801) contenues par milliards dans les calcaires dont sont construites les pyramides de Gizeh (Pl. 1, Fig. 2). Des lentilles pétrifiées ? Non bien sûr, mais la vraie nature des fossiles ne sera vraisemblablement reconnue qu'au XIII^e siècle par le chinois CHU HSI, et non par Léonard de VINCI à la Renaissance, comme on l'a cru longtemps.

A l'origine, c'est-à-dire au XVI^e siècle, le terme de « fossile » se rapportait à tout objet que l'on pouvait récolter dans la terre en « fouillant », d'où son étymologie. En conséquence, un fragment de roche, un minéral, un objet archéologique, et même, dit-on, une pomme de terre, étaient considérés comme des fossiles, au même titre que les restes pétrifiés d'animaux et de végétaux. Au XVII^e siècle, le sens du terme fut restreint aux vrais fossiles, aux minéraux et aux objets archéologiques, et ce n'est qu'à partir du XVIII^e siècle que le mot « fossile » ne désigna plus que les *restes d'organismes ayant vécu avant l'époque actuelle, résultant d'un long processus de minéralisation et d'une altération diagénétique**, selon la définition que nous lui donnons aujourd'hui.



LEGENDE DE LA PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE 1

Exemple de microfossiles couramment utilisés en biostratigraphie. Ils sont soit sous forme dégagée, extraits de roches meubles lavables, soit en section dans des lames minces de roches indurées.

Fig. 1. — Foraminifère planctonique marin à coquille calcaire perforée du genre *Globigerinoides* (Protozoaire, Rhizopodea, Granuloreticulosia). Miocène. Diamètre : 0,8 mm. Les foraminifères planctoniques sont l'outil de choix pour la stratigraphie fine du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

Fig. 2. — Coupe mince dans un calcaire à pâte foncée contenant des nummulites. Ce sont de grands foraminifères benthiques à coquille calcaire de forme lenticulaire à discoïde vus, ici, en section transversale. La grande forme, *Nummulites gizehensis*, atteint 4 cm de diamètre ! Ces grands foraminifères ont formés de gigantesques accumulations, de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, dans les mers chaudes de l'Eocène.

Fig. 3. — Foraminifère benthique marin à coquille calcaire du genre *Uvigerina*. Pliocène. Diamètre : 0,5 mm. L'organisme, unicellulaire, logé à l'intérieur de la coquille laissait sortir ses pseudopodes par le goulot (ouverture) visible en haut de la photo.

Fig. 4. — Kyste de dinoflagellé marin, planctonique, à coque organique, du genre *Spiniferites* (Protista, Phytamastigophora) Crétacé. Diamètre : 0,045 mm. Lors de conditions climatiques particulières les Dinoflagellés (Dinophycées) qui sont encore actuels, se reproduisent très rapidement (bloom) et provoquent des phénomènes d'eaux rouges sur les côtes océaniques. Ils engluent les animaux filtreurs (moules, etc...) et les rendent toxiques à la consommation. En géologie ce sont d'excellent marqueurs stratigraphiques et par ailleurs leurs coques forment un des composants principaux des hydrocarbures.

Fig. 5. — Coupe mince dans un calcaire fin montrant une calpionelle du genre *Tintinnopsella* en section verticale. Ces petites coquilles calcaires en amphore sont rapprochées des ciliés (Protista, Ciliophora, Tintinnina). Marin planctonique. Crétacé inférieur. Hauteur : 0,1 mm. Les calpionelles, maintenant éteintes, ont proliféré autour de la limite Jurassique-Crétacé et leur évolution rapide permet une zonation fine à cette période.

Fig. 6. — Radiolaire du groupe des Acanthodesmiidae, à coquille siliceuse (Protista, Actinopoda). Marin planctonique. Tertiaire. Diamètre : 0,25 mm. Dans le fond des océans où la sédimentation est très faible, l'accumulation des coquilles de radiolaires engendre la formation de roches siliceuses (radiolarites).

Fig. 7. — Nanofossile (microfossile de la taille de quelques microns) du groupe des coccolithes (genre *Biscutum*). Ces petites pièces calcaires, polycristallines, en forme de fleur, revêtent la surface d'un protiste flagellé planctonique (Phytamastigophora, Coccolithophorida). Crétacé. Diamètre : 0,007 mm ! Dans les mers chaudes, l'accumulation des coccolithes forme des boues calcaires extrêmement fines qui ont donné les fameuses pierres lithographiques utilisées dans l'imprimerie.

Fig. 8. — Microfossile phosphaté appelé conodonte et considéré comme pièce pharyngienne d'un animal vermiforme, marin, planctonique, inconnu, proche des Chétognathes. Ordovicien. Ils permettent une zonation fine dans l'ère primaire et le Trias. Diamètre : 0,8 mm.

Fig. 9. — Ostracode. Coquille bivalve d'un microcrustacé marin benthique du genre *Oeriliella*. Crétacé supérieur. Diamètre : 0,75 mm. Les ostracodes sont d'excellents indicateurs de la salinité des eaux, utilisés en paléocéologie.

Où trouve-t-on des fossiles ?

Les fossiles, il faut bien le dire, ne sont pas des objets rares dans la nature, il n'est donc pas étonnant que l'homme ait pu très tôt les observer. Bien au contraire, des fossiles se trouvent par milliards dans notre voisinage immédiat. Il en existe bien sûr dans les roches sédimentaires des collines et des montagnes qui nous entourent, mais aussi dans ces mêmes roches, autrefois utilisées pour la construction de nos villes : parmi les plus familières, la molasse du Plateau suisse, les calcaires blancs du Jura, le majestueux « Buntsandstein » de la cathédrale de Bâle, et bien d'autres encore. Toutes ces roches en effet contiennent des fossiles, et même le béton, cela peut surprendre, n'en est pas dépourvu, étant lui-même une sorte de « roche reconstituée », à partir de sables et de galets naturels.

Les roches sédimentaires ont des origines extrêmement variées. Elles n'ont pas nécessairement été générées dans les mêmes milieux et elles peuvent être d'âges différents. Il en résulte qu'elles ne contiennent pas toutes les mêmes fossiles. Elles ont en commun cependant d'être constituées de particules minérales, en proportions variables, et de restes de formes de vie caractéristiques de l'époque de leur formation, lentement accumulés sur le fond des anciens océans, ou sur les continents. C'est là que les organismes, aujourd'hui fossilisés, ont vécu ou qu'ils ont été transportés. Ces fossiles, on le verra, sont de toutes dimensions, le plus souvent ils seront invisibles à l'œil nu.

Les macrofossiles

Les dimensions des fossiles constituent un élément important, autant dans l'aventure de leur découverte à travers l'observation humaine, que pour ce qui concerne les développements plus récents de leur étude.

Les grands fossiles ont de toute évidence été les premiers à être repérés par l'homme. On peut penser aux squelettes de Dinosaures, dont certaines espèces ont atteint des dimensions de plusieurs dizaines de mètres. Mais sans aller jusqu'à considérer de tels extrêmes, d'autres « macrofossiles » existent tout près de nous, essentiellement sous la forme de restes d'Invertébrés marins, dans le Jura par exemple, où les amateurs de fossiles ont sans doute fait les plus fructueuses récoltes. Citons les ammonites parmi les fossiles les plus recherchés, mais il existe une foule d'autres organismes tout aussi intéressants, des gastéropodes, des bivalves, des oursins, des crinoïdes, des brachiopodes, etc., sans oublier les coraux et les éponges qui localement dans nos régions forment de forts beaux récifs fossiles (voir Cahier de la Faculté des Sciences N^{os} 11 et 12). Autrefois en effet, il y a plus de cent millions

d'années, le Jura s'étendait en une vaste plate-forme marine, grouillante de vie sous un climat tropical ; sur ces fonds marins se sont déposés les sédiments aujourd'hui consolidés, et remplissés à la suite des poussées magistrales développées durant l'orogénèse* alpine.

C'est donc ainsi, comme par un jeu de la nature, mais en réalité au travers de longues contraintes tectoniques*, que la géologie a déplacé, pour le plus grand étonnement de l'homme et le plaisir du collectionneur, des fossiles venus de la mer au sommet des montagnes ! Quel paradoxe ! De quoi intriguer nos ancêtres pour des générations, et frapper encore de nos jours bien des esprits non avertis !

Les microfossiles

Il existe en effet des fossiles bien plus petits que ceux que l'on peut tenir dans sa main. La forte densité permanente des microorganismes marins, planctoniques* et benthiques*, détermine après la mort de ces organismes un processus d'accumulation massive de leurs restes au fond des océans. Cette concentration assure aux microfossiles un rôle majeur dans la genèse des roches sédimentaires.

La taille réduite des « microfossiles », nous le verrons, fait leur force, mais leur fragilité relative reste pour eux un point faible, face aux aléas des conditions de leur conservation ou au traitement parfois brutal que peut exiger leur extraction des roches. Mais l'un compensant l'autre, leur extrême abondance (un gramme de sédiment océanique peut contenir 50 000 globigérines* ou plus de 5 000 000 de nannofossiles) équilibre souvent avantageusement les pertes occasionnées par la fossilisation ou le dégagement du sédiment, opération qui n'est d'ailleurs pas toujours nécessaire.

Ces microfossiles, dont les dimensions vont de quelques millièmes de mm (les « nannofossiles ») à quelques mm, présentent par rapport aux macrofossiles des limites assez arbitraires, définies par le fait « qu'ils doivent être examinés au microscope ». Les microfossiles appartiennent au monde de la micropaléontologie, une émergence de la paléontologie classique, devenue ce siècle une science à part entière, en raison du soutien permanent que cette discipline moderne apporte à la géologie, en particulier dans ses applications à la prospection pétrolière.

Les organismes étudiés par la micropaléontologie sont de nature très diverse. Ceux que l'on utilise le plus fréquemment, surtout pour leurs qualités d'indicateurs biostratigraphiques*, mais aussi en tant que marqueurs

paléocéologiques, sont des Protistes : ce sont des êtres unicellulaires, parmi ceux qui possèdent des coques rigides, calcaires ou siliceuses (par exemple les Foraminifères et les Radiolaires, aux architectures coquillères les plus variées, souvent délicatement raffinées, Pl. 1, Fig. 1, 2, 3, 6), ou des palynomorphes, un ensemble caractérisé par son hétérogénéité taxonomique, qui groupe tous les microfossiles entiers ou fragmentés faits de matière organique. Cette matière organique (voir article de G. Gorin dans ce Cahier de la Faculté) oppose, par sa flexibilité, les palynomorphes (Pl. 1, Fig. 4) à tous les autres microfossiles ; elle présente aussi des qualités exceptionnelles de résistance, non seulement à l'enfouissement pendant des millions d'années, mais encore aux agents chimiques puissants utilisés pour son extraction. Parmi les palynomorphes, les spores et les pollens permettent à la micropaléontologie d'accéder au vaste domaine du règne végétal, peu exploité sous la forme de microfossiles, à l'exception d'un assez grand nombre d'algues (Chlorophycées, Rhodophycées), capables de sécréter des thalles calcaires qui ont permis leur fossilisation.

Dans l'industrie pétrolière cependant, le palynologue moderne est appelé à étudier non seulement les palynomorphes, mais à considérer également la nature et la couleur de la matière organique conservée. Les composés organiques fossiles en effet présentent des tonalités diverses, allant du jaune pâle au noir en passant par le brun, qui constituent un indice précieux pour l'établissement du degré de carbonisation du sédiment. La couleur de la matière organique, en conséquence, sera exploitée comme un révélateur de l'état de maturation du kérogène, d'où seront finalement déduites les chances de découvrir des « fenêtres à huile », donc de nouveaux gisements de pétrole (voir article de G. Gorin).

Enfin, d'autres microfossiles encore sont utilisés en micropaléontologie, qui sont des animaux d'un niveau d'organisation plus élevé. Ce sont par exemple les ostracodes (Pl. 1, Fig. 9), ces minuscules crustacés enveloppés dans une carapace bivalve, dont l'étude s'est elle aussi révélée depuis longtemps fort intéressante dans la reconstruction de l'évolution géologique et de la paléocéologie des bassins pétroliers.

En effet, certains détails structuraux des ostracodes, notamment le modelé de leur carapace (réticulée, épineuse), ou l'absence de relief, sont autant de caractères qui renseigneront sur la paléosalinité, sur la turbulence et la profondeur des mers d'autrefois, apportant ainsi une utile contribution à la compréhension globale de la géodynamique des anciens bassins sédimentaires.

Comment observer des microfossiles ?

« Nautili¹ plurimi etiam num abysso Pelagi latent, varii horum tam parvi, ut armatis oculis examinandi. »

LINNE : « Systema naturae », 1758

Les moyens d'investigation dans le domaine de la micropaléontologie ont eux aussi suivi, au cours du XX^e siècle, l'évolution de la science elle-même, avec toutes ses nouvelles exigences.

Jusque vers les années 50, on se servait, pour observer des microfossiles, d'un simple microscope. A l'époque déjà, avec un bon instrument, on pouvait atteindre des grossissements de 1000x et même davantage, et la microscopie photonique est encore de nos jours la méthode la plus courante et la plus rapide pour examiner le contenu micropaléontologique d'une roche. L'étude se fait par transparence, au travers d'une lame de sédiment amincie à 0,05 à 0,03 mm et collée sur un porte-objet (en palynologie l'observation se fait en lumière transmise sur de la matière organique dégagée de la roche). Des microfossiles dégagés, que l'on examinera dans ce cas par réflexion de la lumière,

¹ Au XVIII^e et dans la première moitié du XIX^e siècles, les foraminifères étaient considérés comme des nautilites.

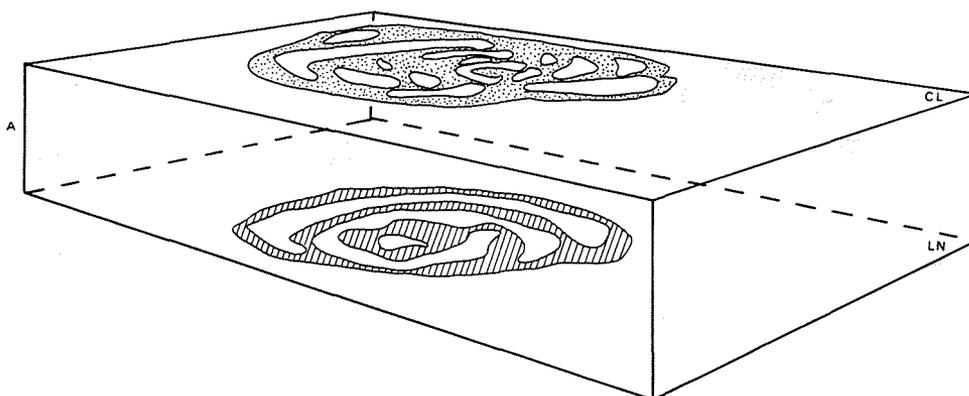


Fig. 1

Schéma d'une plaque mince, fortement agrandie, représentant deux vues superposées d'un même microfossile, respectivement en lumière naturelle (LN) et en cathodoluminescence (CL). On notera les différences des deux images, la section observée en cathodoluminescence passant près du centre du Foraminifère (elle montre un plus grand nombre de tours), la section en lumière naturelle étant tangentielle. L'épaisseur de la coupé mince (A) est d'environ 50 microns et l'épaisseur d'excitation par le faisceau électronique (CL) d'environ 5 microns ; une image superficielle très nette est ainsi obtenue d'un organisme contenu, dans cet exemple, dans toute l'épaisseur de la plaque mince. La superposition des deux images (LN et CL) permet une reconstruction de la structure interne du microfossile. Organisme du Trias de l'Apennin méridional. Dessin : Rossana Martini.

peuvent aussi être obtenus par le lavage de certaines roches, ou, pour les nanofossiles, par des frottis de sédiments meubles ou préalablement pulvérisés.

Aujourd'hui, des techniques assez sophistiquées peuvent être adaptées à la méthode simple de l'analyse en microscopie optique. Un exemple est la *cathodoluminescence* (voir article P. Amieux dans ce Cahier de la Faculté), qui offre d'intéressantes applications dans le domaine de la recherche micropaléontologique. L'examen en cathodoluminescence est surtout utile pour le traitement optique de sédiments recristallisés, qui souvent ne fournissent aucune image de leur contenu fossile avec un microscope ordinaire. La cathodoluminescence s'avère aussi apporter un support exploitable dans la reconstruction des organismes dans l'espace, par une étude comparée d'images sériées, obtenues en lumière naturelle et en cathodoluminescence (Fig. 1).

A partir de 1946, le microscope électronique à transmission, qui permet d'atteindre des grossissements de plus de 500 000x, fait sa première apparition dans les laboratoires de sciences naturelles. Cette nouvelle technologie de pointe ne manquera pas d'entraîner des progrès considérables dans l'investigation de l'infiniment petit. En micropaléontologie cependant, il ne sera fait qu'un usage limité de l'instrument, la méthode imposant de travailler non pas directement sur des échantillons, mais sur des « répliques » (Fig. 2), celles-ci étant en outre toujours détruites par le passage du faisceau électronique.

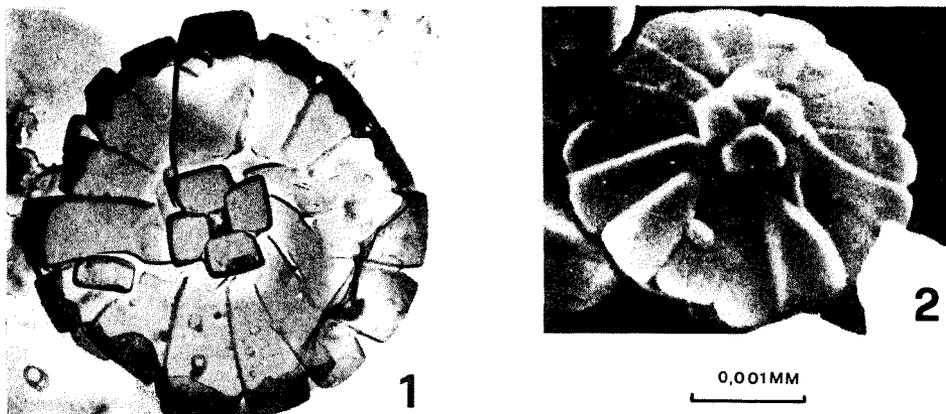


Fig. 2

Discorhabdus (nanofossile) photographié au microscope électronique (1) à transmission (électromicrographie d'une « réplique » de carbone), (2) à balayage. Une réplique s'obtient par vaporisation d'un film de carbone plus un métal (platine, par exemple) sur le nanofossile, puis par dissolution de l'objet « moulé » ; on examine ensuite la réplique, sur une grille de microscopie électronique. D'après Denise Noël : *Coccolithes crétacés*, Ed. CNRS, Paris, 1970.

On peut, en revanche, parler d'une véritable révolution dans le domaine de l'observation scientifique, avec l'introduction, dès 1966, du microscope électronique à balayage (MEB, ou SEM, scanning electron microscope), qui fut immédiatement mis au service de la biologie, de la médecine, de la micropaléontologie. Comment ne pas rappeler que les premiers résultats micropaléontologiques importants obtenus par des études au MEB furent présentés à Genève en 1967, lors de la «1st International Planktonic Conference»? C'était il y a à peine vingt ans, un événement qui souleva l'enthousiasme des congressistes pour une méthode enfin non destructive dans l'étude des microfossiles, et suscita l'admiration de tous pour la remarquable qualité des images (Pl. 1, Fig. 1, 3, 4, 6-8). Une étape d'une portée considérable dans l'étude des structures fines était franchie, et le MEB est devenu depuis un instrument courant dans les laboratoires scientifiques.

En effet, les qualités de l'appareil pour la recherche en sciences descriptives sont nombreuses et restées jusqu'ici inégalées. Si les grossissements maximaux (environ 100 000x) atteints par cet instrument ne sont pas aussi impressionnants que ceux du microscope électronique à transmission, le MEB offre en contre partie le considérable avantage de photographier des microfossiles entiers ou des fragments d'objets, et surtout de les restituer intacts après examen. En outre, le pouvoir de résolution de l'appareil garantit une profondeur de champ qui permet une vision stéréoscopique des microfossiles, ou, selon la préparation des échantillons et les intentions du chercheur, une étude des infimes détails de leur relief ou de leur infrastructure, ceci toujours avec une parfaite netteté.

L'usage du microscope électronique à balayage est ainsi devenu indispensable au naturaliste à la découverte d'un monde toujours plus petit, à travers des images toujours plus grandes, insolites parfois, mais des images toujours belles.

Les microfossiles, leur petite taille fait leur force

La micropaléontologie, comme la paléontologie classique (Paléontologie des Invertébrés, Paléontologie des Vertébrés, Paléobotanique), trouve son champ d'application dans la recherche fondamentale, qui se fait en général dans les Universités et les Musées, mais aussi dans les Services géologiques et les Compagnies pétrolières. Faire l'inventaire des microfossiles, mieux connaître leur structure intime, les replacer dans le temps et dans l'espace, sont autant d'étapes franchies dans la connaissance, sur la voie d'une meilleure compréhension de l'Evolution des êtres vivants, ou dans de nouvelles perspectives d'interprétation stratigraphique* et paléocéologique des terrains sédimentaires.

Mais la micropaléontologie est depuis longtemps sortie de l'Académie pour devenir aussi une science appliquée, environ depuis les années 30, alors même qu'une impulsion considérable était donnée à l'exploration pétrolière dans le monde entier et en particulier aux Etats-Unis. En effet, l'essor qu'a connu la micropaléontologie au cours de ce siècle est essentiellement lié à l'énorme potentiel d'application reconnu à cette discipline dans le domaine de la recherche industrielle. Autrement dit, la célébrité de la micropaléontologie est due avant tout à l'usage pratique que l'industrie pétrolière et ses dérivés, dont la pétrochimie, peuvent faire finalement du microfossile.

Vers 1920 déjà paraissaient les premiers ouvrages consacrés à l'intérêt économique des microfossiles. Cette utilité, les microfossiles la doivent à leur petite taille et à leur abondance dans les roches, mais aussi bien sûr à leurs qualités très tôt remarquées d'indicateurs stratigraphiques et de marqueurs paléoécologiques (sans oublier qu'ils sont aussi des générateurs de matière organique fossile, donc de pétrole !). De telles potentialités sont évidemment fort appréciées et ont trouvé des applications devenues indispensables dans la conduite raisonnée, ou dans la poursuite raisonnable des forages pétroliers.

En effet, lorsque le trépan s'enfonce en profondeur en broyant les roches sur son passage, la boue de forage ne remonte à la surface que les déblais des différentes formations géologiques traversées par le sondage. Ces fragments de roche brisée, les « cuttings » en terme de métier, ont un volume rarement supérieur au $\frac{1}{2}$ cm³. Si les horizons dont ils proviennent sont fossilifères, les « cuttings » ne pourront donc contenir que des microfossiles, à l'exclusion de tout autre forme organique de plus grandes dimensions, toujours détruite par le trépan. Il n'y aura guère plus de chance de rencontrer des macrofossiles dans les « carottes », prélevées, en raison de leur coût élevé, à certains niveaux seulement, pour un meilleur contrôle de la progression du sondage. Ainsi donc, l'étude des microfaunes et des microflores sera seule à permettre au géologue pétrolier d'établir une première biostratigraphie* grossière de la structure du sous-sol, d'étalonner s'il y a lieu certains horizons repères difficiles à fixer dans le temps, ou dans les meilleures conditions de dater, avec une très grande précision, les différentes couches géologiques des terrains traversés (Fig. 3).

Ainsi, les microfossiles, par leur petite taille et leur abondance, sont les seuls indicateurs d'origine organique utilisables pour l'interprétation des séries sédimentaires en profondeur. Et à travers l'échantillonnage de nombreux forages, ils contribueront, d'une part, à la reconstruction de l'environnement d'autrefois pour la recherche des pièges à pétrole, et d'autre part, à la reconstitution de l'histoire paléobiologique des bassins pétroliers. Leur utilité

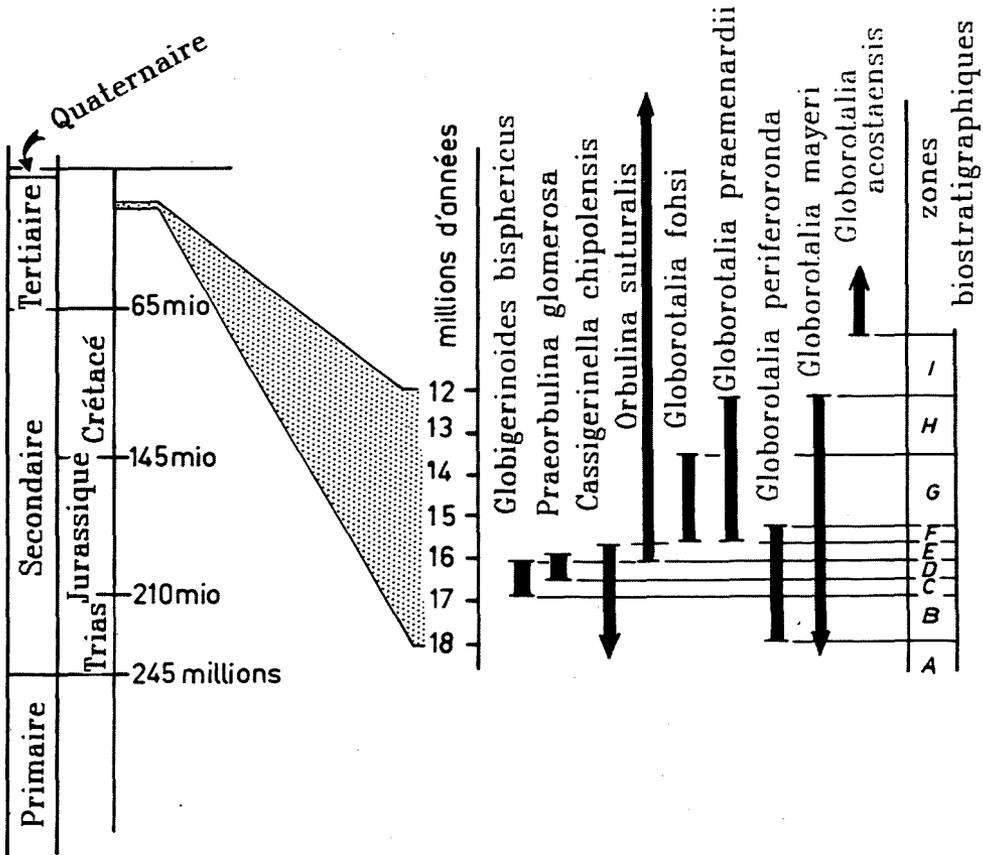


Fig. 3

Exemple de distribution verticale (stratigraphique) de quelques microfossiles marqueurs, ici des foraminifères planctoniques, dans le Tertiaire élevé, entre 12 et 18 millions d'années. La succession des événements paléontologiques (apparitions ou extinctions d'espèces) dans le temps détermine une échelle relative. Elle a été par la suite calibrée en âge « absolu » par des datations isotopiques.

pour la compréhension d'un bassin sédimentaire sera particulièrement évidente, là précisément où les enregistrements sismiques* ne permettront qu'une approximation de la séquence des horizons fossilifères en subsurface.

Zonations et datations dans une même coupe stratigraphique* seront complétées par des comparaisons de l'échantillonnage de tous les forages exécutés dans la zone d'exploration. Ainsi, de proche en proche, la corrélation des différentes strates entre elles donnera une vision panoramique des anciens paysages, continuellement remodelés par le temps. Le déroulement de leur évolution, à partir de l'environnement reconstitué dans chaque intervalle du sondage, contribuera non seulement à décrire l'histoire paléocéologique du bassin sédimentaire, mais permettra de reconstruire la paléogéographie du périmètre étudié, déduite d'une investigation sédimentologique et micropaléontologique détaillée de chaque colonne stratigraphique que représente un sondage (Fig. 4).

Les activités du micropaléontologue autour d'un forage pétrolier

On a vu que la petite taille, l'abondance et l'omniprésence des microfossiles dans les roches sédimentaires ont été la condition déterminante de leur utilisation pratique dans le domaine de l'exploration et de la production pétrolières. On a eu l'occasion également d'évaluer les qualités de cet outil de travail que constitue le microfossile pour le repérage stratigraphique (ou vertical, c'est-à-dire dans le temps) et paléocéologique (ou horizontal, c'est-à-dire dans l'espace, donc dans un milieu), au sein des séries sédimentaires. Ce sont bien sûr les changements évolutifs des groupes fossiles qui permettent au micropaléontologue de se replacer dans le cadre des étages géologiques, et ce sont les associations faunistiques et floristiques qui le situent dans un environnement fossile, plus ou moins bien défini (marin côtier, marin profond, lagunaire, lacustre, etc.), mais caractérisant toujours une époque donnée.

Un puits pétrolier, foré au trépan, peut être comparé, toutes proportions gardées pour ce qui concerne l'échelle, avec la perforation d'un objet dur, obtenue au moyen d'une perceuse. Les poussières dégagées par la perceuse seraient dans ce cas l'équivalent des déblais de forage, donc des « cuttings ». On peut poursuivre cette analogie avec le perçage mécanique, en retenant un exemple dans lequel les pièces usinées seraient lubrifiées avec une huile de coupe. Dans le forage géologique, c'est de la boue dense argileuse (la bentonite) qui va jouer le rôle de lubrifiant. Cette boue est injectée sous pression au centre de la tige de forage (mèche creuse) et elle remontera autour de celle-ci le long des parois du puits. La densité de la boue est calculée en fonction de la résistance des sédiments, de façon à écarter tout risque d'effondrement du puits, et consécutivement de blocage du train de tiges. Toujours comme dans

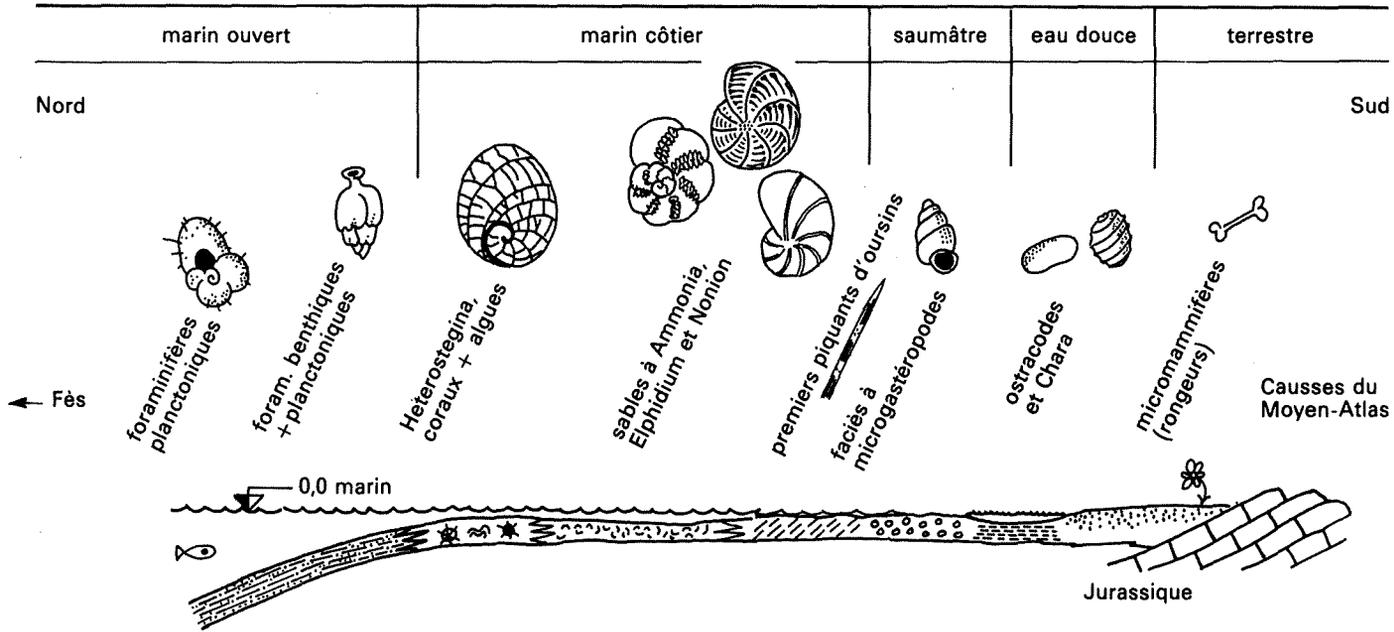


Fig. 4

Exemple de répartition horizontale (paléoécologique) de quelques microfossiles pour un temps donné, ici le Miocène supérieur (8 millions d'années), dans le bassin de Sefrou au sud de Fès (Maroc). La mer franche est à gauche, l'ancien rivage à droite.

l'usinage habituel, la boue assure non seulement la lubrification des parties en contact avec le trépan, mais surtout l'évacuation des « cuttings », en provenance des différentes formations géologiques traversées. Ce sont ces débris de roche que le géologue, et particulièrement le micropaléontologue, vont étudier avec attention à la sortie du puits.

Déjà sur le site même du forage, le géologue de sonde peut examiner des « cuttings » à la loupe binoculaire après un lavage succinct, et se faire une première idée du type de roche présente dans le sous-sol. Une analyse plus détaillée se fera dans un laboratoire spécialisé, et ceci jour après jour, quelquefois heure par heure « en continu », pour suivre pas à pas la progression du sondage. De telles précautions s'imposent particulièrement lorsque la sonde se rapproche d'une accumulation d'hydrocarbures supposée, qui pourrait se trouver sous de très fortes pressions. Ainsi le laboratoire de la compagnie pétrolière reçoit quotidiennement des dizaines de petits sacs de « cuttings », que le sondeur aura prélevé tous les 2 ou 5 m de forage. La plateforme de forage reste en contact permanent par téléphone ou radio-téléphone avec le laboratoire, celui-ci lui transmettant régulièrement (en général deux fois par jour) les résultats de ses analyses.

Le traitement des échantillons est assez simple et rapide et ne nécessite pas un équipement sophistiqué. Les roches meubles sont lavées pour l'extraction des microfossiles, ou traitées par frottis pour l'étude des nannofossiles ; les roches indurées en revanche doivent être taillées en plaques minces. Dans ce dernier cas le sédiment se présentera dans son intégralité, avec sa pâte, ses microfossiles, ses minéraux et sa texture, dont la porosité entre autres caractères est très importante pour l'établissement du diagnostic pétrolier. Il est évident qu'à ce stade de l'examen, le micropaléontologiste a sous les yeux des tranches de microfossiles et tout l'art de ce spécialiste sera de les reconnaître en section pour les identifier, ou si cela est nécessaire de reconstruire l'organisme dans l'espace, normalement à l'aide de nombreuses sections qui peuvent apparaître dans une même plaque mince (Pl. 1, Fig. 2, 5). Après la détermination des espèces, un âge pourra être donné à la roche et, dans la mesure du possible, le paléomilieu de sédimentation sera précisé.

Si le coût d'un forage est toujours très élevé (environ Fr. 2000. — le mètre foré sur terre ; en mer il faut compter 10 fois plus), l'analyse micropaléontologique et pétrographique* est peu onéreuse et l'on comprend qu'elle soit devenue une méthode de routine dans la prospection et l'exploitation pétrolières.

Mais les activités du micropaléontologue ne s'exercent pas seulement dans l'enceinte d'un laboratoire. Avant d'entreprendre une campagne de forage, le micropaléontologue a la charge d'établir, en surface, un levé strati-

graphique de référence, au moyen d'une étude des affleurements situés sur le territoire ou dans le voisinage immédiat de la concession pétrolière. La nature et la séquence de ces roches seront celles que l'on prévoit de rencontrer dans le sous-sol en cours de forage. Ce travail préliminaire, qui est l'un des plus passionnants du métier de « pétrolier », va aider à établir ce que l'on appelle le log prévisionnel, c'est-à-dire la succession que l'on pense retrouver depuis la surface du sol jusqu'à la fin du sondage projeté. Le géologue et le paléontologue auront soin de tenir compte, d'après les données de terrain, de certaines complications possibles en profondeur : séries replissées, redoublées, renversées, faillées, etc. (Fig. 5). Le log prévisionnel, établi en collaboration avec le tectonicien et le géophysicien, sera le véritable pari du sondage. Le Miocène marneux se trouve-t-il bien à - 2500 m comme le pense le tectonicien ? Cette couche repère énigmatique No 7, détectée sur les profils sismiques*, correspond-elle au Jurassique moyen ? etc. Seule la micropaléontologie pourra donner des réponses, le moment venu, lors de l'examen des échantillons. La campagne de géophysique menée avant le sondage donne bien une « image possible » du profil du sous-sol (comme une échographie en médecine), mais seul le forage viendra confirmer ou déterminer la nature des couches.

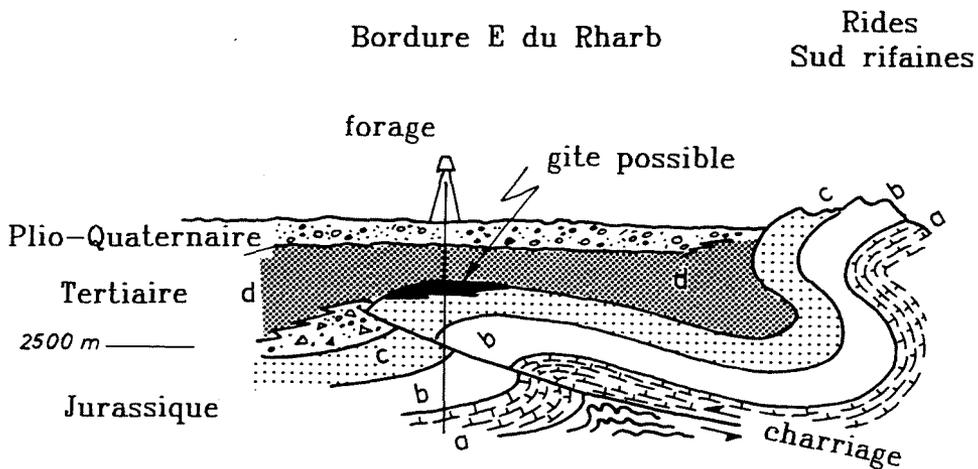


Fig. 5

Exemple d'un forage sur une structure cachée propice à un réservoir d'hydrocarbures. La couche « c » poreuse du Jurassique est cachetée par la couche « d » argileuse imperméable du Tertiaire. Une image possible de la structure est donnée par la géophysique (sismique) et par le contexte tectonique régional. Le log prévisionnel sera établi dans la zone affleurante montagneuse des Rides sud-rifaines. Croquis très schématisé inspiré d'un cas réel (Maroc septentrional).

C'est vraiment au cours du percement du puits que le géologue professionnel vit les heures les plus intenses de l'exploration pétrolière. Tous, tectoniciens, géophysiciens, stratigraphes suivent pas à pas, heure par heure, la progression de la sonde par le biais du log de sondage, établi au fur et à mesure par le géologue et le micropaléontologiste. C'est alors que l'on commencera à évaluer de combien on s'est trompé. Car on se trompe, bien sûr, toujours un peu, quelquefois beaucoup. Il faut désormais retrouver rapidement les erreurs de ses prévisions et construire tout aussi rapidement un nouveau log prévisionnel pour la suite du forage, qui lui progresse inexorablement (l'arrêt d'un forage est une nouvelle opération coûteuse, qui ne peut être décidé sur la seule base d'une erreur de prévision).

Dans cet univers pétrolier, l'essence même du métier est la prévision, et seul le forage pourra vérifier le bien-fondé de celle-ci. L'expérience est donc faite d'un grand nombre de ces prévisions, toujours contrôlées par le sondage. Le dernier mot appartient souvent à la micropaléontologie. Il n'est pas une décision raisonnable d'entreprendre, de poursuivre, de modifier, d'arrêter un sondage, ou de remplacer, lorsque cela semble s'imposer, le trépan par le carottier, qui ne soit préalablement soumise à une expertise micropaléontologique. Et c'est ainsi finalement, en marge de paris souvent démentiels et dans une épopée passionnante mais jalonnée d'écueils et d'espoirs déçus, que le verdict d'une minuscule coquille peut quelquefois dicter la réussite.

La micropaléontologie et l'Université de Genève

La micropaléontologie doit sa lente mais continue progression dans la première moitié du XX^e siècle, même à travers les conflits mondiaux, aux besoins croissants de la consommation humaine en matière d'énergie fossile. Mais elle doit ses progrès spectaculaires dans les dernières décennies, surtout depuis les années 60, avant tout aux activités intenses et aux efforts déployés dans la recherche fondamentale, pour offrir en permanence sur le marché des résultats d'avant-garde, immédiatement accessibles à la prospection industrielle, ou adaptés aux exigences de la production pétrolière pour une meilleure rentabilité des gisements en exploitation.

La Faculté des Sciences de notre Université apporte elle aussi une certaine contribution au maintien du développement de la micropaléontologie, avec l'emploi actuellement d'une dizaine d'enseignants et collaborateurs, spécialisés dans divers domaines de recherche couverts par cette discipline toujours en expansion.

A considérer cependant la portée et la diversité des travaux qui s'effectuent à l'aide des microfossiles, et l'impact à l'échelle mondiale de l'intégration de toutes les données relevant de la micropaléontologie, l'option genevoise de favoriser une orientation micropaléontologique pouvait apparaître au départ une démarche outrepassant les moyens de notre Département. Mais au vu des applications de cette science fondamentalement académique, dans la recherche pétrolière, depuis longtemps devenue le moteur de la progression de la micropaléontologie, le développement de cette discipline au niveau de l'enseignement des Sciences de la Terre ne saurait être considéré comme un choix dénué de raison. Bien au contraire, c'est à n'en pas douter un moyen parmi beaucoup d'autres d'offrir à nos étudiants un accès aux données de base employées en géologie du pétrole, tout en leur assurant une formation professionnelle d'ouverture vers le secteur industriel.

Recherches micropaléontologiques en cours dans notre Département

Des recherches paléontologiques, micropaléontologiques et palynologiques, qui se situent à la base de l'interprétation biostratigraphique, paléoécologique et phylogénétique, se poursuivent au Département de Géologie et Paléontologie dans le Paléozoïque supérieur et le Mésozoïque du domaine téthysien (Alpes, Apennin, Dinarides) et dans le Mésozoïque marocain. Des recherches particulières sont conduites sur le plancton crétacé et tertiaire, ainsi que sur les microfaunes actuelles des faciès confinés (mangroves des domaines atlantique et indo-pacifique, sabkhas de Tunisie). De nombreux travaux portent également sur la systématique et sur l'évolution des microorganismes (Foraminifères, Radiolaires, etc.).

Louissette ZANINETTI et Roland WERNLI

Référence :

Pétrole Progrès N° 145 (Hiver 1985-1986), « Ces infimes témoins d'une vie ancienne », ESSO Paris-La Défense.

Illustration photographique tirée en partie de :

HAQ, B.U. et BOERSMA, A. Editeurs (1978). — Introduction to marine micropaleontology. Elsevier, New York, 376 p.