

Zeitschrift: Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 36 (1983)
Heft: 2

Artikel: Les croûtes calcaires des environs de Genève : comparaisons avec les encroûtements du Jura oriental, de l'Allemagne méridionale et du Sud-Est de la France
Autor: Ducloz, Charles
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740218>

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: 31.01.2026

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

LES CROÛTES CALCAIRES DES ENVIRONS DE GENÈVE : COMPARAISONS AVEC LES ENCROÛTEMENTS DU JURA ORIENTAL, DE L'ALLEMAGNE MÉRIDIONALE ET DU SUD-EST DE LA FRANCE¹

PAR

Charles DUCLOZ²

ABSTRACT

Near Geneva, at the foot of the Jura mountains, a limestone crust (calcrete), up to 70 cm thick, has been found resting on an ancient erosion surface of Eocene age. This crust yields, in places, numerous *microcodiums*, either in live position or reworked. Fragments of a similar carbonate crust are generally present in a poorly sorted conglomerate, made of cretaceous limestones of local origin (gompholite), which develops, locally in the region at the base of the overlying Oligocene (Chattian) Molasse. Comparisons with Paleogene sections of the subalpine zone to the South, where similar but thicker horizons of carbonate crusts occur, suggests that in the Jura was at the period of crust formation end of the Lutetian time. Similar crusts of the same age have been described in SE France (Mts de Vaucluse and the Barronies). In the Basel and Aargau Jura small outcrops of crust could be related to this period of crust formation. Carbonate crusts of Miocene age (Helvetian) have been described in the Molasse Basin of SW Germany. One of the occurrences of crusts of the Basel Jura, and the encrusted "gompholite" of the Neuchâtel Jura (Le Locle), are very likely witnesses of this younger period of crust formation.

Les gompholites intercalées localement entre la Molasse chattienne et son sous-basement crétacé, dans les plis bordant la cuvette genevoise, renferment, en faible proportion, des galets de croûte calcaire (DUCLOZ 1980). Depuis, qu'en 1976, nous avions fait cette constatation, notre attention s'était portée tout naturellement sur le contact séparant ces gompholites des calcaires sous-jacents, dans l'espoir de trouver là, en place, des reliques de cette intéressante formation pédologique. Malheureusement, les bons affleurements de ce contact sont rares et nos recherches sont restées longtemps infructueuses puisque ce n'est qu'au printemps 1980 qu'une excavation

¹ Les croûtes calcaires dont il sera question dans cet article sont d'âge tertiaire. Récemment, STRASSER et DAVAUD (1982) ont décrit dans le Purbeckien du Salève de minces niveaux de croûte calcaire à structure laminaire qui se seraient formés dans un environnement littoral insulaire. Ces croûtes qui correspondent vraisemblablement à des émersions relativement fugaces n'ont que peu de parenté avec les croûtes polygéniques dont nous allons parler; elles ne sont pas comme les encroûtements tertiaires, associés à des colonisations de *microcodiums*.

² Institut de Géologie de l'Université de Genève, 13, rue des Maraîchers, 1211 Genève.

fraîchement ouverte au pied du Mont-Mourex, non loin du petit village de Grilly, nous a permis de découvrir, enfin en place, la fameuse croûte dont nous récoltions depuis plusieurs années des fragments remaniés.

LA CROÛTE CALCAIRE DE GRILLY

L'excavation dont nous venons de parler, située à environ 600 mètres au SW de Grilly (fig. 1) avait pour but l'aménagement d'un tennis sur un terrain en pente bordant la voie ferrée. La coupe n'est restée visible que quelques semaines avant d'être masquée par un mur de soutènement.

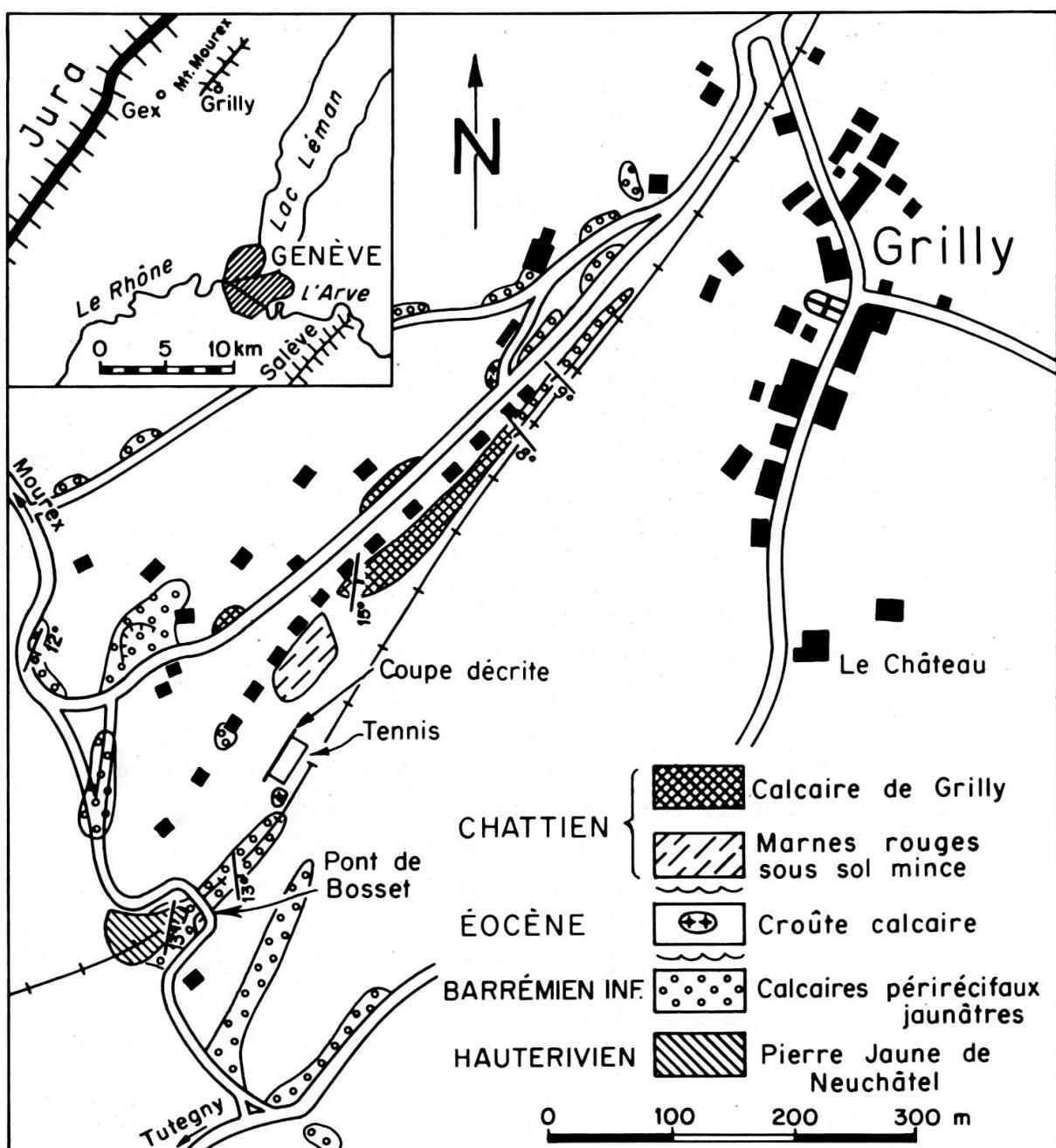


FIG. 1. — Carte géologique des environs de Grilly avec situation du tennis Colmar et de la coupe décrite.

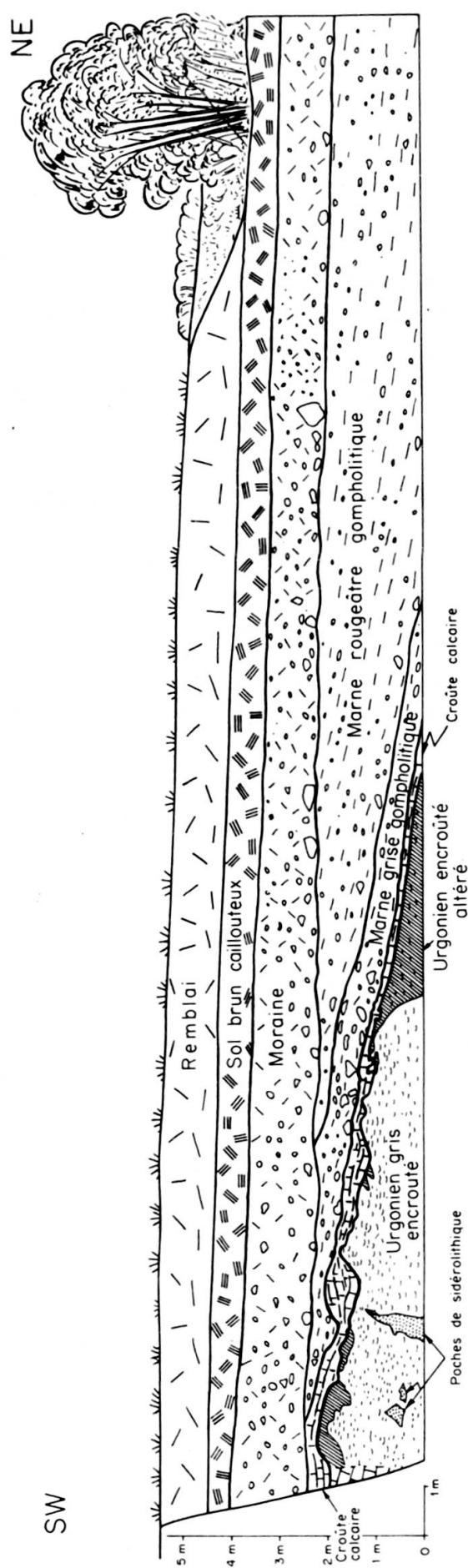


FIG. 2. — Excavation du tennis Colmar.

D'après A. JAYET (1964), qui a cartographié cette région pour la feuille « Coppet » de l'Atlas géologique de la Suisse au 1: 25 000^e, le matériel affleurant à cet endroit serait constitué d'argiles rouges ou jaunes qu'il attribue à du Sidéolithique tapissant des poches du calcaire barrémien (Urgonien) sous-jacent. Avant l'ouverture de l'excavation, l'on pouvait voir, en effet, dans le pré qui borde vers l'W la voie ferrée, des indices superficiels de marnes sableuses rougeâtres. Ces marnes étaient limitées vers le sud par les calcaires du Barrémien inférieur affleurant dans la tranchée du chemin de fer et au Nord par la zone d'affleurements du Calcaire de Grilly (Chattien) dont une coupe, observée dans les fondations d'une villa, a été décrite très minutieusement par R. C. MICHEL en 1965.

L'excavation du tennis (fig. 2) nous a permis non seulement de découvrir un affleurement en place de croûte calcaire, mais aussi de faire des observations intéressantes quant à la vraie nature des marnes rougeâtres signalées par JAYET, ainsi qu'à leur relation avec le soubassement urgonien qui a été pénétré dans l'angle SW de l'excavation sur une profondeur de près de 2 mètres.

Voici ces observations:

1. L'Urgonien mis à jour est d'une assez grande dureté et il a fallu l'emploi répété d'explosifs pour en venir à bout. Il se présente sous le curieux aspect d'une roche morcelée, noduleuse que l'on est tenté, au premier abord, d'interpréter comme une brèche, un conglomérat ou une gravelle; un examen un peu approfondi montre cependant que l'on est bel et bien en présence d'un calcaire urgonien qui a été profondément encroûté, ce qui a provoqué son éclatement, son morcellement en fragments de tailles millimétriques à centimétriques, parfois même décimétriques (pl. I, fig. 1). Microscopiquement, ce calcaire est un faciès assez commun de l'Urgonien inférieur; des oomicrites et des oosparites contenant en faibles proportions des fragments roulés assez gros de bryozoaires et d'échinodermes et parfois même des intraclasts. Ce calcaire morcelé est de couleur grise dans la plus grande partie de l'excavation mais en certains points, près de la surface de la masse rocheuse, il est altéré et sa couleur est jaunâtre. A l'extrémité sud de la coupe le calcaire est beaucoup moins dérangé par l'encroûtement et l'on distingue encore assez bien une stratification indiquant un plongement de 13° vers l'ENE (N80E), semblable à celui que l'on peut mesurer dans l'Urgonien de la tranchée du chemin de fer plus au Sud.

L'encroûtement qui a pénétré le calcaire urgonien, apparemment sur plusieurs mètres, consiste en une micrite de couleur beige très claire qui contraste avec les fragments d'Urgonien teintés de gris ou de gris jaunâtre. Cette micrite d'un grain assez uniforme renferme par places de petites colonies de *microcodiums* (fig. 3). Dans la partie de l'affleurement la moins disloquée par l'encroûtement (pl. I, fig. 2) la micrite montre par endroits une structure laminaire, parfois grumeleuse, typique des croûtes calcaires; elle renferme alors assez souvent des prismes et des rosettes remaniées de *microcodiums* et localement de belles colonies de cet organisme. L'Urgo-

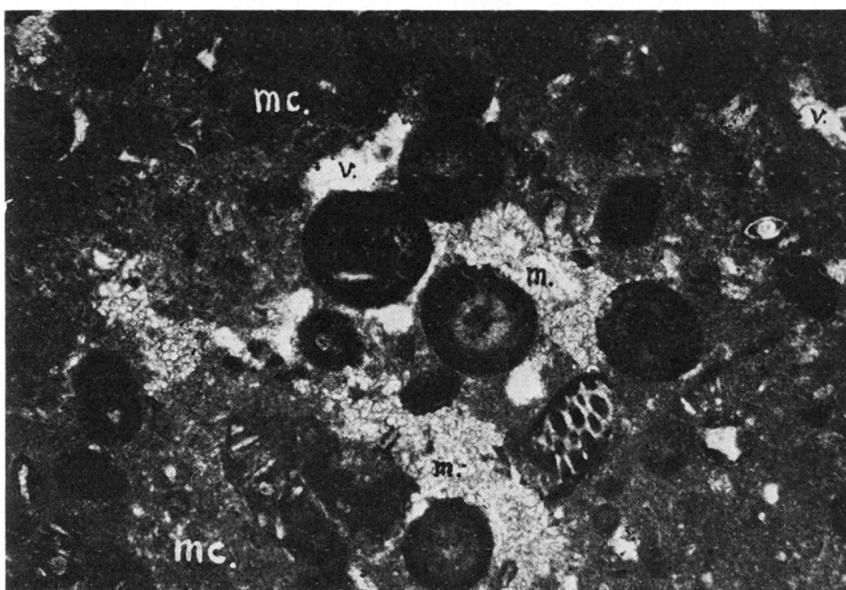


FIG. 3. — Urgonien encroûté (D-287). Grossissement X18. Oolites, fragments de calcaire urgonien, bryozoaire, et lenticuline emprisonnés dans une micrite homogène (*mc*). En *m*: colonies de microcodiums, en *v*: vides sparitises.



FIG. 4. — Croûte calcaire polyphasée (D-291c). Grossissement X14. Phase I: micrite emprisonnant de nombreux fragments de calcaire urgonien. Phase II micrite farcie de prismes brisés de microcodiums, contient également quelques colonies démantelées de microcodiums (*m*) et du quartz détritique (*q*).

nien encroûté, bien visible dans l'excavation du tennis, affleure au carrefour de la route Grilly-Tutegny et du chemin du Pont de Bosset. Là, nous trouvons au bord de la route, sur quelques mètres, un calcaire oolithique jaunâtre un peu noduleux qui

en section polie montre les mêmes phénomènes de morcellement par des pénétrations de croûte calcaire, que nous venons de décrire ci-dessus.

2. L'Urgonien mis à jour par l'excavation est taraudé de petites cavités (fig. 2) colmatées par une argile de couleur brun-rouge riche en oolites et pisolithes ferrugineux dont les cortex sont formés de goethite. Cette argile est constituée en grande partie de Montmorillonite (80 à 85%) mélangés à un peu de Kaolinite (15 à 20%). C'est un remplissage dérivant d'une *terra rossa* eocène, du Sidérolithique. Le pourcentage élevé en Montmorillonite de cet argile est probablement à mettre sur le compte de phénomènes de néo-formation comme l'a montré VERNET (1968) car les *terra rossa* eocènes sont elles constituées en grande partie de Kaolinite mélangée parfois à un peu d'Illite.

3. Recouvrant la surface de l'Urgonien qui plonge en cet endroit vers l'ENE (N70E) d'environ 8° et qui est quelque peu bosselée on trouve un mince niveau très dur de calcaire beige crème souvent un peu brunâtre, présentant localement une structure rubanée et pouvant contenir, surtout à sa base, de petits fragments anguleux de calcaire barrémien. Il s'agit là d'une croûte calcaire typique, en tout point semblable à celle que l'on peut récolter dans les gompholites de l'Oligocène de la région genevoise. Ce niveau de croûte dont l'épaisseur varie de 10 à 70 cm recouvre donc les calcaires barrémiens inférieurs encroûtés et il scelle les poches sidérolithiques.

L'étude de la croûte calcaire de Grilly en section polie et au microscope montre que l'on peut, lorsque la croûte atteint son plein développement, la subdiviser localement en 3 parties dont la structure varie quelque peu d'un point à l'autre soit: une partie inférieure, une partie médiane et une partie supérieure.

a) *Partie inférieure*. Elle est formée de micrites dont les variations de structure et de composition donnent à la roche, en section polie, un aspect rubané (pl. II, fig. 1). L'extrême base, est très riche en prismes et rosettes de *microcodiums* et montre souvent une structure très finement laminaire. Elle passe vers le haut à un niveau contenant de nombreux fragments millimétriques dérivés de calcaires urgoniens sous-jacents (oolithes, fragments de bryozoaires et d'echinodermes, etc.). Dans ce niveau, il existe par places, des vides sparitisés assez importants qui ont été fréquemment silicifiés postérieurement. Une bande de micrite plus claire qui surmonte ce niveau est discordante, elle ne contient que peu de fragments de calcaire urgonien. Cette micrite se présente soit sous forme massive, soit en glaebules de taille millimétrique ou encore parfois en fines lames. Ces structures sont souvent mise en évidence par de petits vides sparitisés. Ce niveau passe vers le haut à un niveau de micrite plus sombre, beige brunâtre où les fragments de calcaire urgonien sont absents. Cette dernière micrite est massive ou disposée en glaebules qui sont soit coalescentes ou bien individualisées. Dans ce dernier cas, elles sont emprisonnées par de la sparite et forment des grumeaux à structure concentrique ou spiralée. Enfin un niveau sus-jacent est fait de micrite massive de couleur beige clair dans laquelle sont noyés de petits

fragments de calcaire urgonien qui montrent des traces de digestion par la micrite environnante.

b) *Partie médiane* (pl. II, fig. 2). Elle est formée d'une micrite beige clair emprisonnant de nombreux fragments (généralement millimétriques) de calcaire urgonien. Cette micrite est soit massive ou floconneuse soit localement répartie en glaebules ou en fines lamelles. Les fragments de calcaire urgonien montrent là aussi des traces de digestion par la micrite environnante. Les vides sparitisés sont rares mais bien développés. Ça et là on observe quelques colonies de *microcodiums* remaniées et en partie digérées par la micrite.

c) *Partie supérieure* (pl. II, fig. 3). C'est la partie la plus intéressante de la croûte calcaire de Grilly car elle montre nettement que cette croûte est polyphasée. Lorsque la croûte est peu développée c'est ce type de croûte qui est généralement présent.

La phase la plus ancienne de cette partie supérieure est une micrite de couleur beige légèrement brunâtre qui emprisonne de nombreux petits fragments (10 à 15%) de calcaire ou de fossiles urgoniens. Cette micrite a un aspect floconneux et montre des traces de recristallisation. Elle peut localement former des amas de glaebules semblables à ceux décrits dans les niveaux inférieurs. Cette phase est celle qui constitue la plus grande partie de la croûte sous-jacente.

La phase la plus récente est une micrite de couleur crème ou beige très clair qui contient généralement un très grand nombre de prismes brisés de *microcodiums* ainsi que des colonies en partie démantelées de cet organisme (fig. 4). La proportion de *microcodiums* est souvent très élevée, voisine de 60 et même 80%, si bien que la roche passe par place à une véritable purée de *microcodiums*. Par places, cette phase d'encroûtement est constituée de micrite un peu crayeuse de couleur crème, qui est formée de glaebules millimétriques de micrite emprisonnés dans de la sparite, l'ensemble contenant des petits fragments de calcaire urgonien. Cette phase de croûte la plus récente montre souvent une structure laminaire. Elle s'insinue dans des fissures coupant la croûte brune et par places elle la traverse de part en part. Si les *microcodiums* sont souvent à l'état brisés, remaniés, dans cette phase d'encroûtement, on note néanmoins par endroits de belles colonies de *microcodiums* qui s'insinuent entre les lames micritiques (fig. 5).

Il existe une 3^e phase d'encroûtement, plus récente encore. Elle est très peu importante en volume et est représentée par des remplissages de minces fissures qui traversent les 2 phases plus anciennes. Ces fissures qui sont millimétriques sont remplies de calcite et souvent de colonies de *microcodiums*.

Un examen minutieux de la région de Grilly nous a permis de trouver à l'affleurement deux pointements de la croûte calcaire que nous venons de décrire et qui avaient passé inaperçus (fig. 1) jusqu'alors. Le premier de ces affleurements qui mesure à peine $\frac{1}{2}$ m² se situe dans la tranchée du chemin de fer, à 3,5 m au Sud du tennis. Les relations avec le calcaire urgonien sous-jacent ne sont pas visibles. Le second

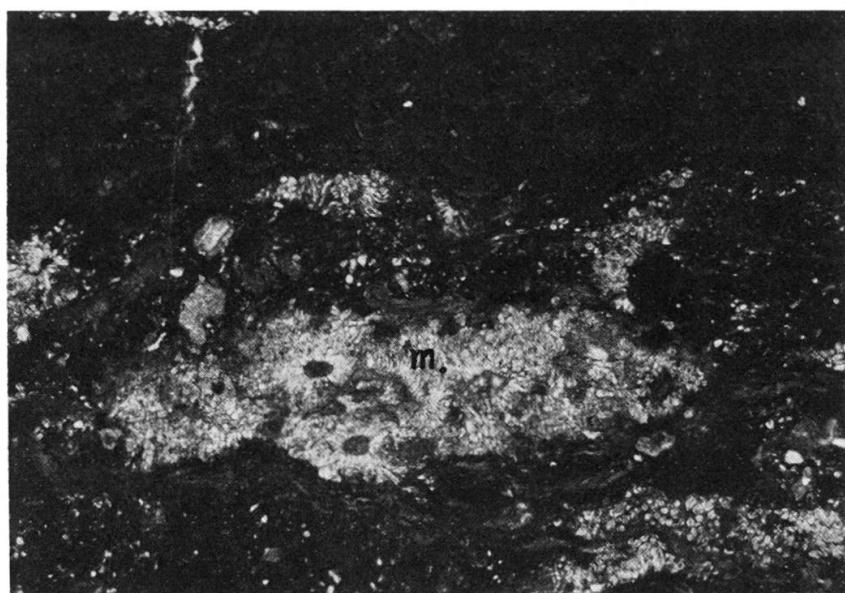


FIG. 5. — Croûte calcaire à structure laminaire (D-295). Grossissement X17.
En *m* colonie de microcodiums, de part et d'autre quelques colonies démantelées de cet organisme.

affleurement, plus important, se situe dans la tranchée et le caniveau d'un petit chemin qui venant d'une importante ferme débouche sur la route Grilly-Moureux environ 230 m à l'W de Grilly. C'est une croûte calcaire polyphasée typique qui contient quelques fragments centimétriques de calcaire urgonien. Il s'agit probablement là de l'affleurement de gompholite que MICHEL signale dans sa note sur le calcaire de Grilly (1965).

4. Reposant sur la surface quelque peu inégale formée par le toit de la croûte calcaire, on trouve une marne gris blanchâtre contenant de nombreux galets et blocs de croûte calcaire et de calcaires urgonien. Cette marne qui est sableuse ne montre pas traces de stratification et les galets et blocs qu'elle emprisonne sont disposés d'une manière cahotique, sans aucun classement. Les éléments qui prédominent sont ceux formés d'une croûte calcaire semblable à la croûte calcaire sous-jacente, ils sont assez gros avec des diamètres de 10 à 30 cm et des formes subangulaires. Les éléments qui dérivent de l'Urgonien sont en général plus petits, ils sont un peu mieux arrondis.

5. La marne gris blanchâtre gompholitique passe vers le haut à une marne semblable mais de couleur brun rougeâtre marbré de taches plus claires. Si les éléments contenus dans cette marne sont en général de petites tailles (1 à 10 cm) on trouve par contre, par endroits, quelques gros blocs mesurant jusqu'à 80 cm de diamètre. Le classement de ces éléments est nul, comme dans la marne gris blanchâtre sous-jacente, les plus gros éléments dérivant presque exclusivement d'une croûte calcaire polyphasée. Le sommet de ce niveau de marne, qui affleurait dans

la tranchée du tennis sur une hauteur d'environ 2 mètres, est remarquablement pauvre en galet alors que plus bas, les galets pris dans la marne sont par places presque jointifs.

La marne rougeâtre de Grilly ressemble beaucoup à un niveau de marne gompholitique affleurant aux sources de l'Allondon, c'est une marne bien compactée ayant une densité de 2,49 contre 2,53 aux Sources de l'Allondon (Ducloz, 1980). L'assemblage des minéraux lourds de ces marnes est cependant un peu différent de celui des Sources de l'Allondon car si on y trouve comme à l'Allondon de la tourmaline (42%), du zircon (27%) du staurotide (17%) et du rutile (13%) il s'en distingue par la présence du spinelle (1%) et surtout par l'absence de l'épidote, de l'amphibole et du disthène.

Dans l'excavation du tennis les marnes gompholitiques rougeâtres sont recouvertes en discordance par 1 à 1,5 mètres de moraine würmienne, elle-même surmontée d'un sol brun caillouteux puis par le remblai du petit chemin d'accès aux villas du voisinage. Au Nord du tennis, à une distance d'environ 30 mètres, la couverture quaternaire s'amincit et les marnes rouges sont subaffleurentes, il suffit de creuser quelques 10 à 20 cm dans un sol brun rougeâtre pour les atteindre. Plus au Nord encore, les marnes gompholitiques doivent passer sous le calcaire de Grilly qui affleure en partie au-dessus de la tranchée de la voie ferrée. Tout à fait à l'extrémité nord de l'affleurement principal du calcaire de Grilly, également le long de la voie ferrée, on peut voir que ce calcaire repose directement sur l'Urgonien, toutes traces des marnes gompholitiques et de croûte ont ici disparu.

ENCROÛTEMENTS CALCAIRES DU JURA

Les affleurements de croûte calcaire sont rares dans le Jura. A part les minuscules affleurements de Grilly, que nous venons de décrire, les uniques affleurements de croûte calcaire mentionnés dans la littérature se situent au Nord de Möriken, sur le versant sud du Chestenberg au pied du Jura argovien (HOFMANN et GYGI, 1961; JÄCKLI, 1966) et près de Schrannhof à l'Ouest de Wölflinswil dans le Jura tabulaire bâlois (STUMM, 1964). A Möriken il s'agit d'une croûte mesurant environ 1,5 mètre d'épaisseur, de couleur brun rougeâtre et d'un aspect bréchique. Elle repose sur les calcaires massifs du Kimméridgien, karstifiés à l'Eocène, et dont elle emprisonne de nombreux fragments. Une Molasse d'eau douce (USM) d'âge aquitanien la surmonte. Sa position stratigraphique est donc, à certains égards, comparable à celle de la croûte de Grilly.

A Schrannhof la croûte calcaire, plus développée qu'à Möriken, est subdivisée en 2 niveaux par un banc d'un calcaire argileux et noduleux de couleur rougeâtre que STUMM considère comme étant d'origine lacustre. Le niveau de croûte inférieure mesure environ 3 mètres d'épaisseur; il repose sur des calcaires oxfordiens. Cette

croûte inférieure est constituée, en majeure partie, d'une brèche de teinte beige, rougeâtre ou brunâtre, elle remanie des fragments de croûte plus ancienne ainsi que des fragments du calcaire oxfordien sous-jacent. Le ciment de cette brèche est envahi localement par de nombreuses colonies de *microcodiums* ou remanie des prismes et des colonies démantelées de cet organisme. Le niveau de croûte supérieur est beaucoup plus mince (env. 60 cm). Sa partie supérieure a une structure laminaire alors que la partie inférieure est une micrite massive rougeâtre à *microcodiums* qui emprisonne des fragments du calcaire oxfordien sous-jacent.

A la base de la croûte de Schrannhof, STUMM a observé, directement au contact avec le Mésozoïque, un mince niveau remenant des milioles, des rotalidés, des bryozoaires et des fragments d'huître. Pour STUMM, cette faune est probablement helvétienne et la croûte, dans son ensemble, pourrait représenter l'Helvétien supérieur. Reposant transgressivement sur la croûte l'on trouve à Schrannhof les dépôts de la Molasse d'eau douce supérieure tortonienne. STUMM parallélise la croûte de Schrannhof avec un niveau d'assez grande extension horizontale de croûte calcaire du bassin molassique du Sud-Ouest de l'Allemagne: l'« Albstein » (LEMCKE, ENGELHARDT & FUCHTBAUER, 1953; NAGELE, 1962). D'après sa position stratigraphique, l'« Albstein », dont l'épaisseur varie de 0,6 à 1,8 m, doit correspondre à l'Helvétien moyen. La croûte calcaire de Schrannhof serait donc plutôt de l'Helvétien moyen à moins qu'elle ne soit un témoin d'une période d'encroûtement plus ancienne.

Au Nord de Schaffhouse, près de Lohm, un peu en dehors du Jura proprement dit, HOFMANN (1960) a signalé, également près de la base de la série tertiaire, un affleurement de croûte calcaire. Cette croûte qui avait d'abord été décrite comme un calcaire d'eau douce (ERB, 1931) mesure 1 à 2 mètres d'épaisseur et se présente comme un calcaire blanchâtre, noduleux et crayeux; elle repose sur des argiles bariolées, kaolinitiques contenant des croûtes et des pisolites limonitiques qui furent exploités dans le passé comme minéraux. Ces argiles, correspondant au Sidérolithique, surmontent les calcaires karstifiés du Malm. HOFMANN considère cet encroûtement calcaire comme un témoin d'une période climatique sub-désertique ayant fait suite à la période humide et tropicale pendant laquelle s'élabora les formations latéritiques du Sidérolithique; cette période climatique aride aurait eu lieu, d'après HOFMANN, au début des temps oligocènes (Sannoisien-Rupélien). Les croûtes calcaires ne sont plus considérées aujourd'hui, comme le croyait HOFMANN, comme un indicateur de climat aride mais d'un climat subtropical à saisons sèches prolongées (BUDEL, 1982) et nous verrons plus loin qu'il y a eu vraisemblablement dans nos régions 2 périodes de formation de croûte calcaire: l'une au Lutétien terminal et l'autre à l'Helvétien. La croûte de Lohm appartient apparemment à la première période.

Le calcaire de Daubrée des auteurs qui recouvre, par endroits, les argiles latéritiques du Sidérolithique (bolus) du Bassin de Delémont et qui occupe donc une position stratigraphique plus ou moins comparable à celle des croûtes du Jura argo-

vien et bâlois est vraisemblablement également une croûte calcaire. L'aspect de ce calcaire tel que nous avons pu l'apprécier dans une excavation ouverte par Alusuisse aux Lavoirs, au Nord de Bassecourt, évoque bien un encroûtement (calcaire à composition polyphasée, structure microscopique glaebulaire et laminaire). Cependant, ce calcaire de couleur rougeâtre ne contient pas de *microcodiums* et ne ressemble absolument pas à la croûte de Grilly.

Si les reliques de croûte calcaire mentionnées dans la littérature sont rares dans la chaîne du Jura, il existe cependant, des formations tertiaires assez importantes qui ont été partiellement encroûtées et envahies par des colonies de *microcodiums*, organisme végétal directement lié aux encroûtements calcaires.

La plus importante et la plus connue de ces formations est sans aucun doute la gompholite du Locle, décrite magistralement en 1911 par J. FAVRE dans sa thèse de doctorat, et dont la zone d'affleurement se situe à peu près à mi-distance entre Grilly et Möriken. Cette gompholite, dont les éléments subanguleux sont des calcaires d'âge jurassique supérieur à Crétacé inférieur, est localement encroûtée (gompholite pralinée) et cimentée par une masse calcaire amorphe et crayeuse. Dans ce ciment mais aussi dans les couches d'incrustation l'on trouve de très nombreuses colonies de *microcodiums* qui carient le ciment, l'incrustation des cailloux et même ces derniers. Ces *microcodiums* semblent avoir été, comme le dit si bien J. FAVRE (1937), surpris en pleine activité vitale, ils ne sont pas retravaillés. FAVRE pensait que les *microcodiums* étaient des algues mélobésiées et il en inférait que la gompholite du Locle avait dû s'accumuler dans des nappes d'eau douce ou légèrement saumâtre. Or, on sait maintenant (LUCAS et MONTERAT, 1967; BODERGAT, 1974; BODERGAT-TRIAT et TRUC, 1975) que les *microcodiums* sont des organismes végétaux « calciphages », probablement apparentés aux Actynomycètes, qui se développent exclusivement dans des formations continentales. Il n'y a donc plus de raisons de considérer la gompholite pralinée du Locle comme une formation lacustre ou lagunaire mais bel et bien comme une formation subaérienne, probablement une accumulation de piedmont qui fut par la suite profondément encroûtée.

La présence de *microcodiums* dans le ciment de cette gompholite ainsi que de quelques moules internes d'Hélix dans des marnes rouges interstratifiées dans ces dépôts grossiers, avait amené FAVRE à attribuer à la gompholite du Locle un âge helvétien. En fait, cette datation reposait surtout sur la présence de *microcodiums* ce curieux organisme que FAVRE avait été le premier à signaler en 1911 mais que GLUCK décrivit d'une manière rigoureuse en 1912 sous le nom de *microcodium elegans*. En effet, le paléontologue allemand avait trouvé ses *microcodiums* dans l'Helvétien du Jura bâlois, le « Citharellenkalk », une formation franchement marine et FAVRE était enclin à croire que les *microcodiums* caractérisaient cet étage.

Il est évident que l'encroûtement de la gompholite du Locle pourrait bien dater de l'Helvétien puisque, à cette époque comme nous l'avons déjà rappelé, il s'est

formé dans le Sud-Ouest de l'Allemagne, sur de grandes étendues, un niveau important de croûte calcaire: l'« Albstein », témoin d'un climat favorable aux encroûtements. L'on ne peut cependant pas écarter complètement l'hypothèse d'un âge plus ancien puisque, comme nous le verrons plus loin, nos régions ont également été soumises, à la fin des temps lutétiens, à une importante phase climatique favorable au développement des encroûtements calcaires.

Dans le Jura bâlois L. HAUBER (1960) a décrit un calcaire d'eau douce à planorbes envahi par de superbes colonies de *microcodiums*. Ce calcaire affleure près d'Unter Bireten au Sud-Est d'Hölstein; il surmonte les sables quartzeux du Sidérolithique (Huppererde). Ailleurs, dans le Jura bâlois, ce calcaire a livré une riche faune de gastéropodes qui a permis de le dater du Lutétien (GUTZWILLER, 1905 et JENNY, 1928). Grâce à l'obligeance de Monsieur L. HAUBER géologue cantonal de Bâle-Ville et de Monsieur R. GYGI, conservateur au Musée d'Histoire Naturelle de Bâle, nous avons pu examiner les échantillons d'Unter Bireten déposés au musée de Bâle. Ce sont des micrites à planorbes de couleur gris jaunâtre, localement cariées par des colonies de *microcodiums*. Un échantillon est cependant d'un faciès différent, c'est un calcaire rubané de couleur crème et brun clair et dont la structure microscopique glaebulaire et laminaire est tout à fait typique des encroûtements carbonatés. Il contient d'ailleurs quelques *microcodiums* remaniés. D'après L. HAUBER (comm. écrite) cet échantillon qui a été récolté sur une butte herbeuse doit correspondre à un banc surmontant le calcaire à planorbes. Le calcaire d'eau douce d'Unter Bireten est donc non seulement carié par des *microcodiums* mais il est aussi recouvert d'une croûte calcaire dont l'épaisseur est probablement décimétrique. La Molasse tortonienne qui affleure à quelques centaines de mètres vers le Sud repose transversivement sur ce calcaire encroûté.

Au Sud de Bâle, au pied du Witterswilerberg P. BITTERLI (1945) a signalé lui aussi un calcaire carié par des *microcodiums*. Il s'agit d'un banc situé vers le sommet d'une série de calcaires, probablement d'origine lacustre, série mesurant une dizaine de mètres d'épaisseur et reposant par l'intermédiaire d'une gompholite sur des argiles latéritiques du Sidérolithique; un niveau de tuf calcaire contenant de nombreuses empreintes de feuilles de *Cinnamomum* est interstratifié dans cette série de calcaires. La position stratigraphique de ces calcaires qui sont recouverts par des sédiments rupéliens amena BITTERLI à les considérer comme étant soit de l'Eocène tout à fait supérieur, soit comme la base de l'Oligocène. En fait, on pourrait tout aussi bien les paralléliser avec les calcaires d'Unter Bireten, et les ranger dans le Lutétien. D'autres *microcodiums* ont été trouvés dans la coupe du Witterswilerberg dans des grès calcaires (calcarénites!) situés stratigraphiquement une vingtaine de mètres au-dessus des calcaires lacustres. BITTERLI attribue ces grès au Rupélien. Il est probable que les *microcodiums* en question ne sont pas en position de vie, car ces grès calcaires contiennent aussi des foraminifères du Malm et des ostracodes qui sont eux évidemment remaniés.

Dans la carrière du Hundruggen (Commune de Linn), dans le Jura argovien R. GYGI (1969) a signalé des *microcodiums* cariant les calcaires de l'Oxfordien. A environ 100 mètres à l'Est de la carrière, ces calcaires sont surmontés par la Molasse tortonienne. M. GYGI a eu la gentillesse de nous communiquer quelques renseignements supplémentaires fort intéressants sur ce gisement: les *microcodiums* se présentent sous forme de colonies tubulaires pénétrant les calcaires et les fossiles (Ammonites, etc.) qu'ils contiennent. Leur action se fait sentir jusqu'à une distance d'environ une vingtaine de mètres à partir du contact Tertiaire-Mésozoïque, contact malheureusement devenu invisible, le Tertiaire ayant été complètement érodé au droit de la carrière.

Au Sud-Ouest de Brugg, sur la rive gauche de l'Aare, près de Wallbach (Commune de Villnachern) R. GYGI a trouvé sur les calcaires oxfordiens une croûte calcaire polyphasée d'environ 20 cm d'épaisseur, dont il nous a montré les échantillons. Cette croûte qui contient de petits fragments du calcaire jurassique sous-jacent, repose sur ce dernier par l'intermédiaire d'une zone de transition formée du calcaire oxfordien profondément morcelé et pénétré par la croûte calcaire. La croûte calcaire est surmontée par de la Molasse chattienne. M. R. GYGI nous a dit avoir observé lors de ses études sur l'Oxfordien du Jura de la Suisse septentrionale, d'autres affleurements de croûte calcaire situés dans une position stratigraphique semblable à celle de la croûte de Wallbach, notamment au pied du Jura soleurois.

Avant de quitter le Jura de la Suisse septentrionale, signalons que tout récemment des *microcodiums* ont été observés dans l'Oligocène du fossé rhénan au Sud-Ouest de Bâle. Cette découverte a été faite grâce au sondage Leymen 1, situé à environ un kilomètre au front du Jura plissé. Le sondage traversa environ 700 mètres de Tertiaire avant d'atteindre les calcaires du Malm puis le Dogger. Les *microcodiums* proviennent d'un mince banc de marnes rougeâtres de huit centimètres d'épaisseur intercalé dans des calcarénites à passées conglomératiques attribuées au Sannoisien. Grâce à l'obligeance de M. L. HAUBER, nous avons pu examiner la carotte contenant le niveau à *microcodiums*; ces organismes sont en colonies stratiformes et sont bien en position de vie. Ils forment environ 10 à 20% de la roche. Bien que le sondage de Leymen 1 n'ait pas rencontré de croûte calcaire, la découverte des *microcodiums* est intéressante car elle montre que des conditions favorables aux encroûtements calcaires ont existé dans nos régions aussi à l'Oligocène inférieur (Sannoisien).

Près de Genève, à environ une trentaine de kilomètres au Sud de cette ville, à la bordure la plus interne du domaine jurassien, il existe, plaqué directement sur l'Urgonien ou les sables éocènes de la Montagne d'Age, un banc de gompholite solidement cimenté par un ciment calcique. Cette gompholite ressemble à bien des égards à la gompholite pralinée du Locle. Elle a été découverte par DE PEYER (1963) entre les Tourbières et le Crêt du Clos. Peu épaisse (env. 1 mètre) elle consiste en grande partie d'éléments subanduleux dérivés des calcaires urgoniens sous-jacents

et en très faible proportion de silex. A l'examen, l'on constate que nombreux sont les éléments d'Urgonien qui portent les traces d'un encroûtement préalable important. Le ciment qui est localement assez bien développé est formé d'une micrite beige clair dont la texture peut être massive mais le plus souvent répartie en grumeaux ou glaebules de taille millimétrique qui sont séparés par des vides sparitisés. La micrite emprisonne de nombreux fragments anguleux de quartz et, par places, l'on trouve de belles colonies de *microcodiums* en voie de démantèlement. C'est donc un encroûtement calcaire caractéristique et nous sommes bien en présence d'une gompholite comparable à la gompholite pralinée du Locle, mais ici les *microcodiums* ne sont pas en position de vie. Plus au Sud, vers Ronzy, l'on observe sur l'Urgonien une gompholite contenant de très gros blocs de calcaire urgonien dans une matrice sableuse ou silteuse. Elle n'est pas encroûtée et remanie des fragments de croûte calcaire. Ainsi, il semble bien que l'on ait, dans cette région, côté à côté, ou superposées, deux gompholites d'âge différent. Il a même dû exister une première génération de gompholite, plus ancienne comme en témoigne les fragments d'Urgonien encroûtés et remaniés dans la gompholite du Crêt du Clos.

AGE DE LA CROÛTE CALCAIRE DE GRILLY

L'âge de la croûte calcaire de Grilly doit être compris entre l'Eocène inférieur (âge probable des poches sidérolithiques) et le Chattien inférieur (âge des calcaires de Grilly, MICHEL 1965). C'est pendant ce laps de temps considérable, quelques 15 MA qu'a dû se développer, à une certaine époque, une phase climatique ayant permis le développement de la croûte. Pour dater cet épisode climatique les fossiles contenus dans la croûte: les *microcodiums*, ne nous sont d'aucun secours, puisque l'on sait maintenant que cet organisme à une extension stratigraphique très grande (KLAPPA, 1978). Il nous faut donc nous tourner vers les régions subalpines où durant l'époque considérée, c'est-à-dire une grande partie du Paléogène, se sont accumulées des séries parfois assez complètes de sédiments marins, lagunaires, lacustres et continentaux.

Bien que ce Paléogène ait fait l'objet, depuis la seconde moitié du XIX^e siècle, de nombreux travaux de qualité, aucune mention de l'existence de niveaux d'encroûtement n'est faite dans la littérature jusqu'en 1952, date à laquelle L. MORET signale l'existence de *microcodiums* à la base du complexe nummulitique des Aravis (découverte de Y. GUBLER et J. ROSSET en 1950). Il est vrai qu'à l'époque de la publication de MORET la véritable nature des *microcodiums* n'était pas encore élucidée et l'on ne savait pas que ces organismes sont intimement liés aux encroûtements calcaires. Depuis la note de MORET, plusieurs chercheurs ont observés à certains niveaux du Paléogène de la zone subalpine ou dans son soubassement crétacé des *microcodiums* (ROSSET, 1957, MARTINI 1961, CHAROLLAIS 1963, MARTINI 1968 et 1970, PAIRIS 1975)

mais aucun d'eux ne signale l'existence de croûtes calcaires et il n'est pas toujours évident, d'après leurs descriptions, de savoir si les *microcodiums* signalés sont en position de vie ou à l'état remanié.

Aidé des publications de MARTINI qui consignent une somme considérable d'observations sur le Tertiaire subalpin et tout particulièrement sur le Tertiaire du Massif des Bauges, nous avons revu un certain nombre de sections publiées par cet auteur dans lesquelles il décrit soit des niveaux évoquant des encroûtements (Brèches et calcaires à Cyanophycées¹) soit des niveaux contenant des *microcodiums*.

Dans la région des Déserts, c'est-à-dire dans la zone la plus externe de ce Paléogène subalpin, il existe, au-dessus du petit hameau de Pleurachat, plaqué sur le soubassement urgonien, un mince niveau (env. 10 cm) de croûte calcaire polyphasée très riche en prismes et en colonies démantelées de *microcodiums*. Cette croûte qui ressemble singulièrement à celle de Grilly a été signalée par MARTINI (1970) comme un calcaire à Cyanophycées. Elle est surmontée en discordance par des couches à polypiers et à petites nummulites d'âge sannoisien. Dans la partie la plus orientale du Tertiaire des Déserts, la très belle coupe du chemin de La Palud au Sauget (MARTINI, 1970) montre un développement remarquable de croûte calcaire. En effet, on peut voir en cet endroit, à la base de la série tertiaire, 2 niveaux de croûte polyphasée dont la plus inférieure contient de nombreux prismes et colonies de *microcodiums*. Entre ces 2 niveaux de croûte, épais respectivement de 5 et 6 mètres, il existe un banc de grès à ciment calcaire et un mince niveau de gompholite dont le ciment est littéralement envahi par des *microcodiums*. Cet ensemble surmonte une gompholite de 6 à 7 mètres d'épaisseur qui repose directement sur l'Urgonien. Le Sannoisien fossilifère recouvre en discordance ce Tertiaire continental. Des encroûtements plus modestes que ceux dont nous venons de parler ont été observés par MARTINI (1970) en d'autres points de la bordure de la zone tertiaire des Déserts; ce sont, reposant directement sur l'Urgonien, de minces placages de croûte calcaire (= calcaires à Cyanophycées) ou des gompholites encroûtées (= conglomérats à Cyanophycées).

La région des Déserts est donc intéressante puisqu'elle nous montre qu'un épisode climatique correspondant à la formation de croûte calcaires a été enregistré dans la série tertiaire du domaine subalpin et que cet épisode a dû être de longue durée. Cependant, elle ne nous permet pas de dater cet épisode avec précision étant donné l'âge des terrains qui encadrent la croûte; tout ce que l'on peut affirmer aux Déserts

¹ MARTINI, à la suite d'une lettre par laquelle je lui avais communiqué, en octobre 1980, certains résultats de mes observations sur les gompholites et les croûtes calcaires de la région genevoise m'écrivait (lettre du 20.10.80) « Quand j'étudiais ce Tertiaire, je ne pouvais que difficilement visualiser leur [les gompholites] milieu de déposition. Maintenant je vis dans un pays [l'Afrique du Sud] où la gompholite se forme et je vois plus clair. Par exemple, ce que je décris systématiquement comme « Cyanophycées » est en réalité, dans 80% des cas, de la « calcrete » in situ ou remaniée sur place. »

c'est que cet épisode a dû se produire après l'Eocène inférieur (Sidérolithique) et avant le Sannoisien.

Si nous nous déplaçons vers l'Est, dans une position plus interne de la zone subalpine, non seulement nous retrouverons, par places, l'Oligocène inférieur, mais nous allons avoir à notre disposition des séries priaboniennes, lutétiennes et même, occasionnellement, yprésiennes (MARTINI, 1961). Nous allons donc pouvoir serrer de plus près le problème de la datation de la formation de la croûte pour peu que ces dépôts tertiaires conservent des traces d'encroûtement. C'est heureusement le cas, notamment, dans le synclinal d'Entrevernes, où en plusieurs points MARTINI rapporte l'existence d'amas assez considérables de *microcodiums* ou des brèches et des calcaires à Cyanophycées.

La coupe classique de Viviand près du Chatelard est l'un de ces points d'intérêt. Dans cette coupe, MARTINI (1968) a vu sur le calcaire bréchoïde à grandes nummulites décrit par les auteurs, un calcaire blanc à pâte très fine lui-même surmonté d'une brèche à éléments de calcaire blanc cimentés par un calcaire brun chocolat à Cyanophycées. Ce niveau de brèche qui est très mince puisqu'il ne semble guère dépasser 30 cm d'épaisseur est en fait le sommet du calcaire blanc fissuré et morcellé par la pénétration d'une micrite à structure lamellaire ou glaebulaire de couleur brune. C'est un encroûtement calcaire typique bien qu'il ne contienne pas de *microcodiums*. Notons que nous avons observé dans le calcaire blanc micritique des débris de valves très minces d'ostracodes, ce qui tend à confirmer l'attribution que fait MARTINI de ce calcaire au Lutétien lacustre. Directement sur le calcaire encroûté repose les grès à petites nummulites du Priabonien affleurant à la cascade du torrent des Garins.

Au Nord, dans la partie médiane du synclinal d'Entrevernes, MARTINI (1970) a relevé très en détail la coupe de Tertiaire du ruisseau de Bellecombe. La partie inférieure de cette coupe semble bien n'être formée que de dépôts continentaux ou lacustres qui à plusieurs niveaux montrent des traces d'encroûtement (conglomérats, grès et même calcaires à Cyanophycées). Ces sédiments partiellement encroûtés sont recouverts par les assises saumâtres à cerithes du Priabonien inférieur; ils seraient, d'après MARTINI, déjà priabonien. A notre avis, rien n'est moins certain, ils pourraient tout aussi bien représenter le Lutétien terminal.

Plus au Nord, à l'Est du chalet de Précheret, MARTINI (1970) a trouvé sur les marno-calcaires du Crétacé supérieur un banc de calcaire brun à Cyanophycées; c'est une croûte calcaire typique. Elle est surmontée par le Priabonien (calcaires à polypiers). Plus au Nord encore, à l'Est de Granges Neuves MARTINI a observé, sur le calcaire du Lutétien lacustre dont le sommet est envahi par des *microcodiums*, 1 mètre de calcaire brun à Cyanophycées. Là encore ce calcaire qui est localement lui aussi envahi par des *microcodiums* est une croûte calcaire. Celle-ci est surmontée par les calcaires à polypiers du Priabonien inférieur dont la base contient de nombreux débris de *microcodiums*.

Un cinquième affleurement de Tertiaire du synclinal d'Entrevernes montre des traces d'encroûtement. C'est le banc de calcaire bréchoïde à grandes nummulites des auteurs, situé à proximité du point 116.5, au Nord de la mine de charbon d'Entrevernes. MARTINI (1968) a découvert qu'au sommet de ce banc existait une brèche (0,5 m) cimentée par un calcaire gréseux brun à *Cyanophycées*. Des échantillons prélevés dans ce niveau nous ont montré qu'il s'agit là aussi d'un encroûtement. Le sommet du calcaire bréchoïde passe en effet à un calcaire gréseux qui est pénétré et morcellé par de la micrite brune à structure finement lamellaire ou formant de petits amas plus ou moins globulaires. Par places, cette micrite brune devient sableuse et contient des colonies de *microcodiums* en partie démantelées.

Bien que les traces d'encroûtement dans le synclinal d'Entrevernes soient en général modestes, elles ont l'avantage de nous permettre de dater avec précision la période de la croûte dans nos régions. En effet, l'encroûtement affecte par places le sommet des dépôts lutétiens fossilifères et il est recouvert soit par le Priabonien inférieur (couche des Diablerets) soit par des couches plus jeunes qui ne portent pas traces d'encroûtement. La croûte a donc dû se former pendant la période d'émergence qui eut lieu après le dépôt du Lutétien lacustre, et avant la transgression priabonienne, c'est-à-dire probablement pendant le Lutérien terminal.

L'étude du Tertiaire du synclinal perché de la Montagne du Charbon, situé dans une position plus interne que celle des affleurements que nous venons d'examiner, confirme la détermination d'âge que nous proposons ci-dessus. La section la plus démonstrative à cet égard est celle que MARTINI (1961 et 1968) a relevé à l'Est de la Dent de la Porte. Nous n'avons pas visité la Montagne du Charbon mais les descriptions de MARTINI sont minutieuses et il nous est facile après ce que nous venons de voir dans le synclinal d'Entrevernes, de localiser les encroûtements. Le Tertiaire dans la section de la Dent de la Porte débute par des grès à ciment calcaire et des grès glauconieux d'âge yprésiens. Ils sont par places littéralement farcis de colonies de *microcodiums*. Les calcaires lutétiens à grandes nummulites qui les surmontent contiennent aussi, d'après MARTINI, de ces organismes mais en beaucoup moindre quantité et leur sommet est encroûté sur environ 30 cm d'épaisseur. Aucune trace d'encroûtement n'est signalée par MARTINI dans les sédiments priaboniens sus-jacents. L'âge de l'encroûtement est donc bien le même que dans le synclinal d'Entrevernes. MARTINI (1968) signale encore dans le Tertiaire du Roc-de-Chère un affleurement de croûte calcaire. Il décrit cette croûte, que nous avons cherchée en vain dans les broussailles, comme un banc de calcaire à *Cyanophycées* formant une petite surface lapiasée. Cette croûte reposeraient sur le Lutétien lacustre et serait surmontée, en discordance, par les grès à petites nummulites du Priabonien. Nous aurions donc là pour la croûte une situation analogue à celle que l'on observe dans les Bauges.

Les traces d'encroûtement sont peu importantes dans le Tertiaire du Massif des Bornes. Là encore c'est à MARTINI que nous devons les meilleures observations

à ce sujet: galets de croûte dans un conglomérat de la base du Priabonien près du col des Contrebandiers; croûte et *microcodiums* au contact des calcaires du Sénonien et du Priabonien transgressif au Crêt des Mouches; croûte et *microcodiums* au sommet du Lutétien lacustre dans le synclinal de Brizon. D'après CHAROLLAIS (1963) des *microcodiums* (vraisemblablement remaniés) existent également à la base du Priabonien du Plateau de Cenise. Toutes ces observations ne font que confirmer l'âge de l'encroûtement que nous proposons plus haut, c'est-à-dire Lutétien terminal.

B. et J.-L. PAIRIS ont, il y a quelques années (1975) étudié à nouveau le Nummulitique classique du Massif de Platé. De la vingtaine de coupes que ces auteurs ont publiées près de la moitié font mention, à un niveau ou à un autre, de la présence de *microcodiums*. Si l'on résume la situation à partir de ces coupes, l'on voit que: les *microcodiums* carient localement les calcaires du Crétacé supérieur formant le soubassement de séries priaboniennes (coupes des Foges et des chalets de Flaine); le Priabonien peut à son tour contenir des *microcodiums* remaniés (coupes des Grandes Platières, du col de Platé, des Salamanes et de l'Epine). La coupe du Sautet est plus intéressante car si elle montre aussi un Crétacé supérieur carié par les *microcodiums* la formation qui la recouvre est une brèche d'âge lutétien terminal dont la base est localement envahie, semble-t-il, par des colonies de *microcodiums*. L'encroûtement serait donc là aussi d'âge lutétien terminal.

La coupe du Mont Favy bien connue depuis les travaux de MORET (1920, 1934, 1952) et FEUGUEUR (1949, 1951) a été revue par B. et J.-L. PAIRIS. Cette coupe est remarquable car la base de la série priabonienne contient une quantité incroyable de débris de *microcodiums*. Nous avons revu cette coupe qui consiste en un mince niveau de conglomérat surmonté de calcaires un peu argileux, riches en débris de *microcodiums* et de couleur gris sombre (biomicrite à *microcodiums*). Ces calcaires biomicritiques dont l'épaisseur est d'environ 5 mètres sont entrecoupés de niveaux où la proportion de *microcodiums* se rapproche de 100%. Ces niveaux ont été interprétés par B. et J.-L. PAIRIS comme des paléosols. Nous ne partageons pas cette interprétation car l'examen microscopique de ces niveaux montre, sans équivoque leur caractère détritique: les colonies de *microcodiums* sont brisées formant des fragments s'ajustant comme une mosaïque où s'insèrent çà et là des grains de quartz ou des fragments de calcaire du Crétacé supérieur. Aucune des lames minces que nous avons examinées ne nous a montré des *microcodiums* en position de vie. Les *microcodiums* de la coupe du Mont Favy sont donc, manifestement remaniés, comme l'avaient déjà suggéré MORET et FEUGUEUR.

Ainsi, dans le Tertiaire du Massif de Platé, la période d'encroûtement a dû se produire, comme dans les Bornes et les Bauges, au Lutétien terminal.

La position stratigraphique des encroûtements calcaires et des gisements de *microcodiums* dans les séries sédimentaires du Paléogène de la zone subalpine montre donc clairement qu'une période climatique favorable à la formation de la croûte a eu lieu dans nos régions au Lutétien terminal. Cette phase climatique de longue

durée (probablement de l'ordre de 2 à 3 MA) a été également enregistrée dans les dépôts du SE de la France. En effet, il existe localement dans le Tertiaire continental surmontant en discordance l'Urgonien de la marge occidentale des Monts de Vaucluse (MASSE, TRIAT et TRUC, 1972; TRUC, 1975) et dans celui qui repose sur les calcaires turoniens des Baronnies (LUCAS et MONTENAT, 1967; MONTENAT, 1968) des colonies de *microcodiums* et parfois des croûtes calcaires polyphasées pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Les *microcodiums* présentent parfois un développement spectaculaire et carient, par places, profondément le substratum crétacé. Ces phénomènes d'encroûtement se sont produits, comme dans nos régions, à l'Eocène moyen. Grâce à l'obligeance de M. Georges TRUC de Lyon, nous avons pu comparer des échantillons de la croûte calcaire de Grilly et ceux provenant de la croûte des Monts de Vaucluse, la ressemblance entre ces croûtes provenant de localités situées à une distance de plus de 200 kilomètres est absolument frappante. A notre avis, la croûte calcaire de Grilly, a dû se former pendant la période climatique encroûtante dont nous venons de décrire des témoins, elle est donc vraisemblablement d'âge Lutétien terminal. C'est également à cette époque qu'a dû se former la croûte d'Unter Bireten (Jura bâlois), les croûtes de Möriken et de Wallbach (Jura argovien), le calcaire de Daubrée (Bassin de Delémont) et la croûte de Lohm (région de Schaffhouse). L'encroûtement de la gompholite basale de la Montagne d'Age date probablement aussi de cette période.

Les *microcodiums* découverts récemment dans le Sannoisien du Sondage de Leymen I, au SW de Bâle, montrent qu'une récurrence du phénomène de la croûte apparemment de courte durée, a eu lieu pendant une période plus tardive du Paléogène. Certains gisements de *microcodiums* signalés par M. ROUX (1970) dans le bassin de Taulanne (Basses-Alpes) sont probablement des témoins de cette phase climatique.

La croûte calcaire de Schrannhof (Jura bâlois) et surtout l'« Albstein » du SW de l'Allemagne sont des témoins d'une période climatique encroûtante miocène (helvétique). Cette période a dû être, comme celle du Lutétien terminal, de longue durée, à juger par l'épaisseur des croûtes calcaires formées à cette époque (2 à 3 mètres). La gompholite pralinée du Locle est probablement un autre témoin de cette période encroûtante qui fut très vraisemblablement la dernière qu'ait connu nos régions.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Georges TRUC de l'Université Claude Bernard de Lyon: c'est un peu grâce à lui que j'ai été amené à la découverte des éléments remaniés de croûte calcaire au sein des gompholites de la région genevoise. En effet, lui ayant soumis, un jour de 1976, une lame mince d'un calcaire micritique à *microcodiums* provenant du poundingue de Mornex (calcaire que je croyais d'origine lacustre) il me fit savoir, qu'à son avis, ce calcaire pourrait bien être un

encroûtement de type pédologique. Cette remarque, qui d'abord me surpris, m'orienta dans la bonne direction.

En second lieu, il me faut remercier mon ami Edouard LANTERNO, conservateur au Muséum de Genève. Il m'a souvent accompagné sur le terrain et a été un compagnon dont j'ai toujours apprécié le jugement. Il a eu, de plus, l'extrême gentillesse de lire avec attention mon manuscrit et d'en avoir amélioré par ses suggestions la présentation.

Le docteur Lukas HAUBER, géologue cantonal du canton de Bâle-Ville et le docteur Reinhart GYGI, conservateur au Muséum de Bâle, m'ont fourni des informations, restées inédites, sur les gisements de *microcodiums* (et sur des croûtes calcaires) qu'ils ont décrits dans leur thèse parues aux Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse. Qu'ils en soit cordialement remerciés ici.

Finalement, j'aimerais exprimer ma gratitude à Monsieur Yves COLMAR de Grilly qui a eu l'obligeance de me favoriser l'accès à l'excavation qu'il avait fait ouvrir sur sa propriété. Conscient de l'intérêt que cette excavation offrait pour mes études, il m'a très aimablement tenu périodiquement, au courant de l'état d'avancement des travaux, ce qui m'a permis de bénéficier au maximum de cette coupe qui malheureusement n'est restée visible que fort peu de temps.

RÉFÉRENCES

- BITTERLI, P. (1945). *Geologie des Blauen- und Landskronkette südlich von Basel*. — Matér. Carte géol. Suisse, NS, 81.
- BODERGAT, A. M. (1974). *Les microcodiums, milieux et modes de développement*. — Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon. 62, 137-235.
- BODERGAT, A. M., J. M. TRIAT et G. TRUC (1975). *L'origine organique des microcodiums : exemple du rôle des microorganismes dans la biocorrosion des roches carbonatées et la biosynthèse de la calcite en milieu continental*. — IX^e Congr. Int. Sedimento., Nice. Thème 2, 7-10.
- BÜDEL, J. (1982). *Climatic geomorphology*. — Princeton University Press.
- CHAROLLAIS, J.-J. (1963). *Recherches stratigraphiques dans l'Est du Massif des Bornes (Haute-Savoie)*. — Arch. Sc. Genève 15/4, 631-732.
- DE PEYER, D. (1963). *Géologie de la montagne de Lovagny*. — Travail de diplôme Université de Genève, inédit.
- DUCLOZ, Ch. (1980). *Observations géologiques aux sources de l'Allondon (Ain, France)*. — C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève 15/2, 167-178.
- ERB, L. (1931). *Erläuterungen zu Blatt Hilzingen der Geolog. Spezialkarte von Baden*. — Bad. geol. Landesanst., Freiburg i. Br.
- FAVRE, J. (1911). *Description géologique des environs du Locle et de la Chaux-de-Fonds*. — Ecl. geol. Helv. 10/4, 369-473, pl. 4-5.
- (1937). *Découverte de Microcodium elegans dans la gompholite du Haut-Jura neuchâtelois. Etude et position systématique de cette algue*. — Mem. Soc. Pal. Suisse 60, 39-47, pl. 3-4.
- FEUGUEUR, L. (1949). *Sur la géologie du massif de Platé (Haute-Savoie)*. — Bull. Soc. géol. France, 5^e sér., 9, 629-639.
- (1951). *Le Nummulitique de la nappe de Morcles entre Arve et Suisse*. — Bull. Soc. géol. France, 6^e sér., I, 671-692.

- GLUCK, H. (1912). *Eine neue gesteinbildende Siphonee (Codiacee) aus dem marinen Tertiär von Süddeutschland*. — Mitt. badische geol. Landesanst., 7, 3-24, pl. 1-4.
- GUTZVILLER, A. (1906). *Die eocänen Süßwasserkalke im Plateau Jura bei Basel*. — Mém. Soc. pal-Suisse, 32, 1-36, pl. 1-4.
- GYGI, R. A. (1969). *Zur Stratigraphie der Oxford-Stufe (oberes Jura-System) der Nordschweiz und des süddeutschen Grenzgebietes*. — Mat. Carte géol. Suisse, n.s., 136, 1-123, pl. 1-19.
- HAUBER, L. (1960). *Geologie des Tafel- und Faltenjura zwischen Reigoldswil une Eptingen (Kanton Baselland)*. — Mat. Carte géol. Suisse, n.s., 112, 1-71, pl. 1-4.
- HOFMANN, F. (1960). *Sedimente einer ariden Klimaperiode zwischen Siderolithikum und Molasse in Lohn, Kanton Schaffhausen und am Rheinfall*. — Ecl. geol. Helv. 53/1, 27-32.
- HOFMANN, F. et R. GYGI (1900). *Ein Vorkommen von Oberer Mariner Molasse am Kestenberg (Kanton Aargau)*. — Ecl. geol. Helv. 54/2, 506-510.
- JÄCKLI, H. (1966). *Atlas géologique de la Suisse au 1:25 000^e, Feuille 1090 Wohlen et notice explicative*.
- JAYET, A. (1964). *Atlas géologique de la Suisse au 1:25 000^e, Feuille 12.1 Coppet et notice explicative*.
- JENNY, F. (1928). *Die Fauna des Süßwasserkalkes von Diegten (Baselland)*. — Ecl. geol. Helv. 21/2, 417-427.
- KLAPPA, C. F. (1978). *Biolithogenesis of Microcodium: elucidation*. — Sedimentology 25, 489-522.
- LEMCKE, K., W. von ENGELHARDT et E. W. STRAUB (1953). *Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes*. — Beih. geol. Jb., 11, 1-110, pl. 1-9.
- LUCAS, G. et CH. MONTENAT (1967). *Observations sur les structures internes et le développement des Microcodiums*. — Bull. Soc. geol. France, 7^e sér., 9, 909-918.
- MARTINI, J. (1961). *Présence de l'Yprésien dans le massif des Bauges (Savoie)*. — C. R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève. 14/3, 512-517.
- (1968). *Etude de l'Eocène inférieur et moyen des chaînes subalpines savoyardes*. — Arch. Sc. Genève 21/1, 35-70.
- (1970). *Contribution à l'étude de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène subalpin de la Savoie*. 23/1, 197-276.
- MASSE, J.-P., J.-M. TRIAT et G. TRUC (1972). *Surfaces à Microcodium affectant le Crétacé de la partie orientale des Monts de Vaucluse (Sud-Est de la France): mise en évidence de leur âge éocène*. — C. R. Acad. Sc. Paris 275/3, 325-328.
- MICHEL, R. C. (1965). *Les calcaires oligocènes de Grilly (Ain, France)*. — Arch. Sc. Genève 18/3, 706-711.
- MONTENAT, CH. (1968). *Contribution à l'étude des formations tertiaires continentales des Baronnies*. — Bull. BRGM. 2^e sér., sect. 1, N° 2, 1-18.
- MOREL, P. (1946, 1947). *Riamont, Mt-Mourex, Mt-Mussy (Etude de quelques avant-plis du Jura gessien)*. — Bull. Soc. Naturalistes et Archéol. Pays Ain. N° 60, 86-117. N° 61, 37-46.
- MORET, L. (1920). *Sur la constitution lithologique du Nummulitique et du Crétacé supérieur du plateau d'Arâche (massif de Platé, Haute-Savoie)*. — C. R. Acad. Sc. Paris 171/24, 1216-1218.
- (1934). *Géologie du massif des Bornes et des klippes préalpines des Annes et de Sulens (Haute-Savoie)*. — Mém. Soc. géol. France. n.s. 22, 1-162, pl. 1-6.
- (1952). *Curieux encroûtements de calcite attribués à des algues (Microcodium) dans la partie terminale du Crétacé supérieur alpin et pyrénéen*. — Trav. Lab. geol. Grenoble 30, 55-59.
- NÄGELE, E. (1962). *Zur Petrographie und Entstehung des Alhsteins*. — N. Jb. Paläont. 115/1, 44-120.
- PAIRIS, B. et J.-L. PAIRIS (1975). *Précisions nouvelles sur le Tertiaire du massif de Platé (Haute-Savoie)*. — Geol. Alpine 51, 83-127.
- ROSSET, J. (1957). *Description géologique de la chaîne des Aravis entre Cluses et le Col des Aravis (Haute-Savoie)*. — Bull. ser. carte géol. France, 53/247, 1-147, pl. 2-6, 1 carte.
- ROUX, M. (1970). *Le synclinal de Taulanne (Basses-Alpes) et les conséquences du chevauchement de Castellane sur sa bordure nord-est*. — Geol. Alpine 46, 177-188.
- STRASSER, A. et E. DAVAUD (1982). *Les croûtes calcaires (calcretes) du Purbeckien du Mont-Salève (Haute-Savoie, France)*. — Ecl. geol. helv., 75/2, 287-301.

- STUMM, F. (1964). *Das Tertiär des Basler Tafeljura. Mit besonderer Berücksichtigung des miocaenen Ablagerungen.* — Verh. natur. Ges. Basel 75/2, 153-219.
- TRUC, G. (1975). *Sols à profil calcaire différencié et pellicules rubanées dans le Paléogène du Sud-Est de la France.* — Colloque « type de croûtes calcaires et leur répartition régionale » Strasbourg, 108-113.
- VERNET, J.-P. (1963). *Le Sidérolithique du Mormont (Vaud).* — Bull. Lab. Geol. Min. Geoph. Univ. Lausanne 143, 1-19, pl. 1-2.

PLANCHE I

Croûte calcaire de Grilly (Echelle 1 cm):

FIG. 1. — Urgonien encroûté (D-287). Fragments disloqués d'Urgonien gris de tailles centimétriques et millimétriques, emprisonnés dans de la micrite beige clair.

FIG. 2. — Urgonien encroûté (D-296).
Calcaire urgonien disloqué et envahi par de la micrite à structure laminaire et glaebulaire.

FIG. 3. — Croûte rubanée polyphasée.
Alternances de niveaux de micrite de couleur crème et de micrite brunâtre emprisonnant de nombreux et minuscules débris de calcaire urgonien.

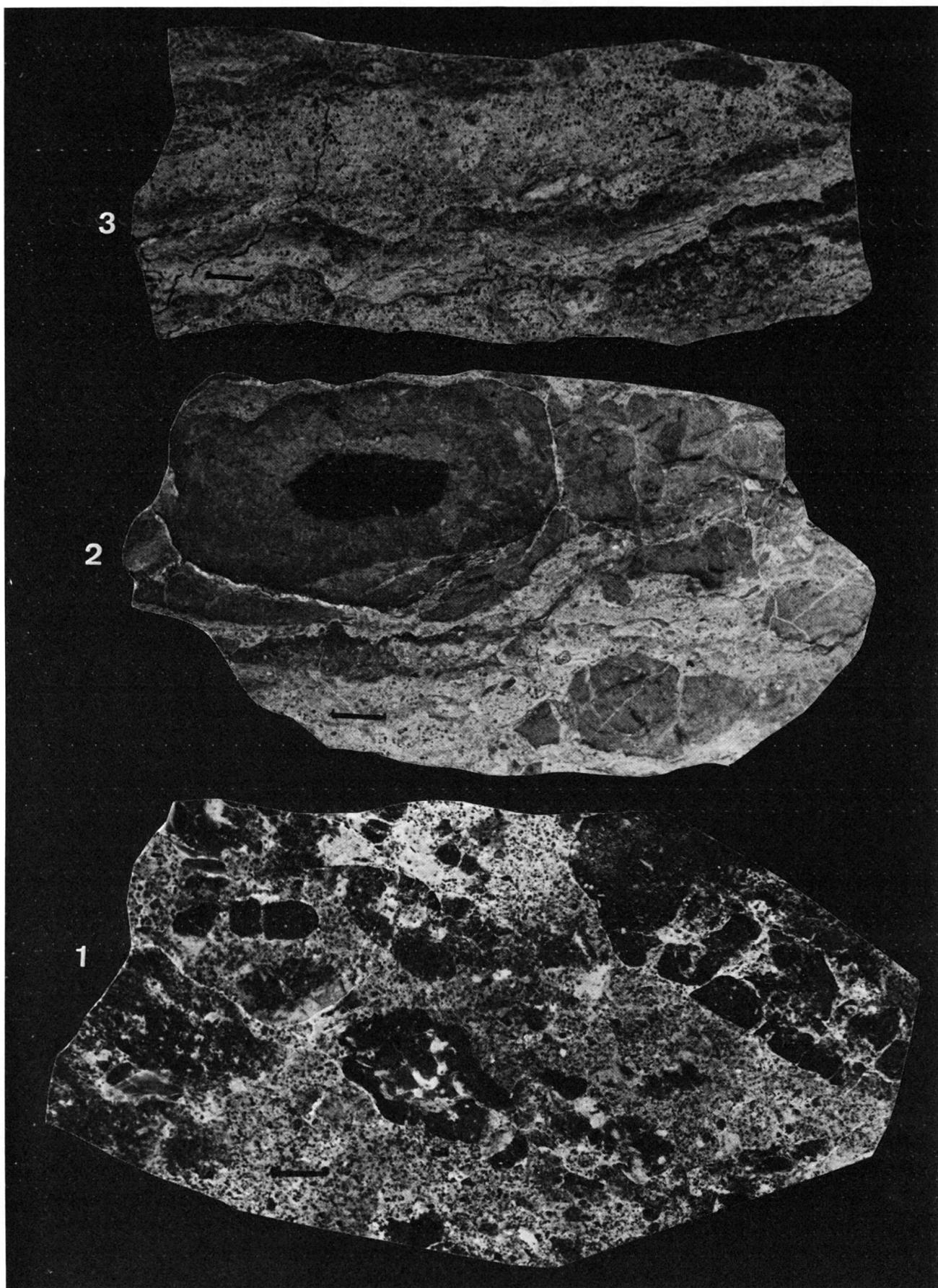


PLANCHE II

Croûte calcaire de Grilly (Echelle 1 cm):

FIG. 1. — Partie inférieure (D-291a).

Alternances de micrite à structure glaebulaire, de teintes claires et foncées, emprisonnant de petits fragments de calcaire urgonien.

FIG. 2. — Partie médiane (D-291b).

Micrite massive, glaebulaire ou laminaire emprisonnant de nombreux fragments de calcaire urgonien.

FIG. 3. — Partie supérieure (D-291c). Croûte polyphasée.
I = 1^{re} phase, II = seconde phase.

