

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 78 (1985)
Heft: 3

Artikel: Les cournieules du versant sud de l'Argentera : fracturation hydraulique et phénomènes associés
Autor: Jeanbourquin, Pascal
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-165668>

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: 24.01.2026

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 78	Nr. 3	Pages 517–535	Bâle, décembre 1985
---------------------	---------	-------	---------------	---------------------

Les cornieules du versant sud de l'Argentera: Fracturation hydraulique et phénomènes associés

Par PASCAL JEANBOURQUIN¹⁾

ABSTRACT

Triassic cover rocks of the Mercantour–Argentera Massif (France) consist of intensively tectonically crushed dolomites, “cornieules” (rauhwackes) and gypsum. In several blocks of dolomite not affected by cataclasis, some peculiar brecciated structures associated with sedimentary dykes and sills are described. They are interpreted as a stage of the brittle deformation at particularly high pore pressure. Dedolomitization, connected with evaporitic sulphates, is the main process for the generation of cellular dolomites and monomict breccias similar to rauh-wackes. Filling of dykes and sills shows flow structures.

I. Introduction

La fracturation hydraulique naturelle est un phénomène couramment invoqué pour la mise en place de filons magmatiques, dans les stades tardimagmatiques ainsi que dans la genèse de certains minerais (PHILLIPS 1972, DZULYNSKI 1976). L'appliquer à la genèse des cornieules, i.e. à la bréchification de roches sédimentaires, est une idée récente et originale (MASSON 1972, WARRAK 1974). Toutefois, d'une manière générale, les théories invoquées pour la formation de ces roches traitent souvent le problème plus par une argumentation indirecte globale que par des observations de terrain (MASSON 1972, LEINE 1971, DEBELMAS et al. 1976, MÜLLER 1982). L'étude détaillée de quelques affleurements ainsi qu'une étude microscopique ont permis de cerner des phénomènes, autant mécaniques que chimiques, qui confirment, en les complétant, les vues de MASSON (1972) et de DEBELMAS et al. (1976).

II. Aperçu géologique

Les faits relatés se situent dans la bordure sud-ouest du massif de l'Argentera–Mercantour. La couverture sédimentaire, d'âge triasique à tertiaire, est plissée en disharmonie sur les séries permienes ou le socle cristallin (fig. 1). Les plis ont des axes grossièrement orientés E–W ou plus rarement NW–SE.

Le Trias constitue un niveau de disharmonie principal et montre, particulièrement dans la Vésubie (Alpes Maritimes, France), des accumulations témoignant de phénomènes de bourrage tectonique. Il peut être subdivisé en deux unités structurales:

— l'une, inférieure, est formée de quartzites et de pélites versicolores, classiquement attribuées au Werfénien, restés solidaires du socle (le tégument de GIGNOUX 1950);

¹⁾ Institut de Géologie et Paléontologie, Palais de Rumine, CH–1005 Lausanne.

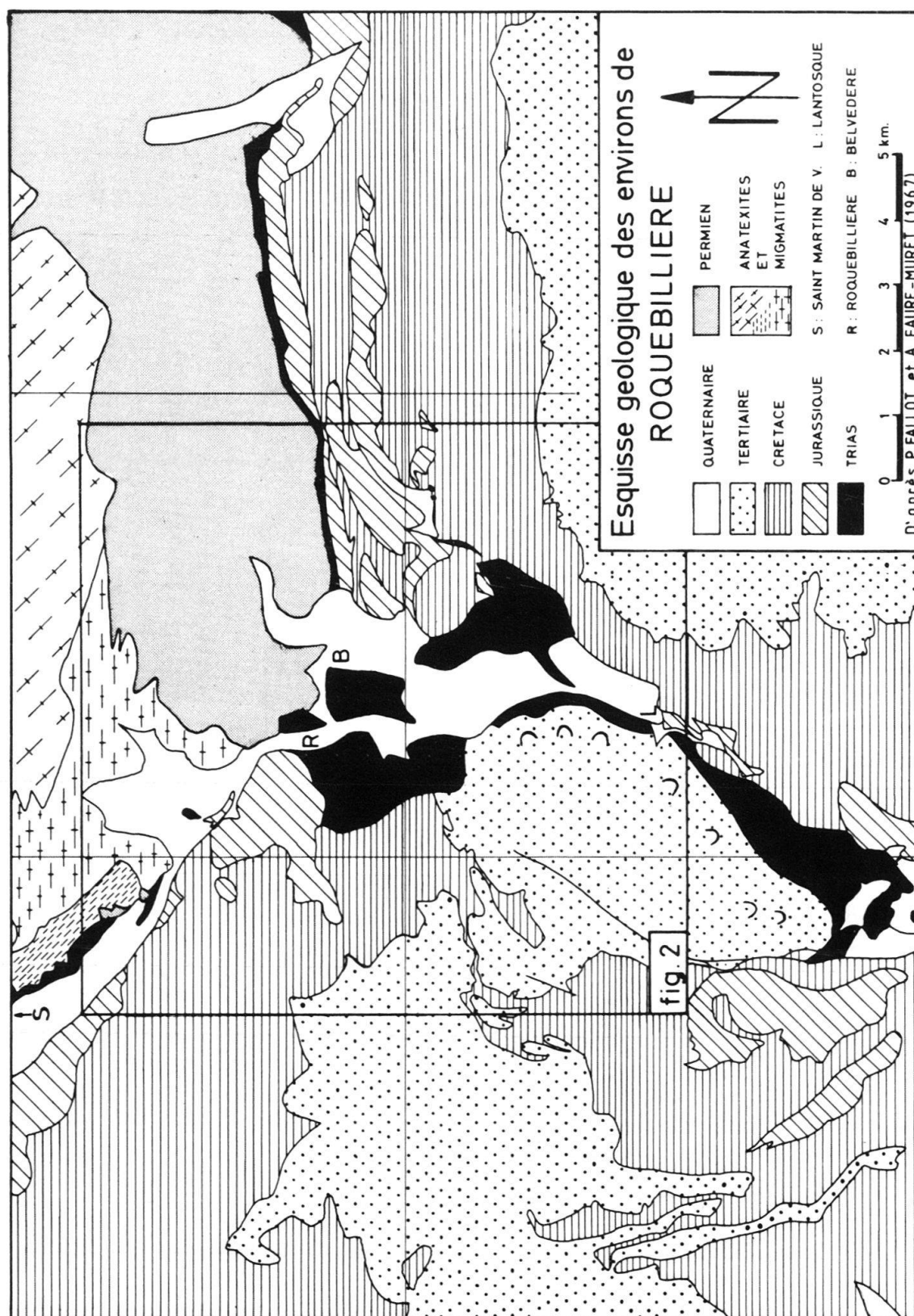


Fig. 1. Esquisse géologique des environs de Roquebillière. Cadre: situation de la figure 2.

— l'autre est composée d'un mélange chaotique de gypse, cornieules²⁾, argilites et de masses calcaro-dolomitiques d'âge présumé triasique moyen à supérieur (Muschelkalk et Keuper). Contrairement à la littérature, il semble difficile, dans la plupart des cas, de distinguer deux niveaux séparés de cornieules (FALLOT et al. 1967). Les masses dolomitiques présentent, à l'échelle de l'affleurement, une fracturation plus ou moins intense associée à des transformations minéralogiques.

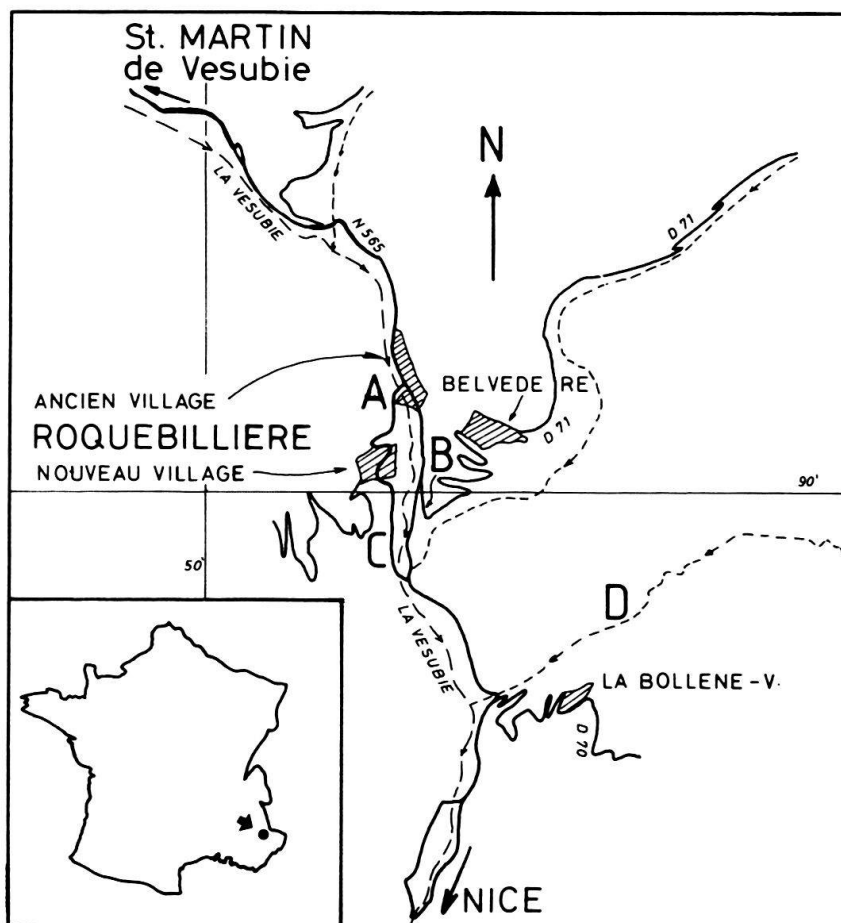


Fig. 2. Croquis de situation: A = Roquebillière nord, B = route de Belvédère, C = Roquebillière sud, D = vallon de la Planchette.

III. Roquebillière nord: Les affleurements situés en rive droite de la Vesubie (fig. 2, loc. A), à l'extrémité du nouveau pont et sur le chemin sus-jacent

Les dolomies triasiques (fig. 3), à pendage presque vertical, sont caractérisées par un niveau à silex (A), une passée à laminites stromatolithiques, des figures sigmoïdes (BAUD 1984) et une passée graveleuse donnant la polarité (P) des couches. La fracturation est principalement de deux types: soit une zone stratiforme de brèche à éléments centimétriques, soit un réseau lâche de veines et de fissures parfois cisailantes.

²⁾ Le terme cornieule doit être pris ici dans un sens descriptif, i.e., une brèche à éléments essentiellement dolomitiques et matrice fortement calcaire dont la porosité superficielle est la principale caractéristique. Ce terme englobe donc une grande variété de roches dont la genèse n'est pas nécessairement semblable. Il faut donc éviter de donner une connotation génétique au mot cornieule.

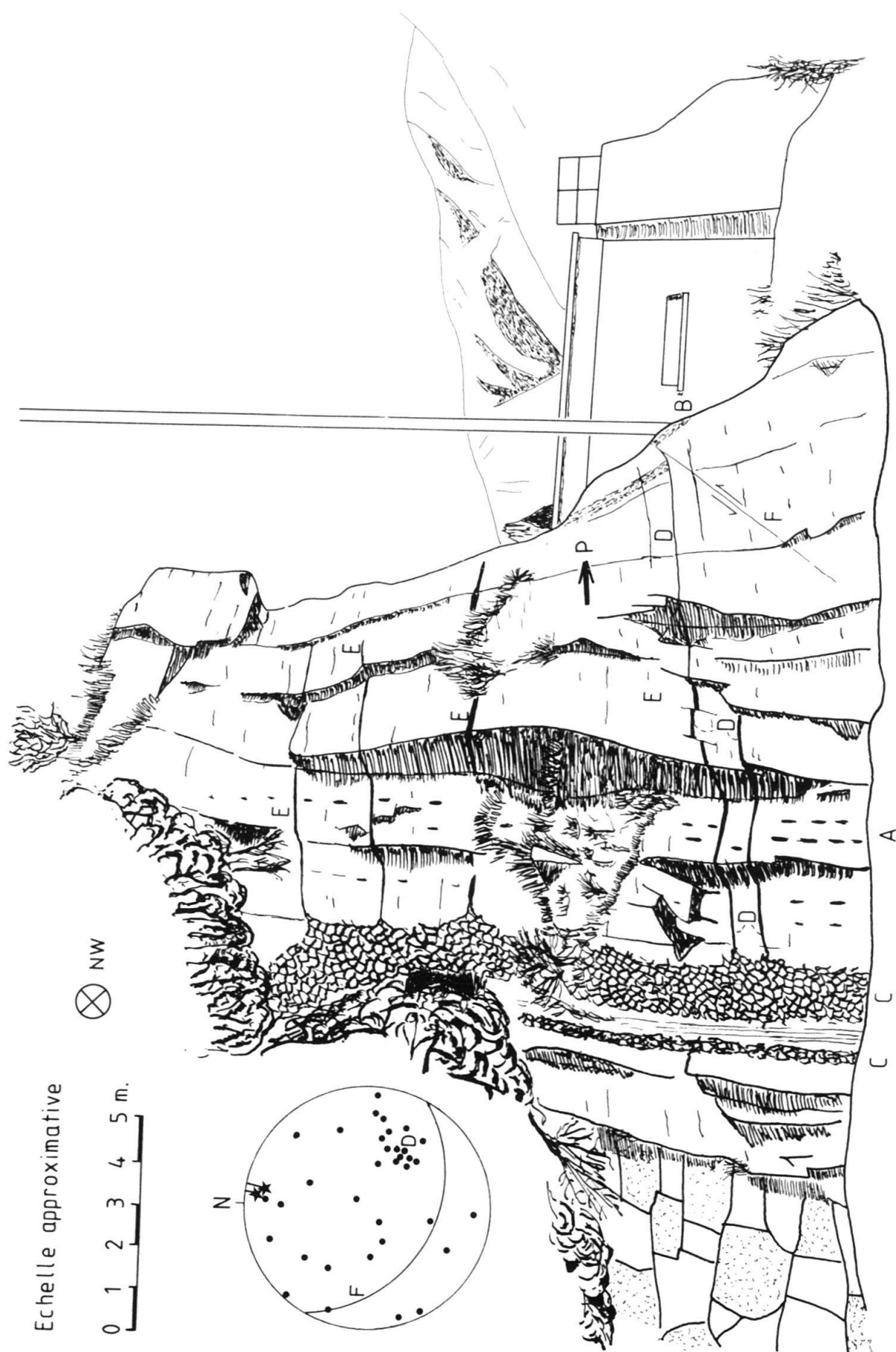


Fig. 3. Roquebillière nord. Affleurements de dolomite du «Muschelkalk» en bordure du nouveau pont. La stratification est subverticale. A = niveau à silex, B = niveaux à gravelles, laminites et S-planes, C = zone bréchifiée (qui se poursuit sur environ 100 m au nord-ouest), D = filons sans parois calcitisées, E = filons à bordures de dédolomite, F = fracture cisailante, P = polarité des couches. Stéréogramme (canevas de Schmidt hémisphère inférieur); ★stratification avec polarité, ● filons. Explications dans le texte.

a) *Brèche pseudostratiforme*

La bréchification affecte une zone (C) grossièrement parallèle à la stratification, mais parfois elle peut changer de strate (haut de la fig. 3) ou apparaître furtivement dans la continuation de cette couche dolomitique singulière (chemin des Imberts). La fracturation a découpé in situ la dolomie en polyèdres centimétriques et la matrice calcaire est venue s'injecter dans les fissures formant un réseau de cloisons plus résistantes à l'altération (structure en nid d'abeille). Ce faciès correspond au type des dolomies cloisonnées voire éventuellement aux cornieules monomictes. Le contact avec l'encaissant est graduel mais rapide. Les éléments ne paraissent pas avoir subi de translation ou de rotation importantes. Macroscopiquement, la matrice de la brèche est composée soit de calcite grise, soit de calcilutite jaune ocre argileuse. Microscopiquement (fig. 5), les cloisons sont composées de deux phases distinctes.

La première (3, fig. 5), généralement en bordure des filonets est constituée d'une pâte de calcite (micrite à microsparite) et d'argile dans laquelle baignent assez uniformément des granules de dolomite (taille de 1 à quelques microns ou plus rarement quelques dizaines de microns). La croissance de cristaux de calcite est parfois épitaxique. Cette texture correspond à une calcitisation de la dolomite (dédolomite). Certaines zones sont riches en grains microscopiques d'hydroxydes de fer (origine de la coloration macroscopique jaune ocre). Ces micrites sont parfois remobilisées au centre des filons.

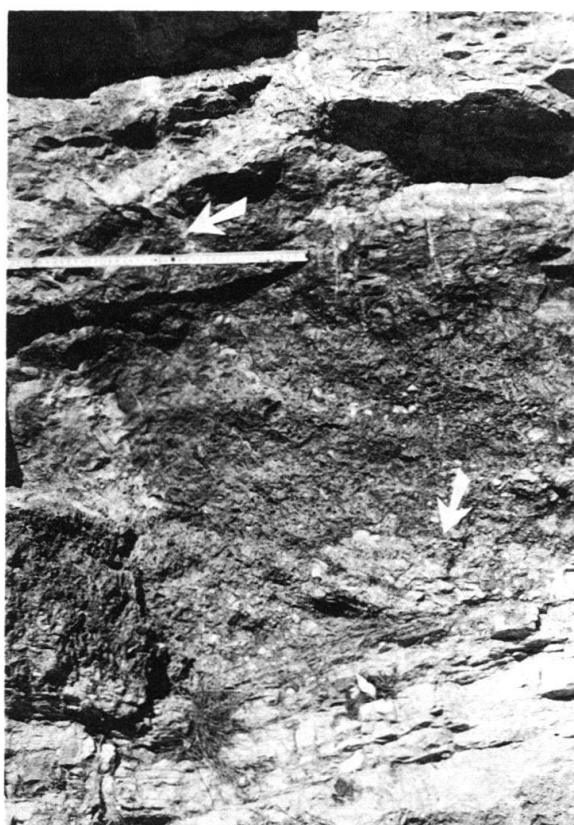


Fig. 4. Passée bréchique pseudostratiforme C (fig. 3) avec bordures irrégulières. La brèche prend naissance par intensification progressive mais rapide du réseau de fractures. Vers la droite uniquement (haut de la série) s'individualise un système de veines approximativement perpendiculaires aux couches qui correspond aux filons D (fig. 3). L'altération différentielle des éléments dolomitiques par rapport à la matrice calcaire confère à cette brèche un aspect en nid d'abeille caractéristique des dolomies cloisonnées.

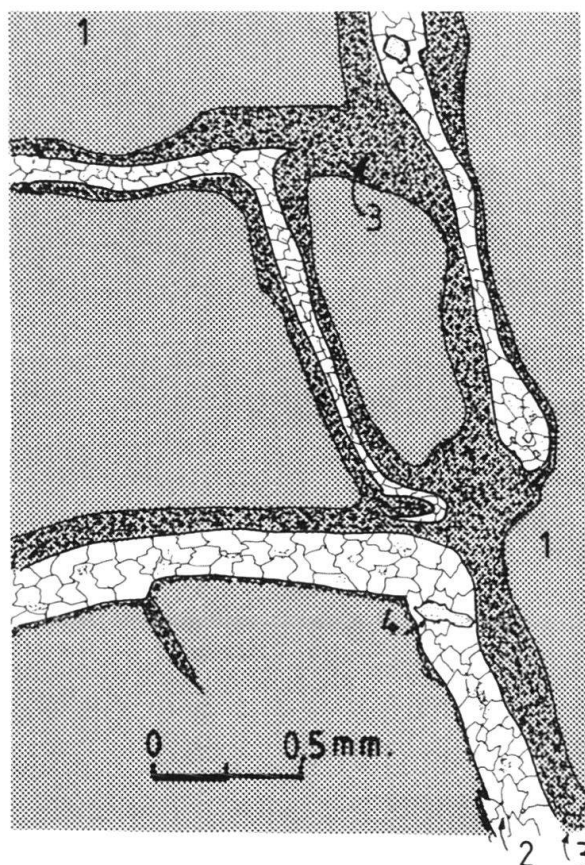


Fig. 5. Microtexture de la zone bréchique C. 1 = éléments de dolomicrite, 2 = microsparite à sparite pure, 3 = dédolomite très fine (jusqu'à 60–70% de calcite), 4 = quartz authigène.

La seconde phase (2, fig. 5), occupant le centre des cloisons, est composée de calcite assez pure en mosaïque sans orientation préférentielle. Une telle texture suggère un remplacement de gypse (comm. orale de A. Baud). Ceci semble confirmé par l'observation de cristaux de gypse, parfois en fantômes, préservés dans des calcites du même habitus. Quelques rares inclusions non carbonatées sont des fragments de grès quartzitiques et des quartz authigènes riches en inclusions fluides.

Cette configuration géométrique montre que certains bancs possèdent une potentialité originelle vis à vis de la fracturation et que celle-ci paraît être liée à la présence de minéraux évaporitiques dans un banc dolomitique de porosité et de perméabilité singulières. Cette idée confirme très clairement les vues de certains auteurs (CORNELIUS 1927).

b) Le réseau lâche de veines et fissures dans l'affleurement

Comme illustré dans la figure 3 et son stéréogramme, l'orientation moyenne de ces éléments est variable à l'exception d'une famille de plans (D + E) approximativement perpendiculaires à la stratification.

Les filons D perpendiculaires aux couches: du niveau bréchique (C, fig. 3) prennent naissance, uniquement vers la droite (haut de la série), des veines approximativement perpendiculaires à la stratification (D, fig. 3). Elles atteignent 8 cm d'épaisseur et montrent un contact franc avec la dolomie. La figure 6A illustre deux phases de remplissage

d'un filon D recoupées par un filon plus tardif de calcilutite jaune ocre. Le figuré dolomitique (3, fig. 6A) correspond à un remplissage actuellement calcaro-dolomitique blanc crème dont la composition microscopique (fig. 6B) est d'environ 60 % de dolomite en rhomboèdres avec de fréquentes inclusions de calcite (particulièrement dans les clivages), 40 % de calcite en mosaïque (sparite pure) avec des fantômes de structures finement grenues assimilables à des textures de type dédolomite, ainsi que de rares hydroxydes irrégulièrement répartis et quelques quartz authigènes à inclusions diverses. Cette texture est interprétée comme un remplissage d'une veine dolomitique partiellement calcitisé ou éventuellement par de l'anhydrite suivie de dolomitisation et de dédolomitisation.

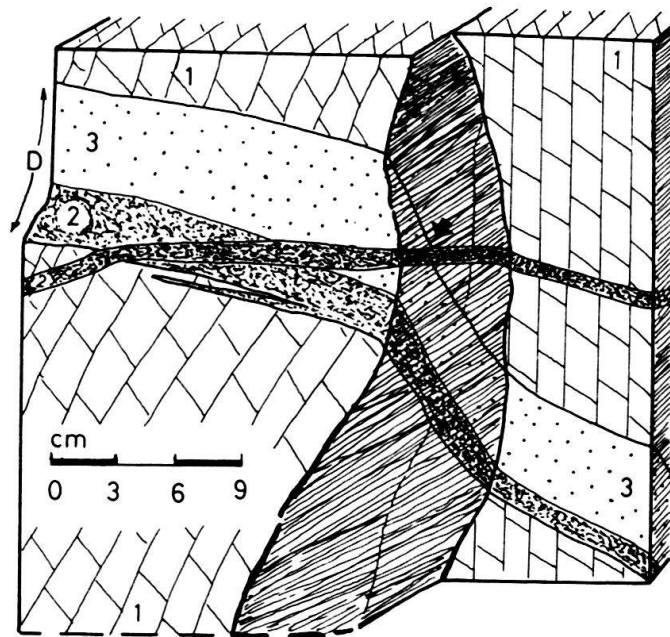


Fig. 6a. Intersection des différents types de filons. La flèche souligne le fait que le filon tardif s'est formé en extension. 1 = dolomie, 2 = calcilutite à calcarénite jaune ocre, 3 = remplissage blanc crème de dolomite et de calcite, D = filon D.

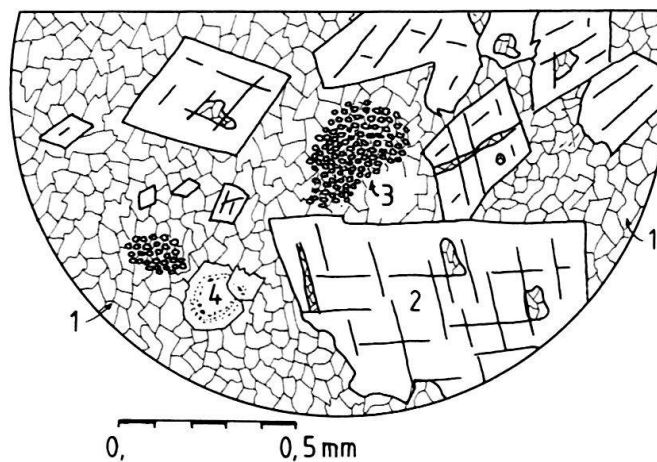


Fig. 6b. Composition minéralogique de la partie blanc crème du filon D. 1 = microsparite à sparite, 2 = dolomite subidiomorphe partiellement calcitisée particulièrement sur les clivages, 3 = microbrèche d'aspect dédolomite, 4 = quartz authigène avec de nombreuses inclusions dont de la dolomite et de la calcite.

Le figuré pointillé 2 de la figure 6A correspond à une calcilutite «aphanitique» jaune ocre ainsi qu'à des phases de même nature mais plus grossières (quelque 100 microns, calcisiltite). Ce sont des micrites plus ou moins argileuses dans lesquelles flottent de nombreux fragments de dolomie en général très calcitisée. La coloration est liée aux fins hydroxydes de fer. Ces micrites sont fréquemment laminées avec même des stratifications obliques ou entrecroisées marquées par des passées plus grossières ou plus riches en hydroxydes. Ces deux remplissages, l'un jaune ocre et l'autre blanc, se relaient latéralement dans ces veines et semblent tout à fait contemporains car leur intrication mutuelle est très intime. La photographie de la figure 7 illustre les relations de ces structures avec

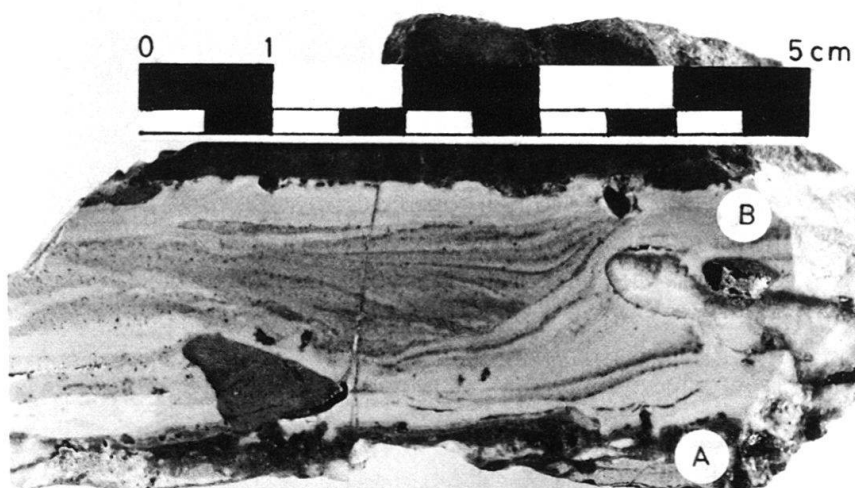


Fig. 7. Filon de calcilutite jaune ocre avec laminations montrant l'influence de fragments grossiers sur la géométrie des structures (B). La base du filon est formée de brèche à éléments de dolomite très calcitisée blanche dans un ciment de calcite riche en hydroxydes de fer de couleur orange (A).

des gros fragments baignant dans le conduit. L'extrémité de cette veine bute contre une fracture cisailante partiellement ouverte (fig. 8). Rejetée de quelques centimètres, elle passe rapidement à une fissure fermée et disparaît. À l'approche de cette fracture cisailante le conduit est partiellement obstrué par des grains de dolomie calcitisée plurimillimétriques; seules les phases très fines ont pu s'écouler à travers ce filtre. Ce phénomène rappelle le «filter pressing» décrit par ANDRÉ (1983) et PROPACH (1976) à propos de faits observés sur des roches magmatiques.

Les autres éléments de la fracturation dans les dolomies sont:

- d'une part une fracture cisailante (F, fig. 3) qui rejette les bandes à laminites stromatolithiques et gravelles d'environ 70 cm, le filon D de quelque 6 cm, alors que certains filons ne sont pas interrompus par celle-ci. La fracture est localement ouverte, remplie de calcilutite jaune ocre ou de fractions plus grossières de même nature que celles décrites ci-dessus (jusqu'à environ 1 mm de diamètre, fig. 8);
- d'autre part, les fractures fermées ou ouvertes à bordures parfois calcitisées. Quoique d'orientation générale et de fréquence très variées, ces accidents ont une préférence pour les directions parallèles ou perpendiculaires aux couches. Quelquefois même ils ont réutilisé d'anciennes discontinuités comme des joints de stratification, de dissolution ou d'anciennes veines dolomitiques.

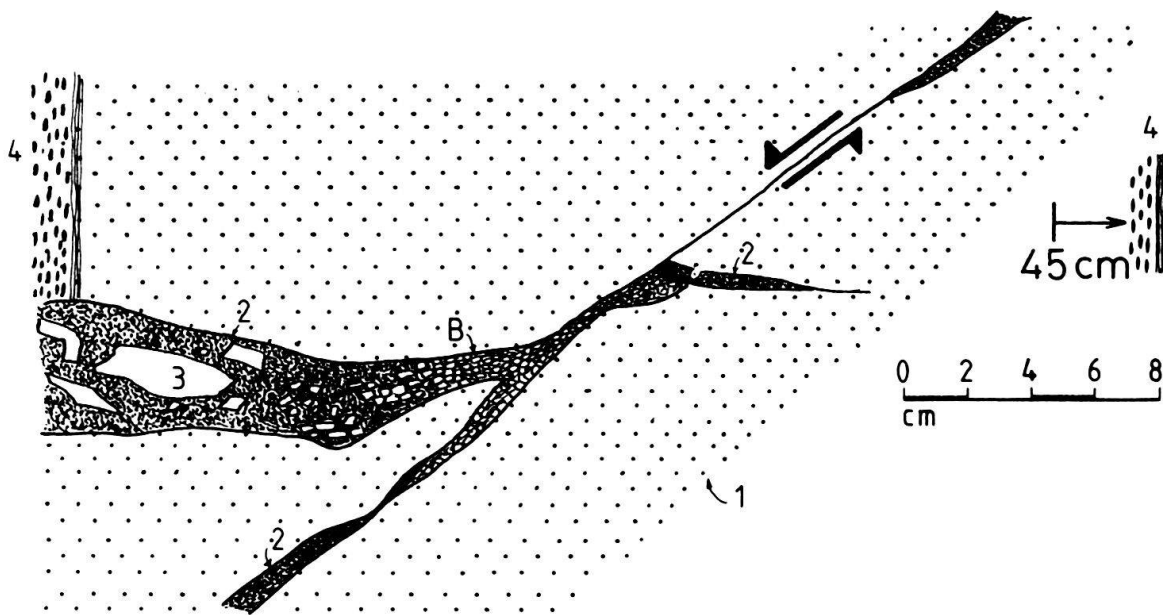


Fig. 8. Fracture cisailante partiellement ouverte et relations avec la terminaison et l'obstruction du filon D (fig. 3). Des fragments de dolomie calcitisée se sont accumulés à l'extrémité du conduit formant un filtre et ne laissant passer que les fractions fines des boues qui fluaient dans les conduits. Il faut également noter la différence de rejet entre la stratification (4) et le filon D. 1 = Dolomie, 2 = calcilutite jaune ocre, 3 = fragments de dolomies calcitisées, 4 = niveau à gravelles et laminites, B = bouchon. Interprétation: la zone cisailante s'est établie «en compression» (fig. 15) puis, par affaiblissements successifs des contraintes (PHILLIPS 1972) et augmentation de la pression fluide, elle a pu s'ouvrir partiellement et probablement rejouer.

La calcitisation (lorsqu'elle est présente comme dans la fig. 9) des parois de fissures ou de veines est de nature centrifuge. Elle se remarque, à l'échelle de l'affleurement, par un liseré gris plus foncé que la dolomie et par une vive effervescence de la roche à l'acide chlorhydrique. Elle pénètre également parfois sur plusieurs centimètres dans l'encaissant. Le microscope révèle une texture finement bréchique de grains dolomitiques monocristallins (dont la taille est fonction de la texture initiale de la dolomite: dolomicrite à dolosparite baignant dans un ciment de calcite (jusqu'à 70–80% de calcite)). En lumière polarisée, plusieurs cristaux de calcite s'éteignent simultanément provoquant un aspect de «patchwork». Cette caractéristique suggère une croissance épitaxiale de ces calcites. Ces bordures de dédolomite sont le témoin d'une importante circulation de fluides sulfatés riches en calcium (fig. 9). Les fractures ouvertes sont remplies de calcilutite jaune ocre parfois laminée de calcisiltite, de calcarénite et même de calcirudite plus ou moins riches en argiles et hydroxydes. Les laminations tendent à se paralléliser au filon, quelle que soit l'orientation de celui-ci; toutefois les laminations proches de l'horizontale sont les plus fréquentes.

IV. La route de Belvédère (B, fig. 2)

Dans le talus amont du début de la route de Belvédère (D71) affleurent quelques blocs de dolomies sous (ou dans) la moraine du nouveau glacier de la Gordolasque.

- quartzites blancs ou verdâtres
- arkoses lie de vin
- argilites vertes ou rouges
- rares éléments cristallins
- calcilutites jaune brun
- dolomies \pm calcitisées avec filons jaune ocre

La matrice est une micrite argileuse hétérogène qu'il est difficile de caractériser en raison du mauvais triage, mais de nature semblable au remplissage micritique jaune ocre des veines et filons. La situation de cette brèche n'est pas exactement établie. Toutefois, elle n'apparaît jamais dans les filons parallèles ou légèrement sécants à la stratification. Les parois des diaclases contenant cette brèche sont également le siège de calcitisation. Son faciès légèrement poreux en surface rappelle celui des cornieules polymictes décrites dans les Préalpes internes suisses romandes (P. J., en prép.).

Un bref coup d'œil aux moraines locales semble montrer l'absence de galets de ces brèches polymictes alors que les autres faciès bréchiques, dolomies partiellement calcitisées et cornieules monomictes, sont présents. Ces brèches polymictes semblent bien correspondre à un événement très tardif.

V. Roquebillière sud (C, fig. 2)

Les affleurements en bordure de la route joignant le nouveau village à la N 565 en direction de Nice permettent d'observer d'une part une bréchification des dolomies avec plusieurs générations (phases) de fracturation et de matrices calcaires, d'autre part des brèches polygéniques et des filons dans les dolomies.

a) Brèches à plusieurs phases de fracturation

La première phase de fracturation donne naissance à des brèches à éléments anguleux de dolomie fortement calcitisée dans une matrice de calcilutite, plus rarement de calcarénite jaune ocre à brun \pm argileuse, inhomogène montrant plusieurs phases assez nettement séparées. D'une part les éléments, millimétriques à métriques, paraissent légèrement désolidarisés les uns des autres, d'autre part la matrice peut devenir abondante (jusqu'à 50%), illustrant ainsi le caractère graduel de ce phénomène. La qualité des affleurements ne permet pas de constater si les grandes masses de dolomies sont totalement englobées dans ces brèches. Le contact de celles-ci avec les dolomies saines est graduel. De nombreux filons la pénètrent horizontalement ou verticalement. Ils correspondent à un stade avancé et plus intense de la fracturation décrit dans les deux paragraphes précédents.

La seconde génération de fractures affecte la micrite jaune ocre, matrice de la brèche de première phase (fig. 11). La nouvelle matrice (ou ciment?), de couleur grise, se compose de microsparite à sparite (50–80 microns) assez homogène avec des fragments de dolomite parfois idiomorphes (dolomitisation?). Les hydroxydes sont rares. La bréchification de la micrite jaune ocre est également progressive, témoignant du caractère intrinsèque de la fracturation.

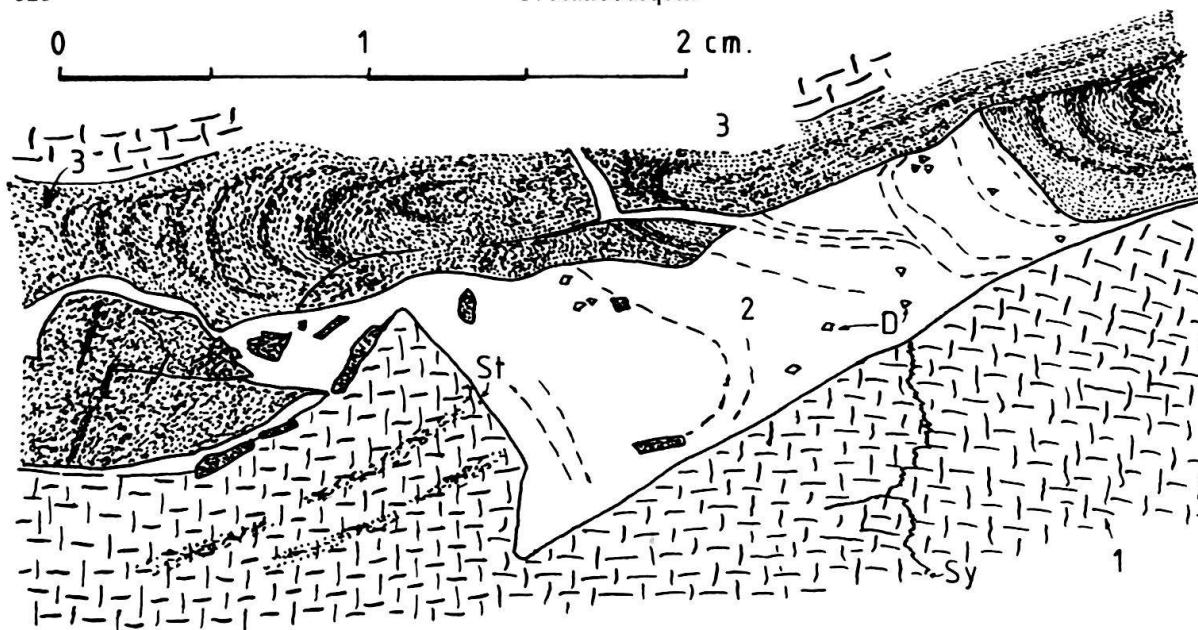


Fig. 11. Brèche polyphasée avec laminations plissées. La calcilutite jaune ocre (3) laminée et plissée (comme dans des structures de slumping) est fracturée une nouvelle fois par des veines remplies de calcite grise (microsparite 2). Ce remplissage est également affecté par les plis. 1 = Dolomie calcitisée, 2 = microsparite à sparite grise, 3 = calcilutite jaune ocre, Sy = stylolithe, St. = stratification, D = cristaux de dolomite.

b) Les brèches polygéniques

Reposant indifféremment sur les brèches monomictes ou sur les dolomies par un contact graduel (fig. 12), les brèches polygéniques sont composées d'éléments parfois arrondis et même polis; parmi eux des granites leucocrates fins, des gneiss fins, des quartzites clairs, des argilites vertes ou rouges, des calcaires biodétritiques fins (et biomicrites) avec schistosité naissante, des calcaires grainstones (oopelsparites), des prismes de calcite, des micrites jaunes ocres et des dolomies diversement calcitisées. La matrice micritique argileuse jaune ocre est difficile à caractériser vu le très mauvais degré de

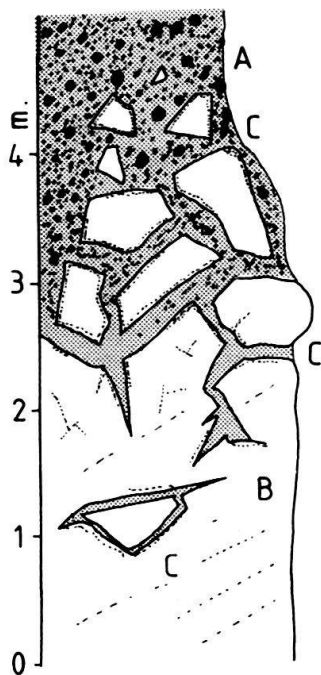


Fig. 12. Coupe schématique montrant la liaison progressive des brèches polymictes avec les dolomies. A = brèche polymictie, B = dolomies à bordures localement calcitisées, C = ciment micritique jaune ocre.

trriage. La zone de transition à matrice monomictite (fig. 12) suit grossièrement la surface topographique actuelle ou remplit parfois des poches. Elles correspondent aux brèches du paragraphe IIIb.

c) Structures dans les filons

Comme mentionné ci-dessus, les remplissages des filons et la matrice de la brèche polyphasée montrent fréquemment des laminations soulignées par de légères variations de granulométrie ou des zones plus riches en hydroxydes. Ces laminites ne sont pas toujours horizontales mais tendent à devenir parallèles aux parois des conduits (fig. 13). De fréquents granoclassements sont délicats à utiliser. De plus certains obstacles (fragments de dolomie ± calcitisée) semblent influencer particulièrement la géométrie de ces laminations.

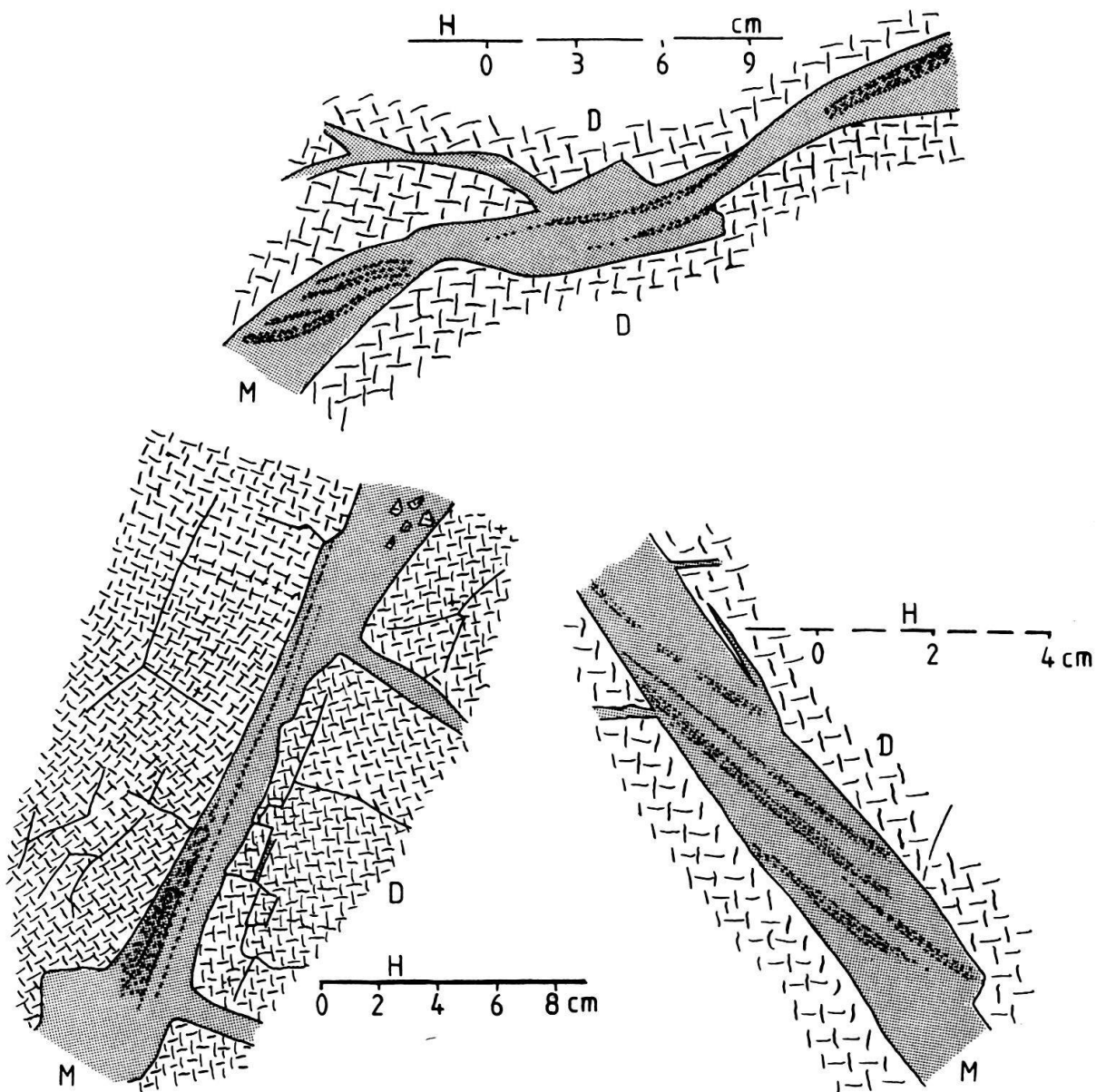


Fig. 13. Exemples de filons avec laminations marquées par de légères différences de granulométrie ou par des passées plus riches en fins hydroxydes de fer. H = horizontale actuelle, D = dolomie, C = calcilutite à calcarénite jaune ocre. Ces structures semblent influencées par les parois des conduits.

La figure 11 illustre les phénomènes de fluage et de plissement (très analogues à des plis synsédimentaires de «slumping») dans la matrice de brèches polyphasées. Ils témoignent ainsi des propriétés rhéologiques très singulières de ces matériaux qui, compte tenu de leurs relations géométriques avec les dolomies, font penser à un milieu «fluidisé» (REYNOLDS 1954). Il faut noter également que les matrices grises et jaunes sont plissées mais que simultanément l'une fracture l'autre.

VI. Extension régionale

a) Vallon de la Prat au nord de la Bollène-Vésubie (fig. 2, loc. 6) et Cime de Colla Bassa (vallée de la Roya)

Dans ces régions, en plein terrains de Jurassique et de Crétacé, affleurent des masses de cornieules probablement injectées le long de failles (cf. carte 1 : 50 000, feuille St-Martin de Vésubie).

Ce sont des faciès extrêmement broyés, sorte de masse pulvérulente de carbonates et d'argiles dans laquelle se distinguent des blocs de dolomies cloisonnées encore frais. Ils sont parcourus par des filons de calcilutite jaune ocre contenant des éléments d'argilites vertes et des fragments de quartzites. De plus, il n'existe dans cette région ni brèches polymictes ni moraines. Il semble donc bien exister une relation entre les brèches polymictes et les moraines.

b) Hameau de Vignols-Mt Longon (feuille St-Etienne-de-Tinée, 974 500/214 400)

La localisation des cornieules est plutôt complexe dans les alentours nord-est du village. Décollé de son substratum permo-triasique, le Muschelkalk dolomitique et calcaire dessine des plis assez isoclinaux. Il est recoupé localement par des filons plurimétriques bourrés de brèches d'aspect cornieule monomictes. Trois types (au moins) de brèches sont discernables à première vue:

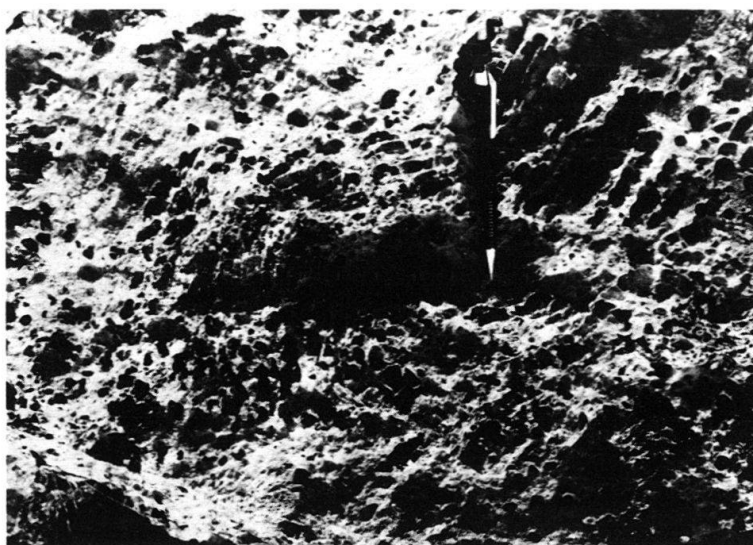


Fig. 14. Dolomies cloisonnées et plissées. Les cloisons sont de calcilutite jaune ocre.

- Des faciès de brèche tectonique avec de gros blocs de dolomie et une matrice de microbrèche mal triée, partiellement à fortement calcitisée, dont la couleur est jaune ocre. La cataclase est évidente.
- Des brèches stratiformes souvent peu déformées dans lesquelles se reconnaissent de nombreuses structures décrites ci-dessus. Ce sont des dolomies cloisonnées et plissées (fig. 14) aux cloisons de sparite grise ou de micrite jaune ocre, des filons remplis de calcilutite ou de calcarénite jaune ocre souvent laminée qui, lorsqu'ils deviennent abondants, passent graduellement à une brèche. Les éléments semblent peu déplacés.
- Des brèches polygéniques à éléments de Trias calcaire et dolomitique uniquement et matrice calcaire gris jaune à beige.

VII. Discussion

a) La fracturation

Les observations ont été faites dans des masses dolomitiques préservées du broyage et de l'importante dissolution caractéristiques des cornieules qui les entourent. Soulignons que la qualité médiocre des contacts avec la cornieule ne permet pas une description précise et objective des relations.

Le caractère intrinsèque de la fracturation dans certains bancs (C, fig. 3, fig. 4) avec des ramifications de filons vers le haut de la série (D, E, F. fig. 3), l'intersection de filons (prouvant notamment la fracturation en extension, fig. 6a) et l'association de fractures d'extension (dans plusieurs directions) avec des cisaillements suggèrent un processus de bréchification par fracturation hydraulique de nature cyclique. Les faits décrits ci-dessus sont donc interprétés comme un stade initiateur de la déformation cassante associée à des pressions fluides anormalement élevées, pour des raisons autant géologiques que théoriques (rhéologiques). En effet, la lithologie très poreuse et perméable des dolomies, fréquemment en alternance avec de fins lits argileux (ainsi que la présence virtuelle d'évaporites), constitue un piège très favorable pour les fluides au cours du temps.

Les processus provoquant une pression fluide anormalement élevée (jusqu'à la contrainte lithostatique) sont variés. Invoquons les principaux :

- l'enfouissement d'une série sédimentaire (CHAPMAN 1976);
- l'érosion rapide des terrains sus-jacents (par exemple entre le Crétacé et le Tertiaire ...);
- des transformations minéralogiques liées à la présence d'eau (argiles, gypse) ou au gonflement (transformation de l'anhydrite en gypse, de la dolomite en calcite);
- des contraintes extérieures au système (tectoniques, sous-glaciaires).

Comme le montre la figure 15, les fluides n'ont pu ouvrir des joints préexistants (paragraphe IV, fig. 10) ou fracturer la roche en extension (paragraphe III et V, fig. 3, 4 et 5) que si le déviateur des contraintes était faible, i.e., la contrainte tectonique proche de la contrainte lithostatique. Il est alors plausible de penser soit que le déviateur était initialement faible (lors de l'enfouissement par exemple) donc antérieur aux décollements importants, soit que cet état résulte d'un affaiblissement progressif de l'anisotropie des contraintes par fracturation hydraulique dans le domaine de compression (PHILLIPS 1972) comme le suggère la figure 8.

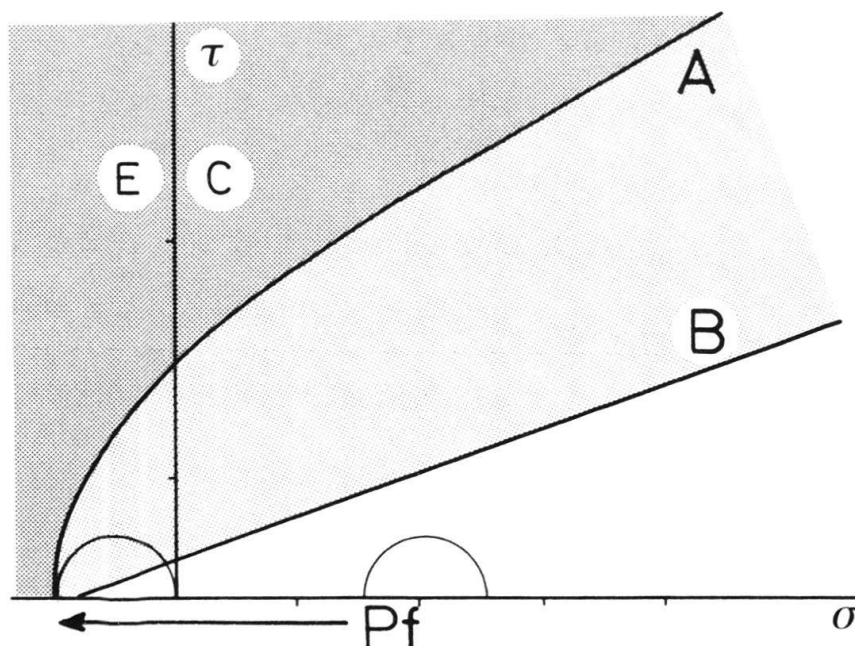


Fig. 15. Illustration de l'effet de la pression fluide par les cercles de Mohr et critères de fracturation pour une roche A et pour une discontinuité B. A = courbe enveloppe composite de la roche (critères de Griffith et Coulomb), B = courbe enveloppe (critère de Coulomb) liée à l'effet d'une discontinuité préexistante comme une surface de stratification, un clivage ou des fissures, E = domaine en extension, C = domaine en compression, σ = contrainte normale, τ = contrainte cisailante, gris foncé: domaine d'instabilité pour une roche saine, gris clair: extension du domaine d'instabilité pour une roche en présence de discontinuités, blanc: domaine stable. Seul un faible déviateur des contraintes accompagné d'une forte pression fluide peut engendrer l'éclatement d'un banc dans le domaine d'extension. En présence d'une discontinuité le déviateur doit obligatoirement être encore plus faible, l'éventail des orientations stables est également de plus en plus restreint. Il faut aussi remarquer qu'une fracturation «en traction» sera d'autant plus facile à réaliser que la contrainte minimale sera moindre (en général la contrainte lithostatique) donc que la profondeur sera faible (diagramme d'après SECOR 1965).

b) Transformations chimiques et minéralogiques

D'une manière générale, les dolomies constituant les cornieules ont un faciès caractéristique de dolomitisation par saumures sursalées même si leur association avec les évaporites actuelles n'est pas systématique (potentialité originelle du paragraphe IIa!).

Elles ont subi un régime de calcitisation d'intensité variable illustré, dans les stades primitifs, par des fissures à parois calcitisées (nature centrifuge de la réaction) mais dont l'intensité peut parfois atteindre la quasi totalité de la roche. L'intensification progressive du réseau de fractures, par augmentation de la surface de réaction, semble jouer un rôle de catalyseur pour la transformation de la dolomite.

L'association de la texture de dédolomitisation (fig. 5) avec des calcites pures en mosaïque (sans textures de remplissage, fig. 5, au sens de BATHRUST 1958 et 1981) suggère une interprétation de celles-ci comme le résultat de calcitisation d'évaporites (gypse ou anhydrite).

Les boues micritiques argileuses jaune ocre sont interprétées comme le résultat de la dissolution d'évaporites associées à la dédolomitisation. En effet, la calcitisation de la dolomicrite (ou de la dolomicrosparite), lorsqu'elle atteint une certaine intensité, semble parfois induire localement une modification des propriétés rhéologiques de la roche initiale, lui conférant un comportement fluide (processus de fluidisation). Ceci explique-

rait entre autre le comportement singulier (fig. 11) à la fois ductile et cassant (presque simultanément) de ces boues.

Les réactions de calcitisation, que ce soit des sulfates de calcium ou de la dolomite, sont accompagnées de précipitation d'hydroxydes de fer microgènes responsables de la coloration jaune ocre. Bien que difficile à cerner, la nature des solutions aqueuses ayant circulé s'avère riche en calcium et oxydante. Il est trivial de penser que les premiers fluides étaient d'origine interstitielle ou résultaient de la déshydratation de minéraux tels que les argiles ou le gypse. Toutefois, la dédolomitisation implique un lessivage important, donc une forte circulation des fluides à mettre en relation avec la dissolution des évaporites.

En résumé, l'ouverture du système à des solutions séléniteuses oxydantes, par l'apparition graduelle de fractures ou l'ouverture d'anciennes discontinuités à l'échelle de l'affleurement, s'intensifie progressivement pour permettre la remobilisation des résidus d'évaporites ainsi que les réactions chimiques. Il est plausible de se demander si celles-ci ne provoquent pas une accentuation de la pression des fluides. Ces phénomènes paraissent cycliques. Dans un dernier stade, exclu du cycle, un relâchement de la pression fluide est illustré par des remplissages vadoses.

c) Structures dans les filons

Les laminations et les plis dans les filons évoquent des structures de flux car elles épousent parfois la forme des conduits ou des fragments. Cependant l'orientation des laminations est souvent proche de l'horizontale démontrant ainsi leur origine sédimentaire tardive.

d) Cornieules monogéniques et polygéniques

Les cornieules polygéniques montrent toujours des caractéristiques ainsi qu'une localisation superficielle qui suggèrent une association intime, parfois virtuelle, avec le glaciaire avoisinant. Cette association peut s'interpréter comme le résultat de phénomènes de dissolution des terrains triasiques dans un environnement de glaciers. Dans l'état actuel de nos connaissances ceci confirme l'utilité de distinguer, comme déjà relevé par DEBELMAS et al. (1976), cornieules polygéniques et cornieules monogéniques. Toutefois la nature très similaire de la matrice de ces brèches, leur contact progressif, l'état très peu déformé des calcites en mosaïque, l'importance des réactions de dédolomitisation et d'oxydation³⁾ ainsi que les structures sédimentaires suggèrent une origine assez tardive, plutôt superficielle, également pour les cornieules monogéniques. Néanmoins des stades plus précoces de la fracturation ne peuvent être exclus.

VIII. Conclusions

Du point de vue de la géologie alpine, une conception intuitive serait de considérer ces phénomènes comme initiateurs des charriages alpins. Cependant, les considérations qui précèdent ainsi que de nombreuses observations dans les Alpes suisses apportent nombre

³⁾ Les réactions de dédolomitisation sont couramment considérées (en sédimentologie) comme associées à des conditions physico-chimiques caractéristiques des eaux superficielles (SCHMIDT 1965, YANATEVA 1955, DE GROOTS 1967, ...); cependant, quelques rares auteurs décrivent ces réactions dans des conditions hydrothermales (FAUST 1949) ou d'enfouissement (BUDAI et al. 1984).

d'arguments en faveur d'une origine tarditectonique (relâchement des contraintes) voire très récente (Quaternaire). Dans cet ordre d'idée, soulignons que la pratique d'injections (géotechnique) dans les grands sites de barrages, s'accompagne fréquemment de claquages (ouverture de discontinuités) pour des pressions d'injection relativement faibles (quelques atmosphères). Donc, relier ces faits, ou du moins une partie, à des phénomènes de dissolution et de fracturation tardifs des dolomies associées aux évaporites triasiques, s'avère être une nouvelle hypothèse de travail raisonnable (glacio-tectonique, par exemple). Finalement et d'une manière générale, l'importance des phénomènes tardifs oblitère tellement les faits antérieurs qu'il faut se montrer très circonspect quant au rôle actif des cornieules (séparé de celui des évaporites) lors des charriages alpins. En d'autres termes, la présence de cornieules monomictes ou polymictes et de dolomies cloisonnées ne peut être utilisée systématiquement, dans l'état actuel de nos connaissances, comme un argument en faveur d'une surface de décollement. Conjointement, il paraît naturel de considérer la fracturation hydraulique comme un processus possible de bréchification sans pour autant la relier nécessairement à une origine tectonique.

Remerciements

Je remercie la fondation Georgine Claraz pour l'aide financière de ce travail. Que tous ceux qui ont contribué par la discussion et leurs conseils à l'élaboration de ce travail, tout particulièrement H. Badoux, J. L. Epard, A. Escher, H. Masson, A. Pfiffner et H. P. Laubscher, lecteurs attentifs et critiques du manuscrit, trouvent ici l'expression de mes remerciements et de ma gratitude.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRÉ, F. (1983): Pétrologie structurale et pétrogenèse des formations plutoniques septentrionales du Massif des Ballons (Vosges, France). – Thèse 3e cycle, Nancy I.
- BAUD, A. (1984): Histoire naturelle des calcaires de St-Triphon. – Thèse de doctorat, Lausanne, inédit.
- BRÜCKNER, W. (1941): Über die Entstehung der Rauhawacken und Zellendolomit. – *Eclogae geol. Helv.* 34, 117–134.
- BUDAI, M. J., KYGER, C., LOHMANN, & OWEN, R. M. (1984): Burial Dedolomite in the Mississippian Madison Limestone, Wyoming and Utah Thrust Belt. – *J. sediment. Petrol.* 54/1, 276–288.
- CHAPMAN, R. E. (1976): *Petroleum geology: a concise study*. – Elsevier, Amsterdam.
- CORNELIUS, H. P. (1927): Über tektonische Breccien, tektonische Rauhawacken und verwandte Erscheinungen. – *Cbl. Mineral. Geol. Paläont.* [Abt. B.], p. 120–130.
- DEBELMAS, J. (1974): *Géologie de la France*, vol. II. – Doin, Paris.
- DEBELMAS, J. et al. (1976): Idées actuelles sur les cargneules alpines. – *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, h.s. 4, 195–201.
- DZULYNSKI, S. (1976): Hydrothermal Karst and Zn-Pb Sulfides Ores. – *Ann. Soc. géol. Pol.* 46/1–2, 217–230.
- FALLOT, P., et al. (1954): Carte géologique détaillée de la France au 1:50 000. Feuille 920: St-Etienne-de-Tinée.
- FALLOT, P., et al. (1967): Carte géologique détaillée de la France au 1:50 000. Feuille 947: St-Martin-de-Vésubie.
- FAURE-MURET, A. (1955): Etude géologique sur le Massif de l'Argentera-Mercantour. – *Mém. Carte géol. France*.
- FAUST, G. T. (1949): Dedolomitization, and its relation to a possible derivation of a magnesium-rich hydrothermal solution. – *Amer. Mineralogist* 34, 789.
- GIGNOUX, M. (1950): *Géologie stratigraphique*. – Masson éditeur.
- GRANDJAQUET, C., & HACCARD, D. (1975): Analyse des sédiments polygéniques néogènes à faciès cargneules associés à des gypses dans les Alpes du Sud. Extension de ce faciès au pourtour de la Méditerranée occidentale. – *Bull. Soc. géol. France* (7), 17/2, 242–249.
- GROOT, K. de (1967): Experimental Dedolomitization. – *J. sediment. Petrol.* 37, 1216–1220.
- GUILLAUME, A. (1969): Contribution à l'étude géologique des Alpes Liguro-piémontaises. – *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon* 30, 271–658.

- GUTH, P. L. (1982): Limitations on the role of pore pressure in gravity gliding. – *Bull. geol. Soc. Amer.* 93, 606–112.
- LEINE, L. (1971): Rauhacken und ihre Entstehung. – *Geol. Rdsch.* 60, 488–524.
- MASSON, H. (1972): Sur l'origine de la cornieule par fracturation hydraulique. – *Eclogae geol. Helv.* 65/1, 27–41.
- MASSON, H., & BAUD, A. (1976): Déformation ductile et bréchification le long du plan de chevauchement de l'écaïlle de la Gummfluh (Préalpes médianes rigides, Suisse). – *Eclogae geol. Helv.* 69/2, 471–472.
- MÜLLER, W. H. (1982): Zur Entstehung der Rauhacke. – *Eclogae geol. Helv.* 75/3, 481–494.
- MURPHY, F. C. (1984): Fluidized breccias: a record of brittle transition during ductile deformation. – *Tectonophysics* 104/3314, 325–350.
- PHILLIPS, W. J. (1972): Hydraulic Fracturing and Mineralization. – *J. geol. Soc. (London)* 128, 337–359.
- PROPACH, G. (1976): Models of filter differentiation. – *Lithos* 9, 203.
- REYNOLDS, D. L. (1954): Fluidization as a geological process and its bearing on the problem of intrusives granites. – *Amer. J. Sci.* 252, 577–614.
- SCHMIDT, V. (1965): Facies, diagenesis, and related reservoir properties in the Gigas beds (Upper Jurassic), northwestern Germany. In: PRAY, L. C., & MURRAY, R. C. (Ed.): Dolomitization and limestone diagenesis: a symposium (p. 124–168). *Spec. Pap. Soc. econ. Paleont. Mineral.* 13.
- SECOR, D. T. (1965): Role of fluid pressure in jointing. – *Amer. J. Sci.* 263, 633–646.
- VERNET, J. (1967): Le massif de l'Argentera. – *Géol. alp. Trav. Lab. Géol. Grenoble* 43, 193.
- WARRAK, M. (1974): The petrography and origin of dedolomitized, veined or brecciated carbonate rocks, the "cornieules" in the Fréjus region, French Alps. – *J. geol. Soc. (London)* 130, 229–247.
- YANAT'ÉVA, O. K. (1955): Effect of aqueous solutions of gypsum on dolomite in the presence of carbon dioxide. – *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 101, 911–912.

Manuscrit reçu le 9 mars 1985

Révision acceptée le 15 juillet 1985

