

Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 32 (1979)
Heft: 1-3

Artikel: Les nodules minéralisés de la jointe (vallée de l'Hongrin, Crétacé inférieur de la nappe des Préalpes médianes)
Autor: Bertrand, Jean / Weidmann, Marc
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-739895>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

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

LES NODULES MINÉRALISÉS DE LA JOINTE (VALLÉE DE L'HONGRIN, CRÉTACÉ INFÉRIEUR DE LA NAPPE DES PRÉALPES MÉDIANES) *

PAR

Jean BERTRAND ¹ et Marc WEIDMANN ²

Situé dans la vallée de l'Hongrin (Préalpes romandes), à environ 5 km en aval de la Lécherette, cet horizon minéralisé a été découvert par l'un de nous (M. W.) en 1965, lors du lever géologique des fondations du barrage de l'Hongrin. Les affleurements, de même que le lieu-dit « La Jointe », sont actuellement en grande partie noyés sous le béton du barrage ou sous l'eau du lac. Ils se trouvent dans le Crétacé inférieur de la nappe des Préalpes médianes plastiques internes.

Nous remercions pour leur aide le Prof. Th. HÜGI (Commission pour la recherche en Suisse de minéraux et roches à éléments radioactifs et rares, Berne), ainsi que M. J. NORBERT, géologue-conseil à Lausanne. Nous devons les déterminations des foraminifères à l'amicale collaboration de M. CARON (Fribourg) et M. TOUTMARKINE (Zurich), celles des nannofossiles calcaires à H. THIERSTEIN (Zurich). M. BOURBON (Paris) a bien voulu examiner notre matériel et nous faire de précieuses suggestions.

SITUATION GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIE

Les travaux de JEANNET (1918) et la feuille « Les Mosses » de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25000 (LOMBARD et al., 1974) montrent la situation structurale du barrage de l'Hongrin: flanc NW du synclinal de Château-d'Oex, au contact entre les Calcaires plaquetés du Crétacé inférieur et les Couches Rouges qui sont ici tertiaires (voir aussi fig. 1).

Les couches plongent régulièrement de 40 à 60° vers le SE. Quelques failles à faible rejet et des replis métriques affectent la série.

* Travail présenté devant la Société vaudoise des Sciences naturelles lors de la séance du 28.II.1975 (voir Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 72, 5, 1975, p. 273).

¹ Département de Minéralogie, 13, rue des Maraîchers, 1211 Genève 4.

² Musée géologique cantonal, 1005 Lausanne.

L'horizon minéralisé, épais de 10 à 150 cm environ, se situe au sommet des Calcaires plaquetés du Néocomien. Comme l'a montré BOLLER (1963, fig. 9, profil XIX), cette série est caractérisée à son sommet par une alternance de calcaires tachetés gris-clair en bancs de 3-15 cm et de lits centimétriques de schistes marneux sombres. Les taches sombres qui constellent la pâte plus claire du calcaire sont des traces de bioturbation: on peut notamment y déterminer *Chondrites affinis* STERNB. et de jolies pistes en chevrons du type *Munsteria hoessii* HEER (voir SEILACHER, 1959, p. 1070-1073). Dans la zone du barrage, les silex sont fréquents et les 4 à 6 derniers m des Calcaires plaquetés prennent une teinte verdâtre claire. Les lits de turbidites calcaires (calcarénites et calcirudites granoclassées) courants dans d'autres coupes des Calcaires plaquetés ne semblent pas exister dans le secteur de La Jointe, ainsi que BOLLER l'avait déjà relevé; par contre, on note des figures de slumping très nettes, des laminites et des remaniements de microfaune.

Cet horizon minéralisé est caractérisé par de fréquents nodules aplatis plus ou moins discoïdes, centimétriques à décimétriques, à structure concentrique dont la couleur brune, beige-moutarde ou rougeâtre tranche sur le gris-verdâtre clair des calcaires. La fréquence des nodules est variable; elle peut être estimée en moyenne à 3 à 8 nodules par mètre carré d'affleurement, que ce soit sur la tranche ou la surface des bancs.

Au-dessous de l'horizon minéralisé, sur plus de 30 m d'épaisseur, on rencontre également des concentrations minéralisées, mais moins fréquentes et uniquement constituées de pyrite fraîche sans structure concentrique; ce sont les « Anhäufungen von Pyrit » de BOLLER (1963).

La macrofaune ne comprend que de rares bélemnites et aptychi que BOLLER veut localiser en un seul niveau-repère, ce qui n'est pas confirmé par la position des échantillons que nous avons récoltés. Une seule ammonite indéterminable a été trouvée (pt 1257, appui N du barrage N): c'est une empreinte déformée dans des schistes noirs.

En lame mince, les Calcaires plaquetés se révèlent être des biomicrites à radio-laires, avec parfois des articles assez abondants d'échinodermes pélagiques. Les foraminifères sont rares (*Spirillina* sp., *Nodosaria* sp., *Trochamminidae*, *Textularidae*), de même que les ostracodes, sclérites d'holothuries, dents et os de poissons. En un seul point (coupe VII), on note des « Protoglobigérines », Radiolaires et petites Hedbergelles à cachet barrémien.

Il faut relever la présence assez courante d'organismes remaniés, soit isolés, soit inclus dans de minuscules galets qui semblent plus marneux que la pâte des Calcaires plaquetés. Ce sont des *Globochaete*, des « Fibrosphères », un seul fragment d'algue de type *Clypeina*, et surtout des Tintinnidés: *Calpionella alpina*, *C. intermedia*,

FIG. 1. — Situation générale et carte géologique schématique (sans Quaternaire) de l'horizon à nodules minéralisés dans le secteur de La Jointe, barrage de l'Hongrin. Etat avant les travaux de fouille et bétonnage.

Tintinnopsella cf. *oblonga*, *T. carpathica*, *Crassicollaria* sp. (?). Des remaniements semblables ont été décrits par GISISER (1968) dans des couches un peu plus jeunes.

L'analyse palynologique d'un nodule minéralisé et d'un échantillon des calcaires encaissants n'a livré aucun microfossile organique.

La nannoflore est pauvre, recristallisée, mais permet néanmoins de dater avec une relative précision l'horizon minéralisé, dans lequel 3 échantillons ont été prélevés (coupe IX, fig. 2) à 50, 70 et 100 cm au-dessous des Couches Rouges transgressives. A part d'assez abondants Tintinnidés remaniés, ces échantillons contenaient les formes suivantes (dét. H. THIERSTEIN, avril 1971):

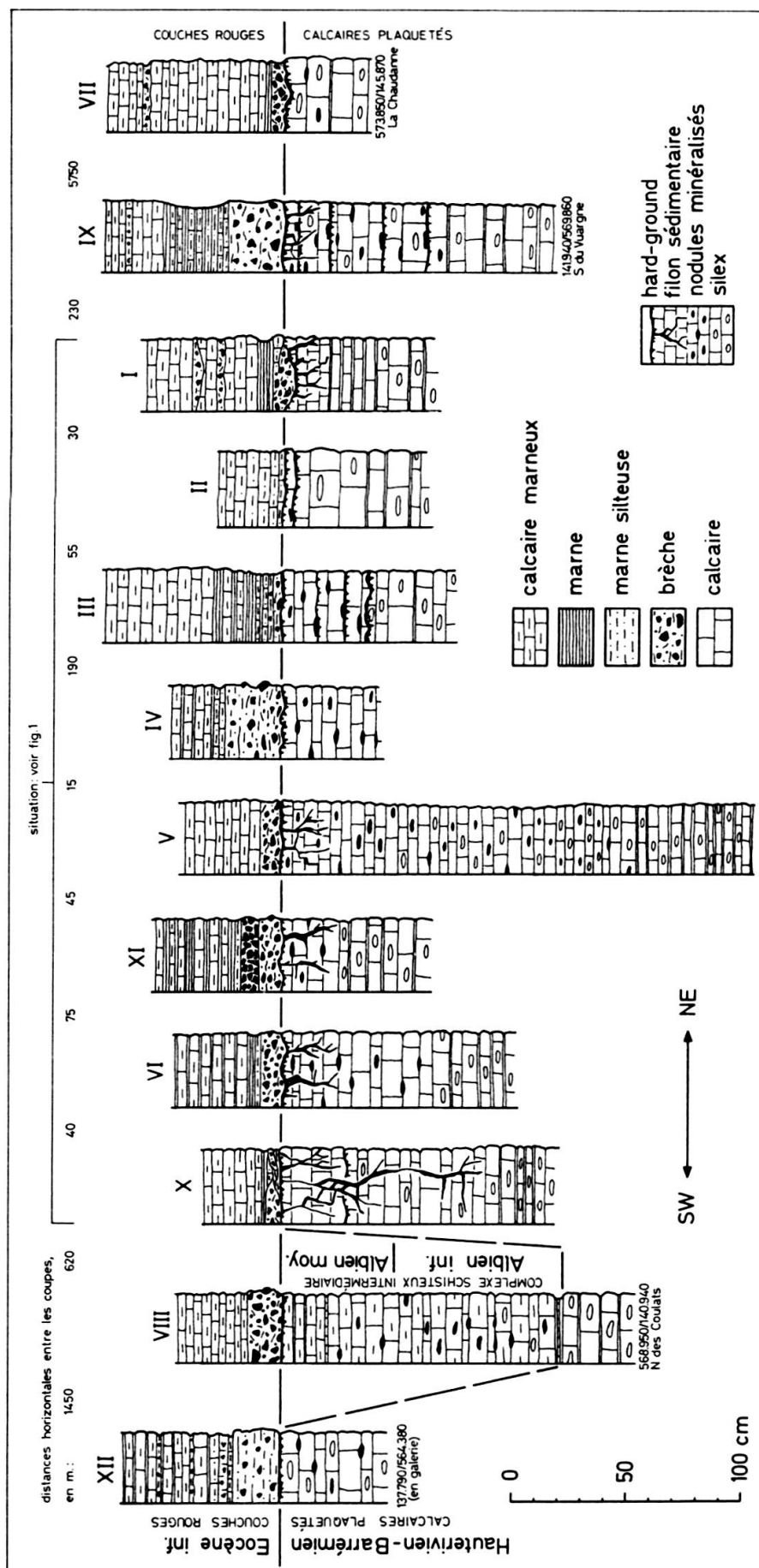
Nannoconus steinmanni KAMPTNER
N. colomi (DE LAPPARENT)
N. bermudezi BRÖNNIMANN
N. brönnimanni TREJO
N. truitti BRÖNNIMANN
N. cf. dolomiticus CITA & PASQUARE
Parhabdolithus embergeri (NOEL)
Watznaueria barnesae (BLACK)
W. communis REINHARDT
Braarudosphaera bigelowi (GRAN & BRAARUD)
B. hochschulzi REINHARDT
Micrantholithus obtusus STRADNER
Lithraphidites carniolensis DEFLANDRE
Discorhabdus exilitus NOEL
Markalius circumradiatus (STOVER)

L'échantillon le plus riche daterait de l'Hauterivien inférieur. La datation des deux autres, de même que celle d'un quatrième prélevé dans le hard-ground sommital des Calcaires plaquetés de la coupe V, est plus imprécise: entre le Valanginien et le Barrémien. Il est fort possible que tout ou partie de la nannoflore soit remaniée; il faut donc considérer ces âges avec prudence.

En conclusion, l'âge de l'horizon minéralisé, donc du sommet des Calcaires plaquetés, se situe entre l'Hauterivien et le Barrémien dans le secteur de La Jointe, mais plus probablement dans le Barrémien.

Dans la même région, mais en dehors du site du barrage, d'autres nodules minéralisés identiques ont été repérés plus bas dans la série des Calcaires plaquetés à silex: dans le Berriasien-Hauterivien (galerie d'adduction, à 8 km au SE du barrage

FIG. 2. — Profils stratigraphiques détaillés
 du contact Calcaires Plaquetés — Couches Rouges
 entre Aveneyres et La Chaudanne (synclinal de Château-d'Œx).



de l'Hongrin; PLANCHEREL et WEIDMANN, 1972, p. 87). On en trouve également plus haut, dans un mince placage de calcaires marneux vert sombre localement épargnés par les érosions précédant la transgression des Couches Rouges tertiaires. Le faciès de ces calcaires rappelle celui du Complexe Schisteux Intermédiaire; ils sont d'ailleurs datés de l'Albien inférieur et moyen par des Hedbergelles et des Ticinelles (fig. 2, coupe VIII; 750 m au SE du barrage; voir LOMBARD et al., 1974).

On sait que le flanc NW du synclinal de Château-d'Oex est caractérisé par une importante lacune entre l'Hongrin et la Sarine: les Couches Rouges crétacées sont absentes. GISIGER (1968) y a cependant signalé la présence tout à fait locale du Complexe Schisteux Intermédiaire (Crétacé moyen) et de Couches Rouges maestrichtiennes exceptionnellement conservées sous la transgression des Couches Rouges tertiaires.

Toujours dans le flanc NW du synclinal de Château-d'Oex mais plus loin au SW, les Couches Rouges crétacées sont présentes en série complète (Turonien-Maestrichtien) dans le secteur de Malatraix (BADOUX, 1965; PLANCHEREL et WEIDMANN, 1972, p. 87; observations inédites). Lorsqu'on se dirige vers le NE, elles diminuent d'épaisseur et, par l'intermédiaire d'une brèche de base, transgressent sur des termes de plus en plus anciens du Complexe Schisteux Intermédiaire et même des Calcaires plaquetés. L'âge de la transgression est variable: Santonien inférieur, Campanien ou Maestrichtien. Les brèches de base remanient des Tintinnidés, des foraminifères planctiques isolés d'âges divers (Albien à Sénonien), des silex, des biomicrites à radiolaires du Néocomien et parfois des nodules minéralisés.

Dans le flanc SE du synclinal, on constate également de rapides et importantes variations d'épaisseur et d'âge dans les Couches Rouges crétacées. La coupe située au SW du Lésay a été étudiée par de nombreux auteurs depuis JEANNET (1918); elle a été discutée par GISIGER (1968) et reprise plus récemment par MARTINI (1971, p. 35). Le Complexe Schisteux Intermédiaire réduit et les Couches Rouges crétacées y mesurent environ 25 m; la série présente quelques lacunes et transgresse directement sur les calcaires oolithiques du Tithonique supérieur. Moins de 500 m plus à l'W, sur le sentier Barne-Forclettes, la même série est réduite à 5-10 cm de brèche argilo-hématitique à foraminifères campaniens et nodules minéralisés remaniés¹.

Au-dessus des divers termes crétacés inférieur, moyen et supérieur précédemment décrits, transgressent, dans toute la région, les Couches Rouges tertiaires. La base de la transgression est très généralement soulignée par un hard-ground à perforations et filonnets sédimentaires anastomosés qui supporte 1-40 cm de brèche brun-rouge, ferrugineuse, à éléments anguleux de quelques mm à 20 cm empruntés aux roches sous-jacentes (Couches Rouges crétacées, horizon à nodules minéralisés, Calcaires plaquetés), mais comprenant aussi des éléments de provenance plus lointaine:

¹ MARTINI (1971, p. 38) a signalé des nodules minéralisés (silice-hématite-chalcosine-covelline) dans les calcaires marneux maestrichtiens des Forclettes, entre les deux coupes que nous citons.

grains de quartz, galets rarissimes de quartzite, porphyre quartzifère, schiste quartzochloriteux, granite à biotite, etc.¹. On y trouve assez souvent des dents de Sélaciens (*Odontaspis* sp.; dét. G. de Beaumont, Genève) qui, en un point près du chalet Le Jorat, NE du Grand Ayerne, sont très abondantes et de grande taille. La microfaune comprend des *Globotruncana* remaniées, des *Globorotalia* et *Globigerina*.

Les Couches Rouges tertiaires atteignent environ 60 m d'épaisseur dans le secteur du barrage, compte tenu, dans la mesure du possible, des replis et écrasements (fig. 3). On y note la présence de minéralisations cuprifères, rares et minuscules, tout à fait semblables à celles décrites par MARTINI (1971) dans d'autres

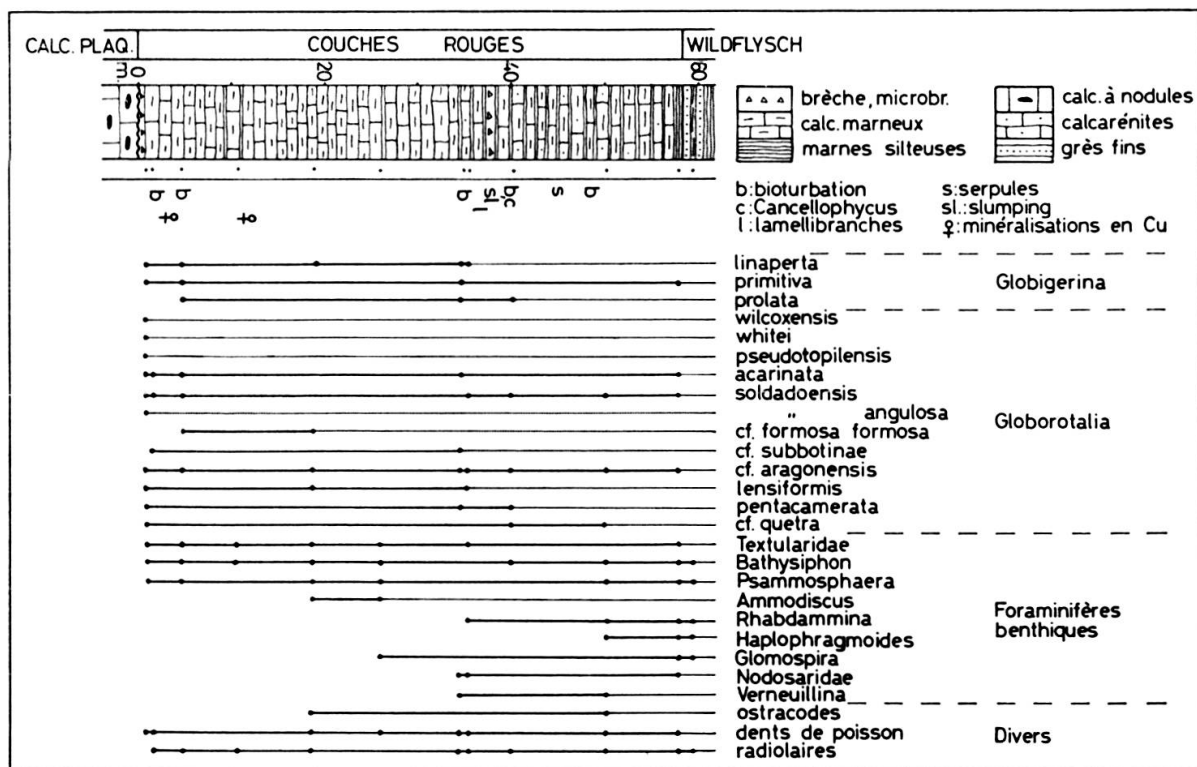


FIG. 3. — Lithologie et microfaune des Couches Rouges du Tabouset.

Coupe relevée le long de la route, au-dessous du chalet du Vuargne (142 000/570 000).

Détermination des foraminifères planctiques par M. TOUMARKINE, E.P.F. Zürich (juin 1970).

¹ La présence de « cailloux exotiques de Cristallin » dans les Couches Rouges des Préalpes médianes plastiques ou rigides a été signalée depuis longtemps (LUGEON, 1909; JEANNET, 1918; LOMBARD, 1940; etc.). Ces éléments sont soit sub-anguleux et inclus dans les brèches de transgression crétacées ou tertiaires, soit parfaitement arrondis, atteignant 20 cm de diamètre, et isolés au milieu des Couches Rouges à faciès pélagique. Leur présence, dans ce dernier cas, pourrait être attribuée à du « biological rafting » (HARLAND, HEROD et KRINSLEY, 1966, p. 234). Une brève revue des collections du Musée et de l'Institut de géologie de Lausanne révèle les types pétrographiques suivants (dét. S. AYRTON): microgranite à feldspath rouge, granite à deux micas, granite très leucocrate à muscovite, rhyodacite, rhyolite, filon de quartz, orthogneiss à grenat et muscovite, quartzite micacé, arkose, schiste quartzo-sériciteux. On y trouve également des roches sédimentaires du Trias et du Jurassique. Sur notre transversale, et dès le Crétacé supérieur, un socle cristallin polymétamorphique avec ses intrusions granitiques et sa couverture d'arkoses et de volcanites acides était donc soumis à l'érosion, probablement dans les zones de type Briançonnais interne (voir BOURBON et al., 1977, § 4.4).

coupes de Couches Rouges tertiaires. La microfaune est abondante, mais le plus souvent recristallisée et déformée. On peut néanmoins affirmer que toute la série est comprise dans l'Eocène inférieur et, probablement, dans sa partie moyenne seulement, couvrant les biozones à *Subbotinae-Formosa formosa-Aragonensis* (fig. 3: foraminifères planctiques déterminés par M. TOUMARKINE, E.P.F. Zurich, 1970).

L'échantillon 9 (fig. 3) a été prélevé dans des marnes argilo-silteuses rouges et renferme encore quelques foraminifères planctiques mêlés à de très nombreux benthiques, arénacés surtout (« microfaune à *Rhabdammina* » de BROUWER, 1965). Dès l'apparition des premiers bancs de grès soulignant le passage au faciès flysch, les foraminifères planctiques disparaissent et il ne reste plus que la microfaune à *Rhabdammina* (éch. 10).

D'autres coupes des Couches Rouges tertiaires ont été étudiées dans la région :

- Le Jorat, NE du Grand Ayerne; flanc NW du synclinal de Château-d'Œx.
- Les Frassis (141.300/573.250); flanc SE de l'anticlinal Tour d'Aï-Pâquier Clavel-Pissot.
- Torrent du Bey (134.900/568.850); situation idem ci-dessus.

Nous n'en donnerons pas le détail, mais seulement le résultat, assez inattendu, des déterminations de la microfaune planctique par M. TOUMARKINE: dans les synclinaux de Château-d'Œx et de Leysin, les Couches Rouges tertiaires paraissent partout restreintes à l'Eocène inférieur; il y aurait donc lacune du Paléocène dans ce secteur des Préalpes Médiannes. En 1960 toutefois, KLAUS signalait au Leysay (anticlinal des Tours d'Aï) des *Globorotalia* rapportées à des espèces du Paléocène moyen; nous n'avons pas vérifié les déterminations de Klaus.

Le flanc NW du synclinal de Château-d'Œx comprend une série de lentilles de Couches Rouges incluses dans le wildflysch qui, contrairement à ce que proposent TWERENBOLD (1955, p. 51 et pl. V) et LOMBARD (1974, notice explicative, pl. I et II), n'ont absolument rien à voir avec la série de Couches Rouges que nous venons de décrire; ce sont le plus souvent des calcaires bioclastiques très peu marneux comprenant une faune de petites huîtres et d'oursins parfois entiers et bien conservés (*Micraster* cf. *decipiens* BAYLE, 141.900/570.300, dét. Prof. DEVRIES, Poitiers). On y note également des surfaces de couche durcies, taraudées et pavées de nodules phosphato-silico-ferrugineux, très différents de ceux des Calcaires plaquetés de La Jointe. La microfaune indique pour ces lentilles du wildflysch un âge allant du Turonien au Maestrichtien, avec de rares lentilles plus marneuses à microfaune de *Globorotalia* et Globigérines tertiaires qu'il n'a pas été possible d'isoler et de déterminer plus précisément.

DESCRIPTION DES DIVERS TYPES DE MINÉRALISATIONS OBSERVÉES

Les conditions de gisement sur le terrain, les examens microscopiques (sections polies et lames minces), les déterminations diffractométriques, les quelques analyses chimiques globales, en particulier pour le contrôle des teneurs en manganèse et phosphore, et enfin les diverses mesures avec la microsonde électronique permettent de répartir les minéralisations étudiées selon quatre subdivisions principales:

1. Minéralisations ferrifères sulfurées constituées de pyrite essentiellement. (« Anhäufungen von Pyrit » de BOLLER, 1963).
2. Minéralisations ferrifères constituées à l'origine de pyrite essentiellement (idem 1.) mais actuellement plus ou moins oxydées (remplacement de la pyrite par de la goethite ¹ surtout).
3. Minéralisations ferrifères entièrement oxydées (goethite, hématite).
4. Minéralisations ferrifères et cuprifères plus complexes, sulfurées et oxydées (bornite, chalcosine, pyrite, goethite, hématite).

1. *Les minéralisations ferrifères sulfurées constituées de pyrite essentiellement*

Ces minéralisations se présentent soit sous forme de concrétions nodulaires, dont la dimension du grand axe varie de quelques millimètres à une dizaine de centimètres, constituées d'une pyrite finement grenue et dans lesquelles apparaît parfois une vague structure concentrique, soit sous forme de minéralisations, de dimensions comparables à celles mentionnées ci-dessus, formées d'un assemblage de fragments plus ou moins disloqués d'une pyrite plus massive et qui résultent, de tout évidence pour certaines, d'une tectonisation plus ou moins importante de concrétions de type nodulaire: par ailleurs, associée à ces minéralisations tectonisées, de la pyrite de remobilisation, filiforme, peut s'observer. Enfin, la pyrite peut également apparaître dispersée dans la roche encaissante, soit en cristaux idiomorphes, ne dépassant généralement pas quelques millimètres, soit en fines cristallisations diffuses (début de concrétion ou pyrite remobilisée ?).

Si, dans les concrétions pyriteuses mentionnées précédemment, on observe parfois des microorganismes ayant échappé à la pyritisation (radiolaires surtout, encore siliceux ou calcifiés; voir fig. 4), au contraire, dans des zones très peu miné-

¹ Pour les divers types de minéralisations oxydées, nous ne mentionnerons que la goethite bien que la lépidocrocite puisse lui être associée, comme l'a montré l'observation microscopique; cette dernière apparaît en effet en moindre concentration et nous ne l'avons jamais individualisée à l'aide des déterminations diffractométriques effectuées.

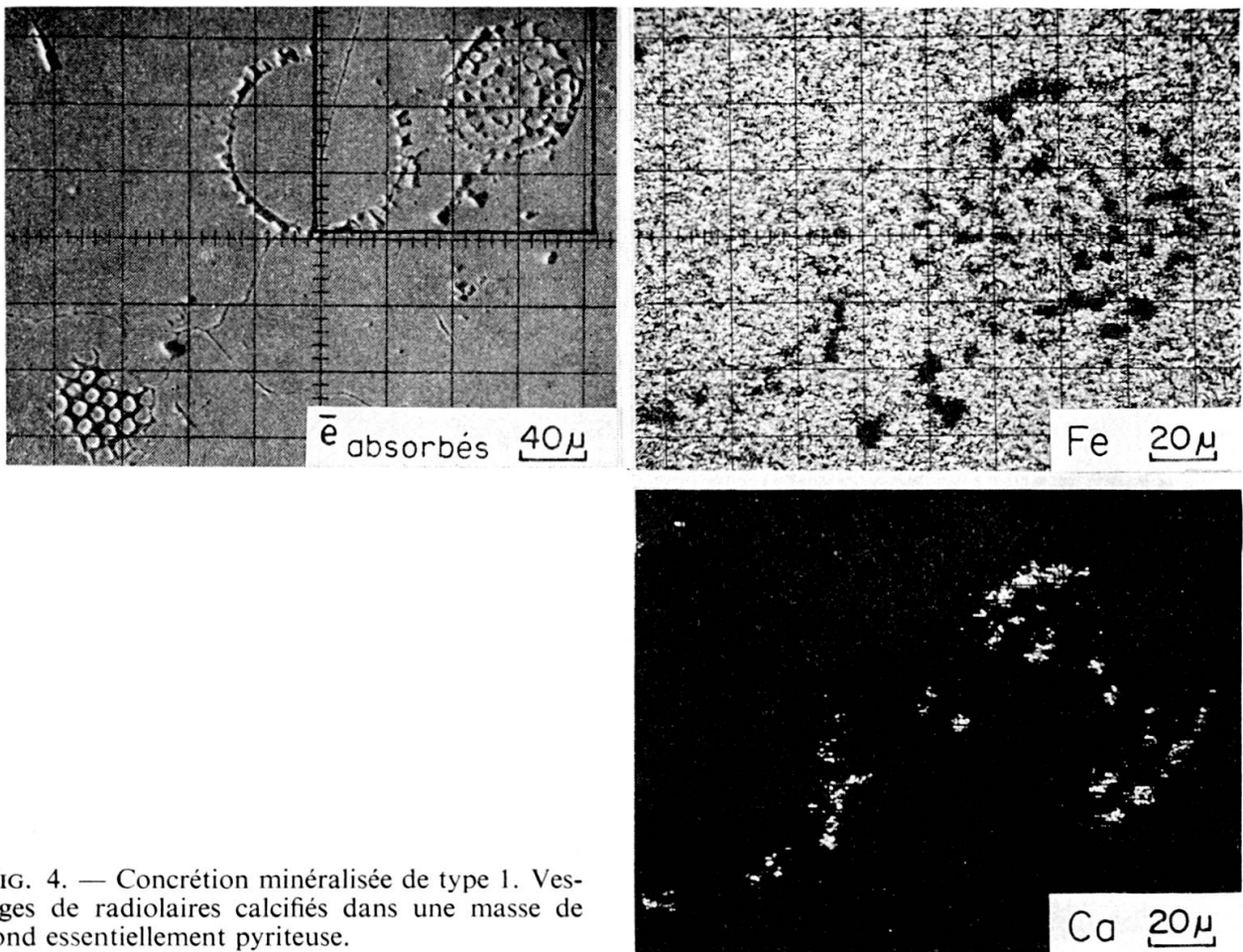


FIG. 4. — Concrétion minéralisée de type 1. Vestiges de radiolaires calcifiés dans une masse de fond essentiellement pyriteuse.

ralisées, des microorganismes peuvent avoir été pyritisés sélectivement (voir fig. 5).

Plusieurs mesures à la microsonde, effectuées sur ces diverses formes de minéralisations, ont montré qu'il s'agissait toujours d'une pyrite très pure et en particulier ne contenant pas de cuivre détectable.

Mentionnons encore que de minces encroûtements noirâtres, qui se sont avérés enrichis en phosphore, s'observent souvent soit directement à la surface externe des concrétions nodulaires, soit sous forme discontinue, dans les calcaires encaissants.

2. *Les minéralisations ferrifères constituées à l'origine de pyrite essentiellement (idem 1.) mais actuellement plus ou moins oxydées (remplacement de la pyrite par de la goethite surtout)*

Les échantillons étudiés de ce type ont tous montré une structure nodulaire concentrique. Dans la partie interne, les cristaux de pyrite, plus ou moins « rongés » par le développement de la goethite à partir des bords ou des fractures des grains

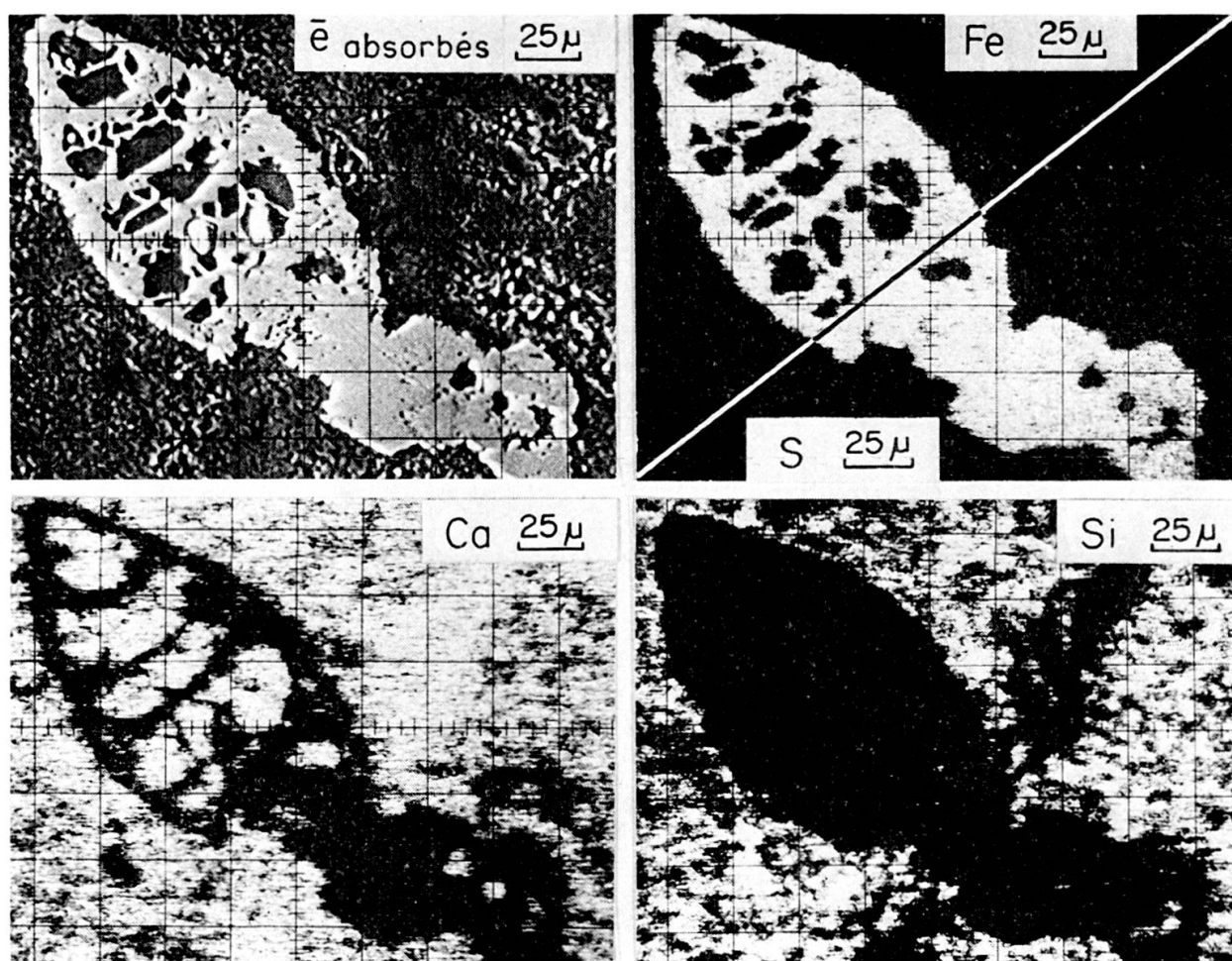
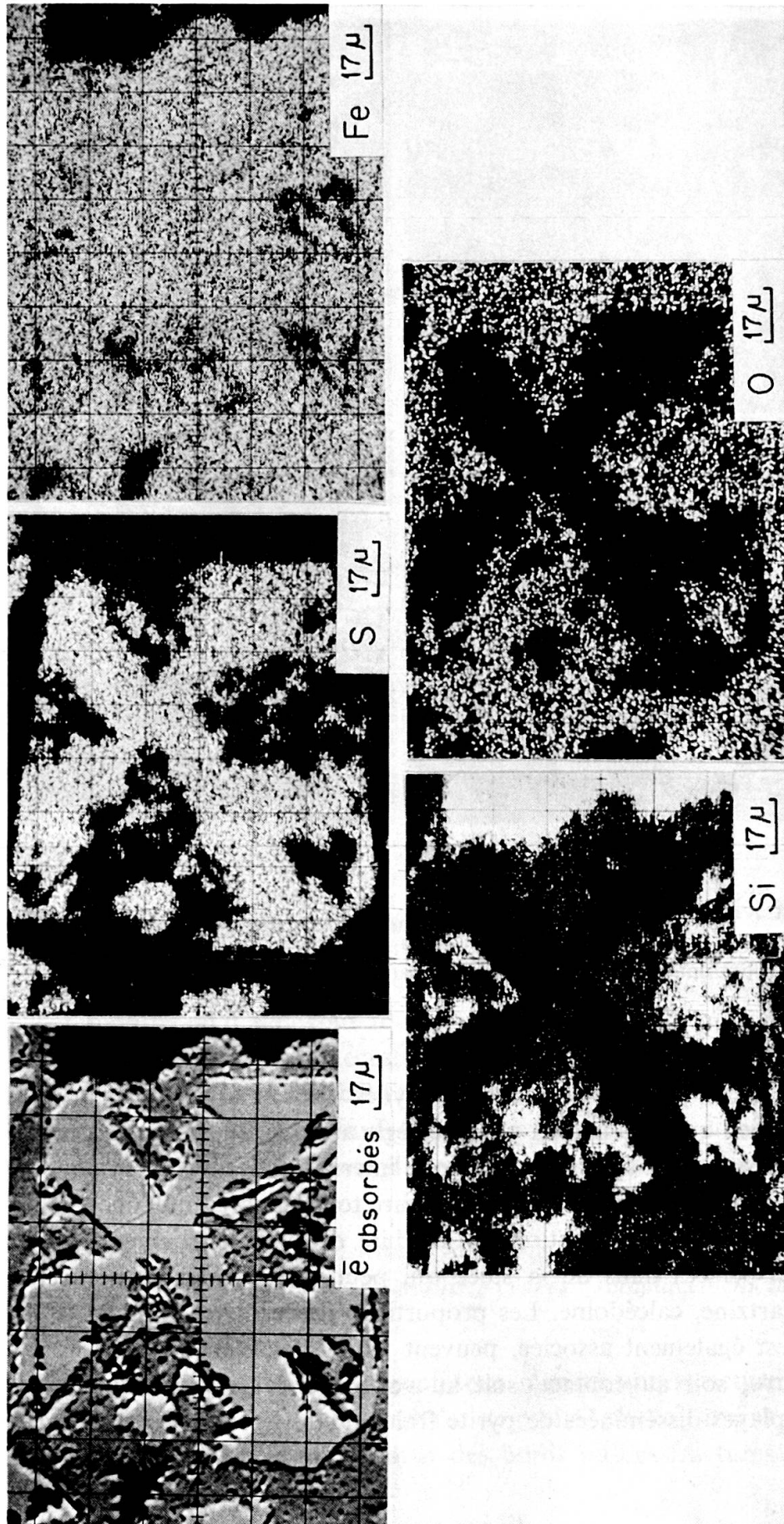


FIG. 5. — Concrétion minéralisée de type 2.
Radiolaire (?) pyritisé dans matrice calcito-siliceuse.
Zone de calcaire siliceux au contact immédiat avec la zone d'accroissement secondaire
entourant le « cœur » d'un nodule par ailleurs peu affecté par l'oxydation.

(voir fig. 6) sont généralement moins oxydés dans la partie la plus centrale de la concrétion bien que cela ne soit pas une règle absolue. A côté de la goethite, l'hématite peut aussi apparaître dans cette zone interne.

Entourant ce « cœur », et pour ainsi dire toujours présente, une zone d'épaisseur variable montre une association de goethite et aussi, localement, d'hématite très finement dispersées dans de la silice qui peut se présenter sous diverses formes: quartz, quartzine, calcédoine. Les proportions de ces divers minéraux, auxquels de la calcite est également associée, peuvent varier notablement. Parfois il arrive que l'on retrouve, soit au contact, soit au voisinage de cette zone enrichie en silice, de petites plages disséminées de pyrite fraîche dans le calcaire encaissant la minéralisation.



3. *Les minéralisations ferrifères totalement oxydées (goethite, hématite)*

Ce type peut être considéré comme correspondant à un stade de transformation plus avancé que celui décrit dans le type 2. En effet, si la pyrite a totalement disparu du « cœur » de tels nodules, sa présence originelle est bien souvent confirmée par les formes encore reconnaissables des cristaux de ce minéral actuellement remplacé par la goethite et l'hématite; cette dernière apparaît le plus souvent dans la zone externe du « cœur » de la concrétion. Toujours dans cette partie centrale, il arrive que l'on observe des passées siliceuses et/ou carbonatées traduisant soit une substitution initiale incomplète de la pyrite au sédiment, soit l'association de minéralisations siliceuses et/ou carbonatées à la phase d'oxydation. Entourant ce « cœur », on retrouve généralement, épaisse de 6 à 12 mm., une zone telle que déjà mentionnée dans le précédent type décrit: plus ou moins imprégnée de goethite surtout, cette zone peut aussi contenir de l'hématite, soit disséminée soit en concentrations locales. A son contact, le calcaire encaissant est généralement imprégné, sur quelques millimètres, par une très fine pigmentation de goethite qui disparaît progressivement.

Cette auréole de calcaire pigmenté de goethite peut d'ailleurs faire directement suite au « cœur » du nodule par défaut de la zone silicifiée. Dans de tels cas, la limite entre calcaire imprégné et calcaire non imprégné apparaît généralement tranchée.

4. *Les minéralisations ferrifères et cuprifères plus complexes, sulfurées et oxydées (bornite, chalcosine, pyrite, goethite, hématite)*

La structure d'ensemble de ces minéralisations, de même que leurs dimensions, avec un grand axe le plus souvent compris entre 3 et 8 cm., sont comparables à celles des deux précédentes variétés de nodules décrites. En effet, elles montrent généralement un « cœur », une zone d'accroissement ultérieur et souvent, dans le calcaire encaissant, une auréole imprégnée de goethite. Nous ne reviendrons ni sur la zone d'accroissement, montrant comme dans les minéralisations de type 2 et 3, une association étroite de goethite et d'hématite avec silice et calcite, ni sur la fréquente imprégnation de goethite dans le calcaire à son contact avec la concrétion minéralisée. C'est en effet par leur partie centrale que les minéralisations de la présente catégorie se distinguent nettement des types précédents. Cette zone interne permet d'observer, souvent étroitement imbriqués les uns dans les autres et en proportions fort variables, les minéraux suivants: bornite, chalcosine, covelline (exceptionnellement), pyrite (pas nécessairement présente), hématite et goethite, minéraux auxquels peuvent venir s'associer parfois de la malachite de même que, beaucoup plus rarement, de l'azurite.

FIG. 6. — Concrétion minéralisée de type 2.
Cristal idiomorphe de pyrite en voie d'oxydation.
La goethite est le principal produit de remplacement;
de la silice, par places pure, lui est associée.

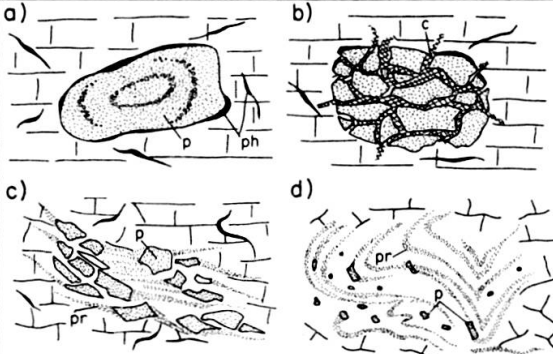
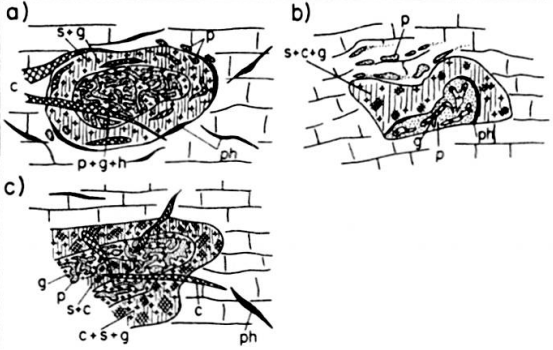
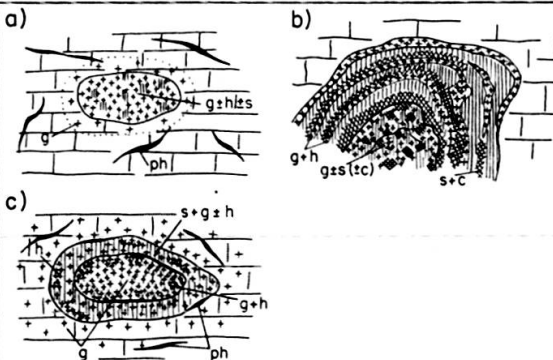
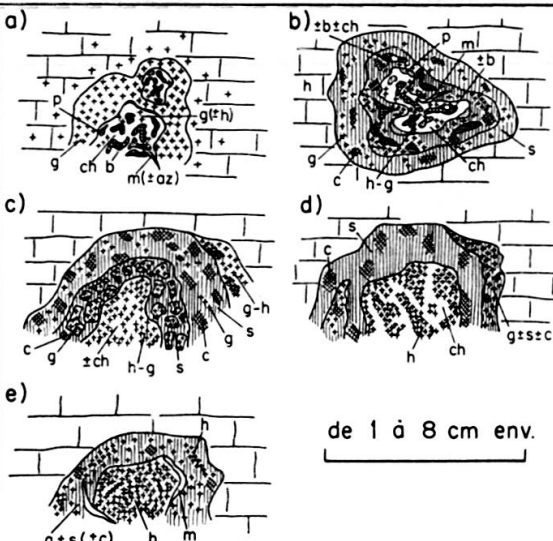
Type de minéralisation	Structures	Minéralogie	Position stratigraphique
1.		Pyrite (p) pouvant montrer une structure concentrique Calcite (c) (tardive; veinules de remplissage) Encroûtements et remplissages de fissures phosphatées (ph) Pyrite de remobilisation (pr) d'âge "ALPIN" (?)	"Anhäufung von Pyrit" de BOLLER (1963): Minéralisations inférieures Dans Calcaires plaquetés Age: Crétacé inférieur
2.		Pyrite (p) } en proportions variables Goethite (g) } ± Hématite (h) Encroûtements et remplissages de fissures phosphatées (ph) (plus rarement visibles) Silice (s) } dans zones d'accroissement secondaire, en proportions variables. Calcite (c) } Calcite également en remplissages nettement plus tardifs (fissures, etc...)	
3.		Goethite (g) } en proportions variables Hématite (h) } Encroûtements et remplissages de fissures phosphatées (ph) (plus rarement visibles) Silice (s) } dans zones d'accroissement secondaire sur proportions variables. Calcite (c) }	Horizon minéralisé supérieur. Dans Calcaires plaquetés sommitaux Age: Crétacé inférieur (stade primaire de formation) et
4.	 de 1 à 8 cm env.	Bornite (b) Chalcocite (ch) Covellite (accidentelle) Pyrite (p) (peu abondante ou absente) Hématite (h) Goethite (g) Malachite (m) (occasionnelle) Azurite (az) (accidentelle) Silice (s) } dans zones d'accroissement secondaire, en proportions variables Calcite (c) } Calcite également en remplissages nettement plus tardifs (fissures, etc.)	Remaniés dans brèche de base des Couches rouges

FIG. 7. — Représentation schématique des principales structures de concrétions minéralisées observées et leurs caractéristiques essentielles.

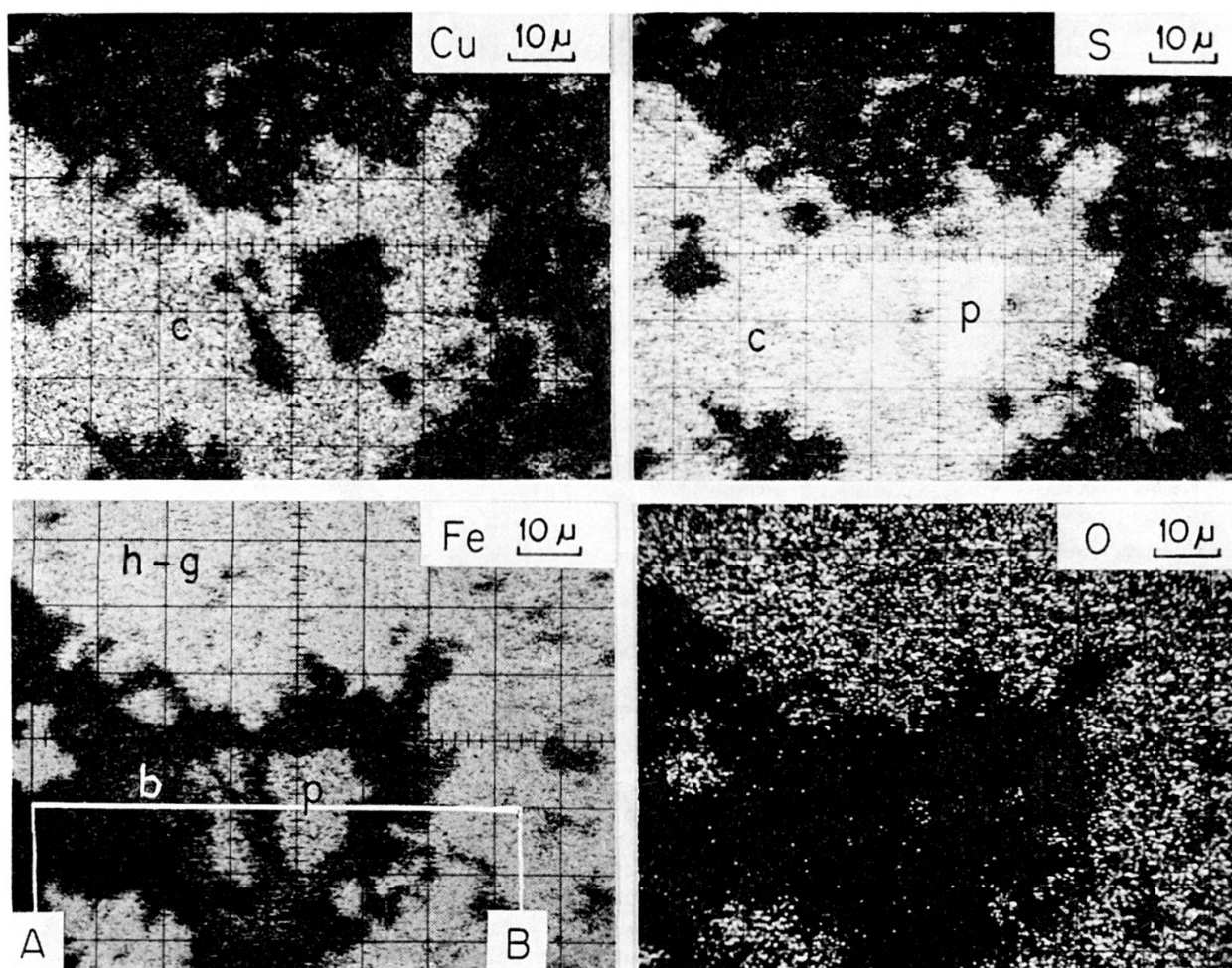


FIG. 8 a). — Concrétion minéralisée de type 4.

Partie centrale d'un nodule montrant une association étroite de pyrite (p), chalcosine (c) et bornite (b), plus rare, entourée d'une zone constituée d'hématite-goethite (h-g) avec toutefois un peu de minéraux de cuivre (chalcosine surtout) dispersés.

Ligne A-B: Localisation du profil de distribution de Cu, S et O (Fig. 8 b).

Quelques exemples de modes d'association entre ces divers minéraux sont représentés, de manière schématique dans la figure 7 ainsi que par les figures 8 a) et b).

Ces diverses associations confèrent souvent au « cœur » du nodule une structure complexe. En effet, correspondant sans doute à des vestiges de la minéralisation primaire, on peut observer des « îlots » plus ou moins isolés montrant, étroitement associés et en proportions variables, de la bornite, de la chalcosine, avec ou sans pyrite, cette dernière étant de toute manière peu abondante, minéraux auxquels s'ajoutent de la goethite et de l'hématite qui constituent par ailleurs l'essentiel de la matrice entre ces « îlots ».

Dans quelques cas, il semble que la minéralisation primaire en cuivre (bornite), concentrée au centre du nodule, était entourée d'une zone pyriteuse, pyrite actuellement remplacée par la goethite et l'hématite.

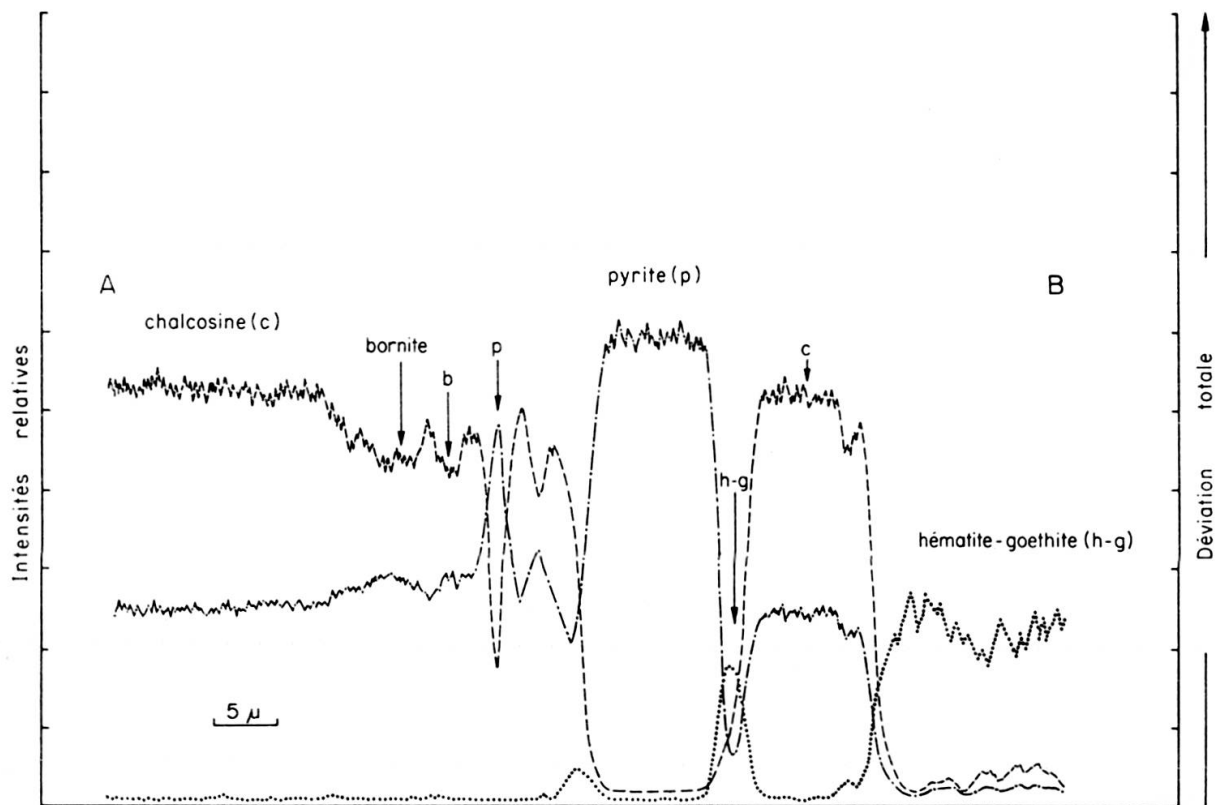


FIG. 8 b). — Concrétion minéralisée de type 4.
Profil de distribution de Cu, S et O
suivant la ligne A-B au travers du nodule de la fig. 8 a).

— — — — —	Cu _{Kα}	10 000 cps/sec.
— . — . —	S _{Kα}	10 000 cps/sec.
.....	O _{Kα}	500 cps/sec.

Par rapport aux minéralisations de type 2. et 3., on relèvera, en dehors de la présence des minéraux de cuivre, la proportion nettement plus importante d'hématite et ceci tout particulièrement dans la partie centrale de la concrétion. Cette caractéristique se traduit par l'aspect nettement métallique que présentent les « cœurs » de telles concrétions en sections polies.

Tant les minéralisations de types 2., 3. que 4. ont souvent été affectées par une tectonisation qui a plus ou moins bouleversé les structures décrites ci-avant. En particulier, il n'est pas rare que la partie centrale de ces diverses concrétions ait été disloquée, les fragments ainsi constitués apparaissant dispersés dans la zone d'accroissement ultérieur du nodule, cet ensemble étant lui-même souvent affecté par d'autres déformations.

AUTRES MINÉRALISATIONS ASSOCIÉES AUX CONCRÉTIONS DÉCRITES

Il s'agit surtout des développements siliceux et, dans une moindre mesure, carbonatés qui accompagnent généralement les concrétions minéralisées décrites de types 2, 3 et 4. Ils sont liés à la phase d'oxydation secondaire ayant affecté les nodules et se traduisent par des zones d'accroissements siliceuses (calcédoine, quartzine et quartz) auxquelles sont associées des minéralisations ferrifères oxydées (goethite et hématite); on y observe des structures d'encroûtement concentrique de type « chou-fleur » (voir fig. 9).

Ces développements siliceux ne sont pas exclusivement limités à la zone d'accroissement proprement dite; souvent, ils tendent à envahir plus ou moins la partie

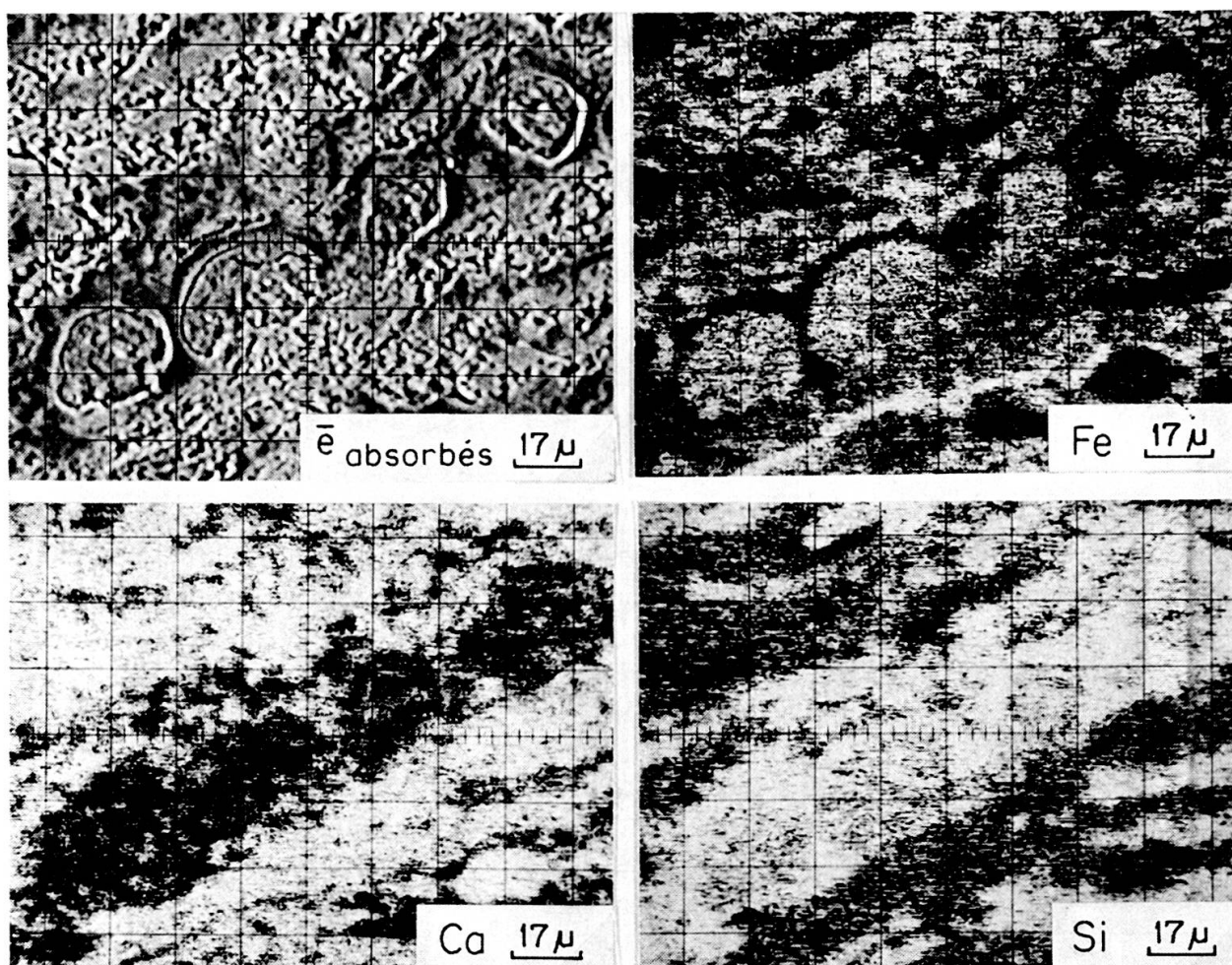


FIG. 9. — Concrétion minéralisée de type 3.

Structures stromatolitiques (?) dans la zone d'accroissement secondaire silico-carbonatée ferrifère. La complémentarité des zones siliceuses et carbonatées est évidente de même que l'association préférentielle du fer aux passées siliceuses à l'exclusion toutefois des formes qui correspondent vraisemblablement à des restes organiques.

centrale du nodule où un mélange intime goethite-hématite-silice peut se substituer à la pyrite initiale, tout comme d'ailleurs ils peuvent parfois imprégner le calcaire encaissant au voisinage immédiat de la concrétion.

Des minéralisations siliceuses et calcitiques peuvent également être associées aux nodules de pyrite fraîche du type 1., mais elles paraissent alors nettement en relation avec des phénomènes de tectonisation, d'âge alpin très vraisemblablement. Dans certains cas où la pyrite a été remobilisée lors de ces déformations, les développements siliceux et carbonatés peuvent apparaître alternativement, déterminant ainsi une structure comparable à celle de type « chou-fleur »; les grains de pyrite sont souvent, quant à eux, entourés de manière préférentielle par de la silice.

PRÉSENCE DE PHOSPHORE ET DE MANGANÈSE

Quelques nodules ont été analysés globalement dans le laboratoire de géochimie du professeur Hügi, à l'Université de Berne. Ces analyses ont révélé des teneurs en P_2O_5 comprises entre 0,1 et 0,2% poids sauf dans un cas où cette teneur est apparue nettement plus élevée (6,7%); les valeurs pour MnO se sont révélées, pour la plupart, inférieures à 0,1%, les autres ne dépassant pas 0,6% (cas du nodule également plus riche en P_2O_5).

Afin de compléter ces données et de tenter en particulier de définir le mode de distribution de ces deux éléments, nous avons effectué, à l'aide de la microsonde électronique, des profils au travers de quelques nodules représentatifs des divers types reconnus. Ces mesures ont confirmé les résultats des analyses chimiques globales, à savoir la prépondérance du phosphore sur le manganèse lequel n'apparaît, bien souvent qu'à l'état de traces. Bien que nous n'ayons pas effectué de mesures quantitatives, l'existence de « niveaux » fortement enrichis en phosphore est évidente. Phosphore et manganèse apparaissent concentrés dans de minces niveaux, le plus souvent de quelques dizaines à quelques centaines de microns de large, soit isolés, soit se répétant de manière plus ou moins fréquente dans des zones d'épaisseur fort variables. On peut noter que:

- Les « cœurs » des nodules, quelle que soit leur composition minéralogique actuelle, paraissent le plus souvent totalement dépourvus de phosphore et de manganèse à l'exception de quelques petits pics accidentels.
- Les niveaux enrichis en phosphore, pouvant parfois également montrer un enrichissement en fer, sont, d'une manière générale, localisés dans les zones internes des nodules et souvent tout particulièrement à la périphérie du « cœur ». Les enrichissements en manganèse ont, au contraire, tendance à être plus nombreux et plus importants dans la partie externe de la concrétion: ils montrent dans certains cas une corrélation négative évidente avec le fer. Toutefois, et en

particulier dans quelques nodules totalement oxydés, on peut observer, sur une épaisseur de quelques millimètres, une succession très serrée de niveaux enrichis alternativement en phosphore et manganèse, chacune de ces « couches » mesurant quelques dizaines de microns.

- Les minces encroûtements noirs souvent observés, soit à la périphérie des concrétions de pyrite fraîche, soit sous forme de traînées discontinues dans le calcaire encaissant, correspondent bien à des passées enrichies en phosphore.

Les déterminations roentgenographiques ne nous ont jamais permis de mettre en évidence des minéraux phosphatés ou manganésifères, mais il est fort probable qu'il s'agit de phosphorite et d'oxyde et/ou hydroxyde de manganèse.

Les quelques données acquises nous permettent de faire les remarques suivantes :

- Les nodules étudiés ne peuvent pas se comparer aux concrétions ferro-manganésifères des océans actuels, le rôle du manganèse demeurant tout à fait accessoire.
- De par leur association aux minéralisations pyriteuses et leur position dans des zones internes des concrétions, les niveaux phosphatés paraissent se rattacher à la première phase de développement des nodules. Par contre, les indices de manganèse sont plus fréquents dans les parties externes des concrétions et semblent donc être associés à la phase secondaire de développement et/ou de remaniement.

POSITION STRATIGRAPHIQUE DES DIVERS TYPES DE NODULES

Les minéralisations étudiées s'observent dans trois positions différentes :

- 1° Les minéralisations de type 1., localisées le plus bas dans la série des Calcaires plaquetés, sur une assez grande épaisseur (non visibles sur la figure 2).
- 2° Les minéralisations de type 2., 3. et 4., groupées dans un niveau d'épaisseur variant entre 10 cm et 150 cm situé au sommet des Calcaires plaquetés (voir fig. 2).
- 3° Les minéralisations de type 2., 3. et 4. que l'on retrouve, remaniées, dans la brèche de base de la transgression des Couches rouges éocènes.

HYPOTHÈSES SUR LE MODE DE FORMATION DES NODULES MINÉRALISÉS

JENKYN (1970), BOURBON (1971), BOURBON et HOFFERT (1977), ont nettement mis en évidence la relation entre la formation des nodules et croûtes minéralisés et des zones localement surélevées des fonds marins (p. ex. sea-mounts). La sédimen-

tologie des Calcaires plaquetés dans le secteur de La Jointe s'accorde fort bien avec l'hypothèse d'un sea-mount sur le sommet duquel se seraient formés des nodules minéralisés. Comme nous l'avons mentionné plus haut, il n'y a pas d'interlit pélitique dans l'horizon minéralisé: les particules fines ont été entraînées par les courants et sédimentées dans les zones basses; l'absence de détritiques grossiers dans le Tithonique et le Berriasien de la coupe de La Jointe s'explique aussi par la présence d'une zone haute de part et d'autre de laquelle s'écoulaient et se déposaient les calciturbidites (voir BOLLER, 1963, fig. 9, coupes d'Ayerne et de la Chaudanne); sur les flancs de cette zone haute, les slumpings sont par contre assez fréquents, ce qui est visible dans le secteur de La Jointe. GISIGER (1968) avait déjà évoqué une telle morphologie sous-marine pour cette partie des Préalpes Médiannes.

Il semblerait que cette tendance positive a duré depuis le Tithonique jusqu'au Crétacé moyen au moins, avec formation de nodules minéralisés entre l'Hauterivien et l'Albien.

Au cours du Crétacé supérieur et du Paléocène, il est possible que la zone haute ait perduré, comme en témoigneraient les lacunes de ces terrains dans ce secteur des Préalpes médianes. Mais ces lacunes sont-elles dues à des érosions probablement sous-marines, ou à une absence de dépôt? Très hypothétiquement, nous pouvons suggérer que la présence de *Globotruncana* remaniées dans l'Eocène inférieur indique tout de même un dépôt à certaines périodes du Crétacé supérieur, suivi d'érosions avant la transgression généralisée de l'Eocène inférieur, c'est-à-dire pendant le Paléocène.

Séparés par un intervalle de temps assez long, les deux horizons minéralisés observés présentaient des caractères différents dès leur formation. En effet, nous n'avons jamais relevé de minéraux cuprifères associés aux minéralisations pyriteuses du niveau inférieur (type 1.); nous savons par contre qu'une telle association existe dans l'horizon supérieur où, à côté de minéralisations essentiellement pyriteuses à l'origine, d'autres indiquent une association primaire bornite-pyrite. Un changement du milieu encaissant ne peut guère être invoqué pour expliquer cette différence puisque ces deux horizons minéralisés se situent dans les Calcaires plaquetés, dont la lithologie ne se modifie presque pas. Mais on pourrait supposer une variation géochimique de l'apport.

Quelle source envisager pour les éléments ayant donné naissance à ces diverses minéralisations? Probablement l'eau de mer en concentration normale, car on ne peut invoquer, ni un processus magmatique, aucune manifestation volcanique sous-marine n'étant connue au Crétacé inférieur dans le domaine paléogéographique considéré, ni un apport direct par lessivage continental, puisque l'on se trouve en milieu franchement pélagique. La formation des Calcaires plaquetés présente en effet d'étroites affinités avec les calcaires clairs à nannofossiles et silex distingués sous (i) par BERNOULLI et JENKYN (1974, p. 141). Ce faciès, très répandu sur les marges N et S de la Téthys, indique clairement des conditions pélagiques.

Les relations, exposées ci-dessus, entre les diverses phases minérales montrent une formation en deux stades successifs (voir aussi la figure 10). Lors du stade primaire, on aurait eu concentration diagénétique in situ du fer et du cuivre, ceci en milieu

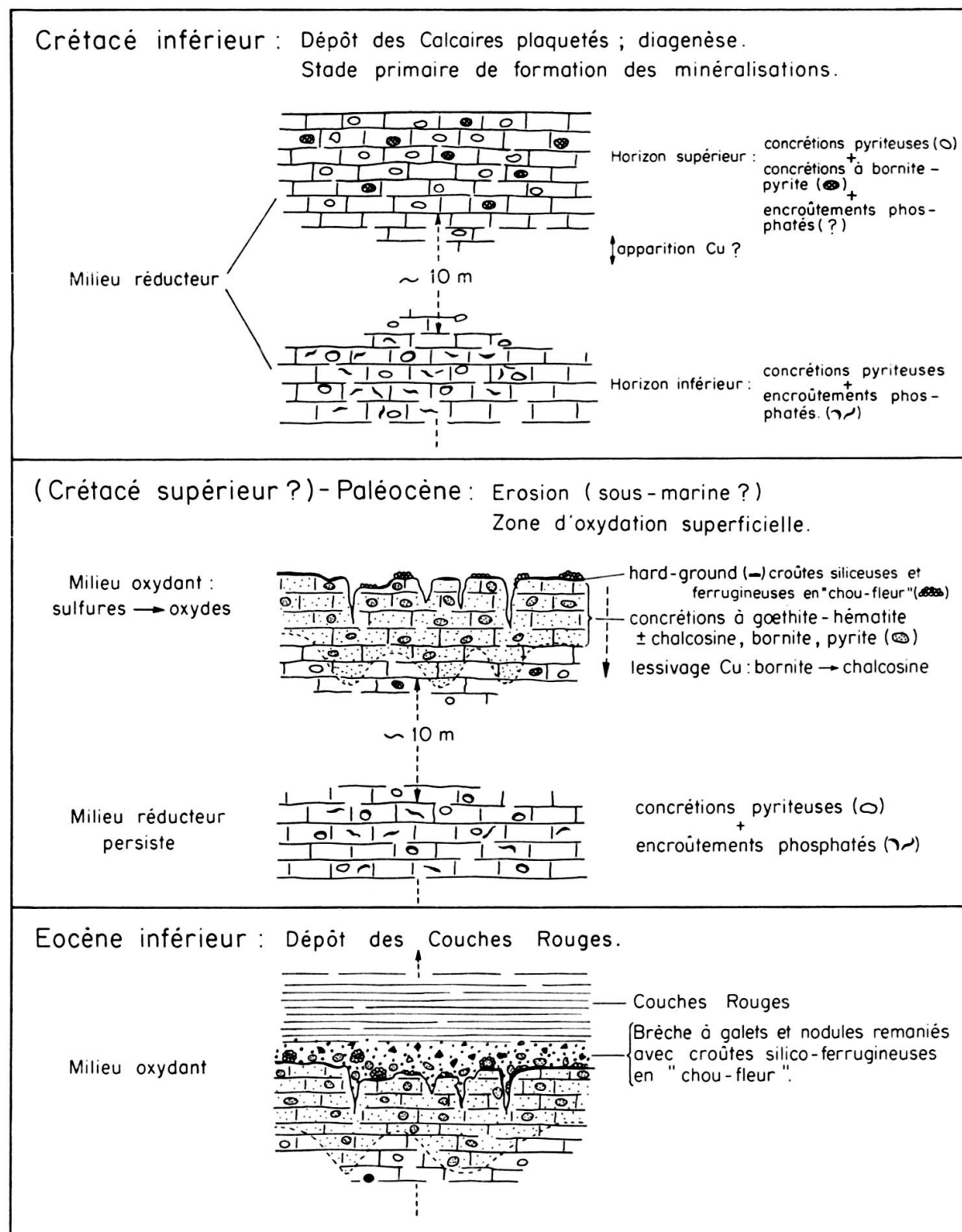


FIG. 10. — Représentation schématique et hypothétique du mode de formation des concrétions minéralisées étudiées.

réducteur. Il ne semble pas que l'on puisse attribuer l'existence de ces zones réductrices locales à la présence de matière organique, animale ou végétale, comme cela est évident pour certaines minéralisations des Couches rouges tertiaires décrites par MARTINI (1971). Si quelques vestiges d'organismes (foraminifères, radiolaires) s'observent bien dans les nodules étudiés, ils n'y apparaissent pas plus abondants que dans le calcaire encaissant; tout au plus, avons-nous remarqué, dans quelques cas, une plus grande concentration de goethite dans des zones particulièrement riches en microorganismes.

Ces minéralisations semblent donc s'être formées par métasomatose des sédiments encaissants, un peu comme les silex; elles peuvent être considérées comme épigénétiques endogènes.

La présence d'encroûtements phosphatés autour ou au voisinage des concrétions pyriteuses, comme celle des niveaux enrichis en phosphore localisés préférentiellement à la périphérie du « cœur » des nodules oxydés, paraît bien s'intégrer avec les conditions qui ont dû présider à ce stade primaire et serait une indication de profondeur relativement faible (BOURBON et HOFFERT, 1977).

Lors des érosions (paléocènes?) précédant le dépôt des Couches Rouges éocènes, les conditions du milieu changent et, de réductrices, deviennent oxydantes. Ces nouvelles conditions induisent la phase secondaire de développement des concrétions minéralisées concernées, tant pour celles restées en place que pour celles remaniées dans la brèche à la base des Couches rouges.

Les transformations que subissent alors les nodules peuvent être parallélisées avec celles qui caractérisent la zone d'altération superficielle d'un gisement métallifère: dans la partie supérieure de la zone d'oxydation, on observe en particulier une concentration d'hydroxydes et oxydes de fer, le cuivre étant au contraire lessivé; les solutions qui en résultent déterminent alors, à la base de cette zone, un niveau d'enrichissement secondaire à plus forte teneur en cuivre.

Suivant leur position par rapport au niveau d'érosion, les concrétions sont plus ou moins oxydées avec formation subséquente de solutions colloïdales enrichies surtout en fer et silice dont la précipitation détermine les zones d'accroissement secondaire observées. Dans le cas des minéralisations avec pyrite et bornite associées, le cuivre libéré par la transformation de cette dernière, également remplacée par de la goethite et de l'hématite, est responsable du développement de la chalcosine au détriment de la bornite ayant échappé aux phénomènes d'oxydation. La malachite et l'azurite sont de formation encore plus tardive.

Selon les niveaux atteints par l'érosion, des nodules diversement transformés peuvent avoir été libérés et se retrouver ainsi, remaniés, dans la brèche de base des Couches Rouges éocènes. C'est au cours de ce stade secondaire que se sont formées les structures en « chou-fleur » de composition siliceuse, ferrugineuse et calcitique (fig. 9). Ces structures peuvent correspondre aux deux types distingués par BOURBON (1971): les uns ont une origine purement chimique et se sont développés à l'intérieur

du nodule et les autres se sont formés à la surface extérieure du nodule, au contact de l'eau de mer, ce qui est démontré par la présence de *Globorotalia* « piégées » entre les fines lamelles siliceuses, ferrugineuses ou calcitiques; les structures de ce dernier type pourraient avoir une origine organique (stromatolites, bactéries?).

Comme on l'a vu, les indices de manganèse sont liés au stade secondaire, ce qui indiquerait des conditions bathymétriques relativement profondes, soulignant ainsi l'instauration dans les domaines briançonnais-subbriançonnais d'une nouvelle morphologie sous-marine au cours du Crétacé terminal — Paléocène (BOURBON et HOFFERT, 1977).

Par ailleurs, MONTENAT et al. (1978) ont décrit des édifices stromatolitiques de grande taille rappelant par certains de leurs caractères, ceux que nous décrivons. Ces auteurs soulignent le caractère relativement profond (100 m ou davantage) du milieu ainsi que la liaison entre les stromatolites « polymétalliques et siliceux » et une activité tectonique synsédimentaire génératrice de venues hydrothermales à fer, manganèse, magnésium, silice et sulfates.

SUMMARY

A mineralised horizon, located in the Lower Cretaceous of the Préalpes Médiannes nappe, is described and its geological relationships indicated. The mineralisation is most often concentrated in nodules which range in size generally from 1 to 10 cm and exhibit a concentric structure. The mineralisation is probably of Barremian age. Four types of mineralisation are distinguished: 1) essentially pyritic mineralisation; 2) partially oxidised pyritic mineralisation; 3) completely oxidised pyritic mineralisation; 4) complex mineralisation with development of bornite, chalcocite, pyrite, goethite and hematite. Some siliceous and carbonate material may be associated with development of these concretions. Manganese and phosphorous have also been detected. It is proposed that the mineralisation observed is epigenetic in character and that it occurred in the vicinity of a sea-mount. The parageneses present suggest that mineralisation developed in two successive stages.

BIBLIOGRAPHIE

- BADOUX, H. (1965). Feuille Montreux et notice explicative. Atlas géologique de la Suisse au 1:25000, 47.
- BERNOULLI, D. et H. C. JENKINS (1974). Alpine, Mediterranean, and Central Atlantic mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys. In Dott, F. H. & Shaver, R. H. (editors): Modern and ancient geosynclinal sedimentation. *Soc. Econ. Pal. Min., Sp. publ.*, 19, 129-160.
- BOLLER, K. (1963). Stratigraphische und mikropaläontologische Untersuchungen im Neokom der Klippendecke (östlich der Rhône). *Eclogae geol. Helvetiae*, 56, 1, 15-102.
- BOURBON, M. (1971). Structure et signification de quelques nodules ferrugineux, manganésifères et phosphatés liés aux lacunes de la série crétacée et paléocène briançonnaise. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 273, D, 2060-2062.
- et M. HOFFERT (1977). Nature et répartition des minéralisations liées aux lacunes dans le Mésozoïque et le Paléocène pélagiques briançonnais (région de Briançon). Essai de comparaison avec certaines minéralisations des océans actuels. *Bull. Soc. géol. France*, (7), 19, 4, 725-728.
- et al. (1977). Mesozoic evolution of the Western Alps: birth and development of part of the spreading oceanic Tethys and of its european continental margin. In Biju-Duval, B. et Mon-

- tadert, L. (éditeurs): Structural history of the Mediterranean Basins (Split symposium, 1976), Technip, Paris.
- BROUWER, J. (1965). Agglutinated foraminiferal faunas from some turbiditic sequences. I et II, Proc., Ser. B, K. *Nederl. Akad. Wetensch.*, 68, 5.
- GISIGER, M. (1968). Erosions dans le Crétacé des Préalpes fribourgeoises. *Bull. Ver. Schw. Petrol.-Geol. u. Ing.*, 35, 86.
- HARLAND, W. B., K. N. HEROD and D. H. KRINSLEY (1966). Definition and identification of tills and tillites. *Earth Sc. Rev.*, 2, 3.
- JEANNET, A. (1918). Monographie géologique des Tours d'Aï et des régions avoisinantes. *Mat. Carte géol. Suisse, N. S.*, 34.
- JENKYN, H. C. (1970). Fossil manganese nodules from the West Sicilian Jurassic. *Eclogae geol. Helvetiae*, 63, 3, 741-774.
- KLAUS, J. (1960). Sur quelques *Globorotalia* isolées dans les Couches Rouges des Préalpes Médiannes. *Eclogae geol. Helvetiae*, 53, 2, 709-715.
- LOMBARD, And. (1940). Les Préalpes médianes entre le Risse et le Somman (Vallée du Giffre, Haute Savoie). *Eclogae geol. Helvetiae*, 33, 1.
- LOMBARD, Aug. et al. (1974). Feuille Les Mosses et notice explicative. Atlas géologique de la Suisse au 1:25000, 64.
- LUGEON, M. (1909). Cailloux exotiques provenant du Crétacique supérieur des Préalpes Médiannes. *Eclogae geol. Helvetiae*, 10.
- MARTINI, J. (1971). Un horizon à minéralisations cuprifères dans les Préalpes Médiannes romandes et chablaisiennes (Alpes occidentales). *C. R. Séances, Soc. Sc. Phys. Genève, N. S.*, 6, 1.
- MONTENAT, Ch., Ph. OTT D'ESTEVOU et D. VACHARD (1978). Stromatolithes polymétalliques et siliceux du Messinien d'Espagne méridionale. 6^e réunion annuelle des Sciences de la Terre, Orsay, Soc. Géol. France.
- PLANCHEREL, R. et M. WEIDMANN (1972). La zone anticlinale complexe de la Tinière (Préalpes Médiannes vaudoises). *Eclogae geol. Helvetiae*, 65, 1.
- SEILACHER, A. (1958). Zur ökologischen Charakteristik von Flysch und Molasse. *Eclogae geol. Helvetiae*, 51, 3.
- TWERENBOLD, E. (1955). Les Préalpes Médiannes entre la Sarine et les Tours d'Aï (région des Monts Chevreuil). *Bull. Soc. Frib. Sc. nat.*, 44.