

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 81 (1988)
Heft: 2

Artikel: Nouvelles observations sur les cornieules en Suisse occidentale
Autor: Jeanbourquin, Pascal
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-166191>

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: 18.02.2026

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 81	Nr. 2	Pages 511–538	Bâle, Août 1988
---------------------	---------	-------	---------------	-----------------

Nouvelles observations sur les cornieules en Suisse occidentale

Par PASCAL JEANBOURQUIN¹⁾

ABSTRACT

“Cornieules” (= Cargneules or Rauhwackes) are very porous and cavernous dolomitic breccias with a calcitic matrix or cement. They occur in Triassic rocks of the Alpine belt, generally near thrust surfaces.

Their genesis is a controversial topic: are they Triassic sedimentary deposits, tectonic breccias or late dissolution breccias?

The studied calcitic “cornieules” show few signs of tectonism such as folds and cleavages. Karst structures are rare although very strong calcitisation overprints tectonic cements or dolomitic fault gouge.

Dolomitic “cornieules” are closely linked with karstic (or paleokarstic) structures like cavities and dykes filled with sedimentary deposits. Products are dedolomitized breccias and collapse breccias with silts, sands and sometimes trapped extraclasts. Recent post-tectonic dissolution and cimentation by calcite (here called *cornieulisation*) seem to be the dominant processes in the genesis of these rock types.

Nevertheless, in most (but not in all) cases, the original shape and composition of Triassic sediments and their tectonisation in Alpine times are factors that have determined the succeeding pattern of chemical modification in the rocks. Thrusting produces tectonic breccias such, for example, dolocataclasites or dolomitic fault gouge, which undergo subsequent preferential calcitisation. Sometimes, they prefigure the hive-like texture of dolomitic cornieules. Generally, the anhydritic sediment is responsible for the geologic and tectonic localisation of the “cornieules”; sulfate rocks, through their ductility, favour décollement at that level, and their solubility promotes chemical changes.

ZUSAMMENFASSUNG

«Cornieules» (= Rauwacke oder Cargneules) sind sehr poröse Dolomit-Breccien mit Hohlräumen und einem Calcizement. Sie kommen in der Trias der Alpen vor, im allgemeinen in der Nähe von Überschiebungsflächen.

Ihre Entstehung ist seit je umstritten: Handelt es sich um Sedimente der Trias, tektonische Breccien oder späte Verwitterungsprodukte?

Die untersuchten calcitischen Rauhwacken enthalten kaum Anzeichen tektonischer Verformungen, wie z. B. Falten oder Schieferungen. Karstgefüge sind selten, obwohl Calcitisierung tektonischen Zement oder Dolokakirite überprägt.

Die dolomitischen Rauhwacken sind eng an Karst-(oder Paläokarst-)Gefüge gebunden, wie z. B. Hohlräume und sedimentäre Gänge. Es resultieren dedolomitisierte oder Kollaps-Breccien, verbunden mit Siltsteinen, Sanden und manchmal einzelnen Extraklasten. Rezente posttektonische Lösungsvorgänge und Calcizemente (die *cornieulisation* in unserem Sinne) scheinen die dominierenden Prozesse in der Entstehung dieser Gesteinstypen zu sein.

Trotzdem sind in den meisten (aber nicht in allen) Fällen Form und Zusammensetzung der triadischen Sedimente und ihre alpine Tektonisierung Faktoren, welche die aufeinanderfolgenden chemischen Umgestaltungen des Gesteins bestimmen. Überschiebungen erzeugen tektonische Breccien wie z. B. Dolokataklasite, die ihrerseits bevorzugt calcitisiert werden. Diese zeigen vor allem die typische Wabenstruktur der dolomitischen

¹⁾ Institut de Géologie, Pérolles, CH–1700 Fribourg.

Rauhacken. Durchgehende Anhydritlagen im Ausgangsediment sind vor allem verantwortlich für die Lokalisierung der Rauhacken-Vorkommen. Das duktile Verhalten sulfathaltiger Gesteine erleichtert Abscherungen in solchen Niveaus, und ihre Löslichkeit verstärkt chemische Veränderungen.

Introduction

Cet article résume les grandes lignes d'un travail de thèse consacré à l'étude des cornieules polymictes dans les Préalpes internes et l'Helvétique de Suisse romande (fig. 1) et à l'inventaire de leurs éléments. Cependant, au problème spécifique des cornieules polymictes se sont greffées, indissociables, toutes les questions soulevées par le terme *cornieule* (*cargneule* ou *Rauhacke*) ; à savoir celles ayant trait à la définition de ces roches ainsi que leur mode de formation.

La compilation de la littérature et l'expérience acquise sur le terrain montrent qu'une définition satisfaisante de *la cornieule* est illusoire. Par exemple, la brèche dolomitique de MASSON (1972) ne représente qu'une partie des cornieules couramment décrites dans la littérature ou mentionnées sur les cartes géologiques.

Ainsi, quelle que soit l'explication génétique adoptée, il est aisé de comprendre qu'elle ne s'appliquera souvent qu'à un type bien précis de cornieule. Différencier certains types, comme l'ont fait bien des géologues (par exemple LEINE 1971), s'avère donc nécessaire. Cependant, il n'est guère utile de présenter une classification génétique (comme par exemple AMBERGER (1960): *cargneules* polygéniques d'origine sédimentaire, roches à faciès *cargneule* d'origine tectonique, *cargneules* d'origine secondaire et *cargneules* de remaniement quaternaire), alors que l'origine des cornieules est très discutée.

Pour lever cette ambiguïté, il serait bon, premièrement, de donner au mot *cornieule* un sens *pratique* (de *terrain*) sans l'affubler automatiquement d'une connotation génétique; puis de proposer des classes (morphotypes, minéralotypes) qui serviront de fil conducteur sur le terrain. Comme l'histoire de ces roches et leur aspect final sont intimement liés, il sera possible d'adopter une position justifiable pour leur donner un âge et une signature sur la carte géologique.

Historique

En raison de cette mauvaise définition, la controverse sur le mode de formation des cornieules a toujours été grande. Les théories varient autant pour l'origine de la brèche (fracturation et cimentation) que pour l'époque de la genèse.

Très schématiquement, trois tendances principales se dessinent:

- origine sédimentaire triasique;
- origine purement tectonique;
- origine par altération.

L'origine sédimentaire triasique des cornieules (éventuellement par lessivage d'évaporites) est défendue par de nombreux auteurs comme par exemple: SCHARDT (1884 et 1885), TERMIER (1894), RENEVIER (1890 et 1891), JEANNET (1913), PARÉJAS (1922), GAGNEBIN (1930), CADISCH (1934 et 1953), COLLET (1910 et 1943), BOTTERON (1961), WIESENER (1971).

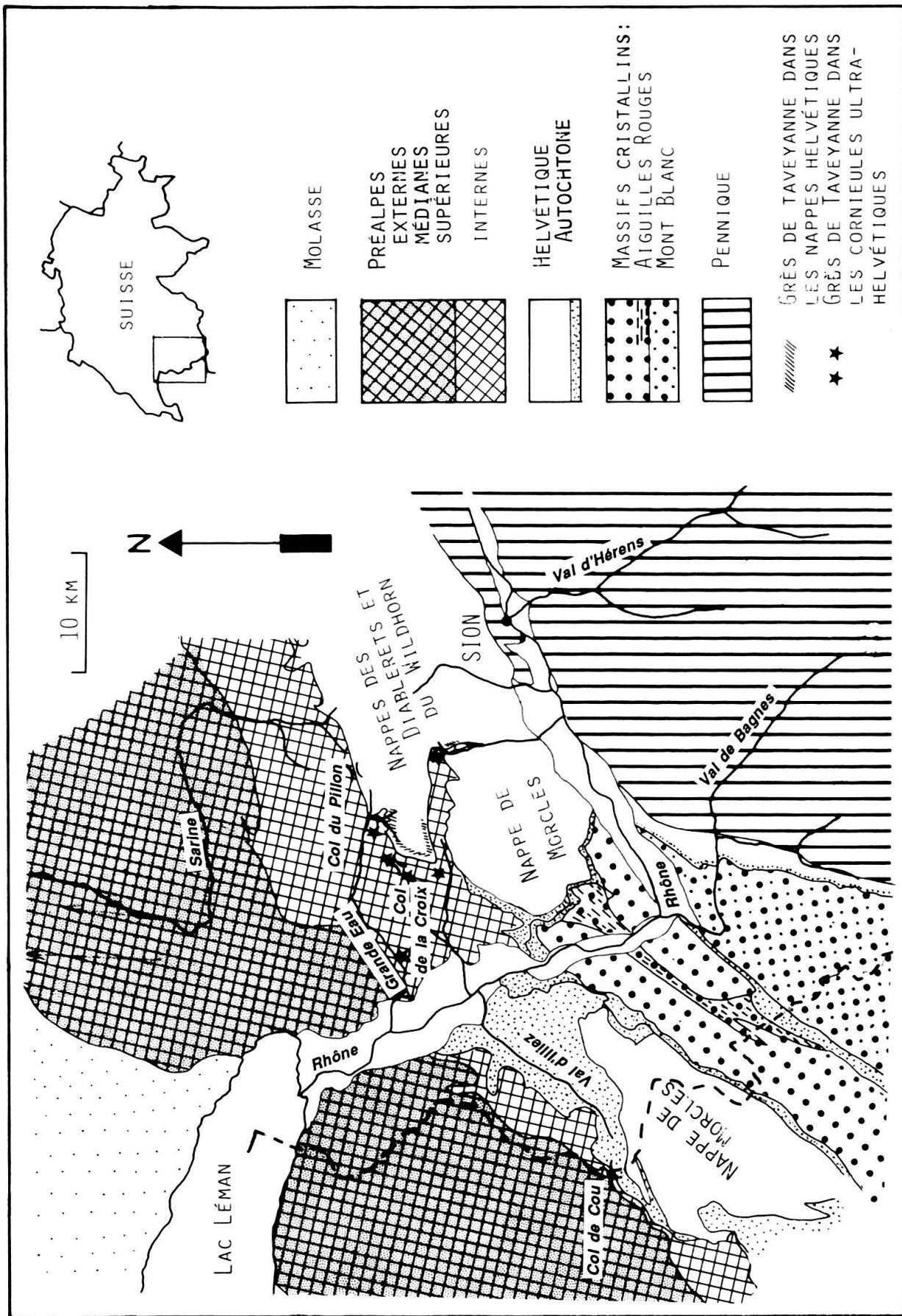


Fig. 1. Situation des principales unités tectoniques. Les hachures et les étoiles soulignent la relation entre les éléments de grès de Taveyenne dans la cornieule et le bassin versant de ceux-ci.

Leur argument principal est l'apparence stratiforme de certaines cornieules qui forment des couches en concordance avec celles des terrains triasiques (par exemples RENEVIER 1890).

Notons cependant que, dans les Préalpes romandes, certaines cornieules forment des structures nettement sécantes sur la stratigraphie alors que d'autres sont légèrement transverses, biseautant les couches triasiques (par exemple BAUD 1972).

L'origine purement tectonique de ces roches est soutenue par un deuxième groupe d'auteurs. Certains géologues voient dans les mouvements tectoniques alpins la cause principale de la genèse des cornieules, parfois en liaison avec la présence d'anhydrite (BROUWER 1926, DE RAAF 1934, GENGE 1952 et 1958, JÄCKLI 1941, LEINE 1962, 1968 et 1971). D'autres attribuent spécifiquement à la cornieule un rôle actif dans la translation des nappes alpines: les fluides sous forte pression provoquent la fracturation hydraulique des dolomies (MASSON 1972 et 1979, MASSON et al. 1980a, METZELTIN & VEZZOLI 1977 ...); les niveaux ainsi éclatés peuvent alors évoluer en «bouillies» sous forte pression (Masson et al. 1980b) et sont parfois injectés dans les surfaces de chevauchement. Ces boues ont alors pu incorporer des éléments étrangers (MASSON 1972). Selon cette hypothèse, l'étude de ces éléments était susceptible de contribuer à la connaissance de la cinématique alpine comme l'avance MASSON (1979 et 1980a). Cependant, selon MÜLLER (1982), un tel processus de fracturation hydraulique n'aboutit pas à la formation de cornieules mais à celles de «Kakirite» ou de «Kataklasite».

Les principaux arguments des auteurs sont *d'ordre géométrique*:

- localisation fréquente, bien que non exclusive, au voisinage des plans de chevauchement;
- disposition parfois nettement discordante par rapport à la stratification;

ou *temporels*:

- absence de galets de cornieule dans les conglomérats alpins antérieurs au charriage des nappes;
- inclusion possible dans la cornieule de fragments de roches post-triasiques, voire même de roches affectées par le métamorphisme alpin, pris dans une matrice non métamorphique;

ou encore *texturaux*:

- la disposition du ciment calcaire en cloisons planes, plus ou moins parallèles à un petit nombre de directions constantes, et délimitant des fragments ou des chambres polyédriques.

Pour MASSON (1972), la fracturation hydraulique permet d'élucider certaines difficultés comme:

- la disposition parfois stratiforme et concordante de la cornieule;
- la juxtaposition en alternance de la cornieule avec des roches moins résistantes qui ne présentent aucune trace d'écrasement ou de fragmentation, ainsi que la présence d'éléments tendres (argilites) souvent arrondis, à côté de roches très dures;
- la nature calcaire du ciment, alors que la majorité des éléments sont dolomitiques, fait en opposition avec la conception habituelle d'une brèche tectonique.

Une troisième tendance «altérationniste» réunit les auteurs (FAVRE & SCHARDT 1887, BRÜCKNER 1941, ELLENBERGER 1954 et 1958, HEIERLI 1955, DUPLAIX & FALLOT 1960a et b, RICOUR 1962, DEBENEDETTI & TURI 1975, EMRE 1977, RICHARDS & VEARNCOMBE 1984) qui invoquent la dissolution d'assises évaporitiques ou dolomitiques (ou la dédolomitisation: VEARNCOMBE 1982 et 1985) après l'orogénèse alpine, principalement pen-

dant le Quaternaire. BRÜCKNER (1941) pense même que la fracturation peut résulter en partie du gonflement de l'anhydrite («Quellung»).

Leurs arguments sont:

- une association presque omniprésente de la cornieule avec le gypse ou des séries évaporitiques;
- une disparition de la cornieule en profondeur constatée lors du creusement de plusieurs tunnels et autres ouvrages en profondeur (DE CHARPENTIER 1848, BRÜCKNER 1941, ELLENBERGER, comm. or., HEIERLI 1955);
- l'inclusion de fragments schisteux post-triasiques prouvant au moins un stade de déformation ductile avant leur incorporation;
- la signature isotopique de l'oxygène et du carbone.

Notons que ces deux dernières hypothèses, *bréchifications tectoniques* et *transformations quaternaires*, sont souvent couplées. Les modifications minéralogiques tardives affectent des formations tectonisées lors des chevauchements alpins (par exemple: BRÜCKNER 1941, CORNELIUS 1927 et 1935, GENGE 1952 et 1958, JÄCKLI 1941, WARRACK 1974, GROSCURTH & REUTTER 1977 et 1978, VEARNCOMBE 1982 et 1985, ou pour certains types de BRUNNSCHWEILER 1948).

MÜLLER (1982) souligne le rôle capital joué par l'anhydrite, dont les propriétés ductiles contrastent avec celles des niveaux dolomitiques plus compétents.

D'autres auteurs nuancent leurs hypothèses selon le type de cornieule (DEBELMAS et al. 1978, JAILLARD 1982, DETRAZ 1984) ou invoquent les trois théories présentées ci-dessus (BRUNNSCHWEILER 1948, AMBERGER 1960).

Il faut également citer l'hypothèse émise par GRANDJACQUET & HACCARD (1973 et 1975), PATTACCA et al. (1973), FEDERICI & RAGGI (1974) et BOURGEOIS (1979): certaines «cargneules» seraient des sédiments polygéniques néogènes associés au gypse dans des bassins intramontagneux, repris sous des chevauchements épiglyptiques, hypothèse dont un bon nombre de points ont été rejetés depuis par ARNAUD et al. (1976).

En résumé, cet historique reflète bien la complexité du problème et la confusion qui règne dans son approche, autant du point de vue de la définition de la cornieule que de sa genèse. Nous nous proposons ici de présenter une classification et un modèle comme base de travail et de discussion.

Propositions

Définition et classification

Rappelons brièvement les éléments constitutifs d'une brèche de type cornieule.

1. Éléments ubiquistes: *intraclastes de dolomie* (dolomicrite à dolomicrosparite) avec fantômes de bioclastes, oolites, pellets, et parfois de nombreuses veines remplies de ciment dolomitique propice à la calcitisation.
2. Éléments fréquents: *extraclastes* ou *intraclastes d'autres roches triasiques* telles que des argilites, des grès, des quartzites ou des schistes verts.
3. *Extraclastes des roches non triasiques*, comme par exemple granites, grès permien, calcaires du Crétacé, grès du flysch.
4. Extraclastes de type cornieule.

La description de la *matrice* est souvent rendue difficile en raison de sa diversité en du très mauvais tri qui caractérise ces brèches; elle se résume, en général et très schéma-

tiquement, à une microbrèche carbonatée riche en résidus insolubles. Dans bien des cas, la liaison entre les différents fragments est faite par des veines à *ciment* de calcite sparitique. La distinction entre ces deux phases de liaison est fréquemment malaisée.

Comme hypothèse de travail, nous proposons de séparer les cornieules en deux groupes de brèches, dont les relations avec les autres classifications sont esquissées dans la figure 2. Selon leur proportion en carbonates calciques ou magnésiens, nous pouvons distinguer:

- cornieules dolomitiques/ou brèches dolomitiques à liant calcitique;
- cornieules calcitiques/ou brèches calcitiques.

Leurs traits communs sont:

- une phase de liaison «calcaire»;
- un aspect vacuolaire très variable résultant de la dissolution «superficielle»;
- une localisation dans les étages triasiques (avec quelques exceptions), souvent à proximité d'évaporites.

Ces deux classes ont des caractères suffisamment distincts pour les séparer dans une étude détaillée (principalement à l'échelle de l'affleurement):

- Les *brèches dolomitiques*, plus ou moins grossières, contiennent une proportion importante d'éléments dolomitiques observables en surface ou à quelques dizaines de centimètres de profondeur. Elles sont *monomictes* lorsqu'elles sont composées principalement de fragments dolomitiques avec quelques esquilles d'argilites (cornieules monomictes) ou *polymictes* lorsqu'elles contiennent une gamme d'éléments de nature pétrographique diverse (du socle antétriasique au flysch tertiaire). Leur couleur est gris-beige à gris-brun, plus rarement orangé. La texture de ces cornieules dolomitiques est grossièrement vacuolaire; leur aspect est souvent massif.
- Les *brèches calcitiques*, en général fines, sont constituées soit d'un amalgame de grains calcitiques (cornieule calcitique *monomictes*), soit d'un mélange de ces derniers avec des fragments d'argilites (cornieule calcitique *dimictes*) ou de quartz, quartzite ou grès triasique (cornieule calcitique *polymictes*); de gros fragments dolomitiques y sont rares.

Leur couleur est en général beige-jaune à jaune-ocre prononcé. La texture de ces cornieules calcitiques est très finement grenue et vacuolaire; leur aspect est souvent fragile.

Un modèle

Un modèle nécessite forcément une forte simplification (fig. 3). Le but de cette vision schématique est d'intégrer les faits et de pondérer leur interprétation. Comme hypothèse de travail, nous retenons de l'historique les trois aspects fondamentaux de la genèse des cornieules, à savoir:

- une origine sédimentaire triasique;
- une origine tectonique;
- une origine par altération tardive;

en discutant leur rôle respectif dans la région étudiée.

BRUNNSCHWEILER 1948	LEINE 1968 1971	MASSON 1972	RIEDMÜLLER 1977	GROSCURTH & REUTTER 1977 , 1978	DEBELMAS & al. 1978	JAILLARD 1984	JEANBOURQUIN 1986 cet article	CORNIEULES DOLOMITIQUES	CORNIEULES CALCITIQUES	BRECHES DOLOMITIQUES
Monomikte Trümmer Rauhwanke	Monomikte Rauhwanke	Cornieule monomictite et Micro- cornieule	Dolomit- Rauhwanke	Monomikte Rauhwanke	Cargneule monogénique	Cargneule monogénique	Cornieule monomictite catégorie 1	Cornieule dolomitique variétés bréchiques ou cloisonnées Dolomie cloisonnée	Cornieule polymictite catégorie 2	Dolo- cataclasite idem Brèche dolomitique idem
Polymikte Trümmer Rauhwanke	Polymikte Rauhwanke	Cornieule polymictite		Polymikte Rauhwanke (ungebändert) Sedimentäre Rauhwanke	Cargneule polygénique	Cargneule polygénique + divers modes de dépôts quaternaires	Cornieule polymictite catégorie 2	Cornieule polymictite	Cornieule dimictite catégorie 3	
Fetzenrauhwanke	Dimikte Rauhwanke		Glimmer- Rauhwanke Kalk- Rauhwanke	Dimikte Rauhwanke .			Calcaire trituré jaune catégorie 4	Cornieule calcitique monomictite, dimictite, ou polymictite		
			Dolomit- brekzien							

Fig. 2. Tableau de comparaison des termes utilisés pour la classification des cornieules. Les nomenclatures de PARÉJAS (1922), cargneules pséphitiques, psammitiques et pélitiques, ou d'AMBERGER (1960) ne sont pas intégrables dans ce tableau.

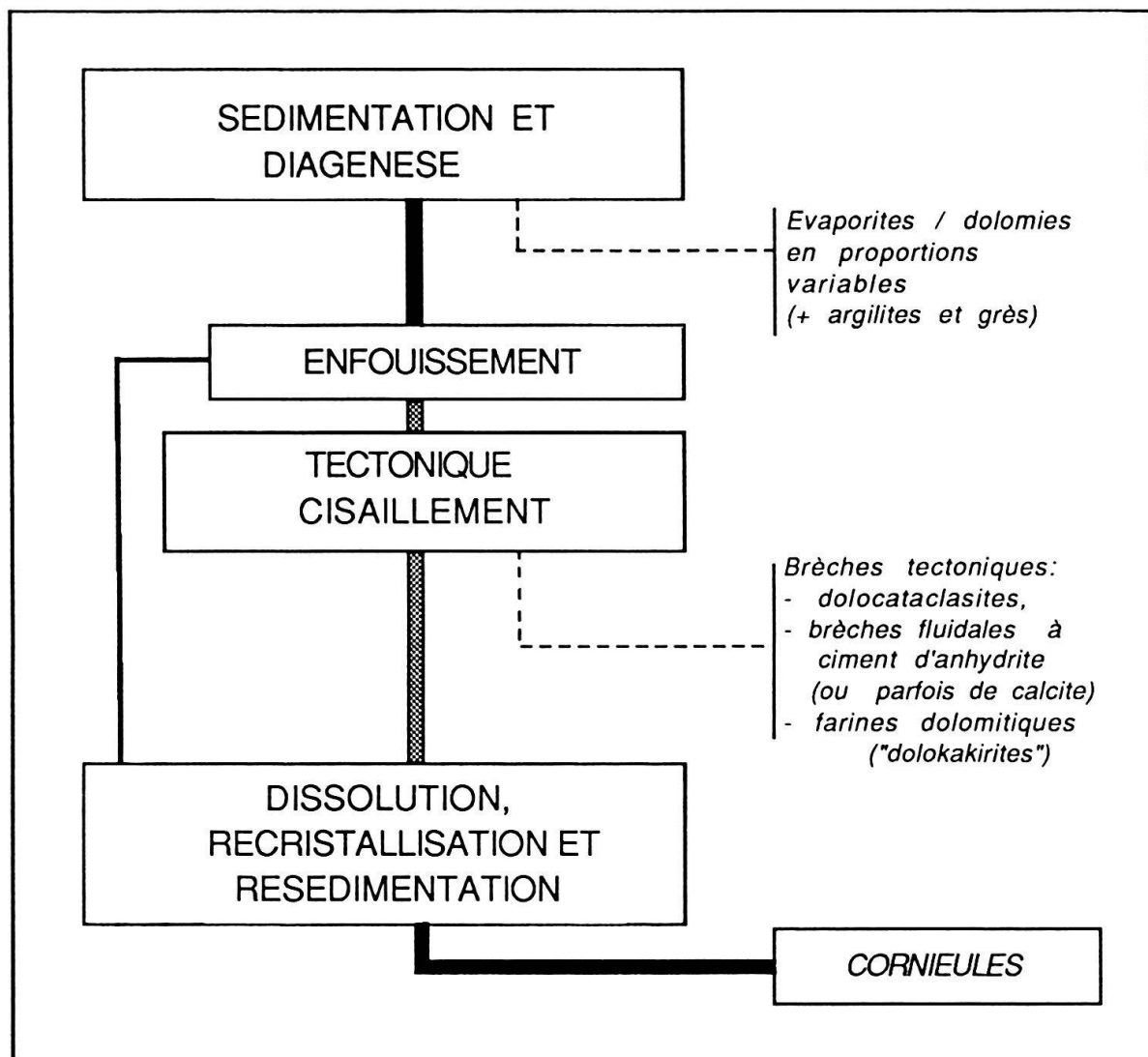


Fig. 3. Cornieules et phénomènes associés: un modèle.

Configuration originelle des dépôts sédimentaires au Trias (fig. 4)

La pétrographie en cathodoluminescence montre que seules les cimentations dolomitiques, dont résultent les dolomies, se sont déroulées à cette époque (AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988). Ainsi, le faciès cornieule, en tant que tel, ne peut être assimilé aux temps triasiques.

Néanmoins, c'est à cette étape que se déterminent certains décollements alpins, principalement par l'agencement des dépôts sédimentaires évaporitiques (fig. 4) et surtout par la présence d'anhydrite voire de halite. En effet ces matériaux très ductiles (MÜLLER 1982) vont très rapidement réagir au cisaillement.

Les études sur la sédimentologie des milieux évaporitiques actuels et anciens (par exemple: SHEARMAN 1975) contribuent à la compréhension des caractéristiques locales de certaines cornieules.

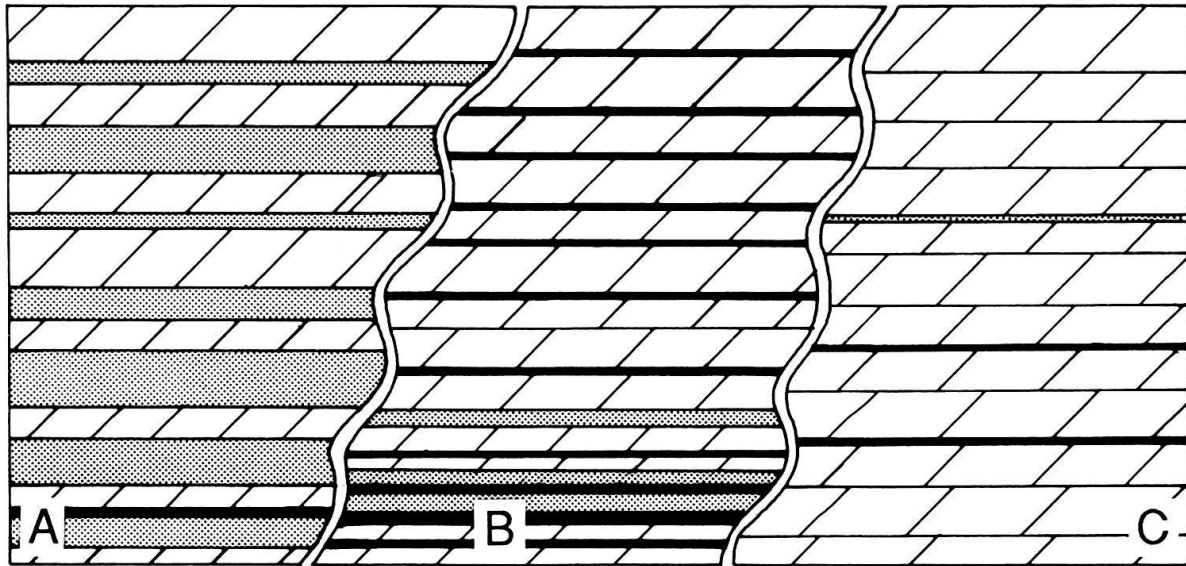


Fig. 4. Exemples de configurations originelles des dépôts sédimentaires triasiques.

A. Série évaporitique avec intercalations de dolomie. B. Série mixte riche en détritiques (grès et argilites). C. Série dolomitique avec de rares interlits de détritiques (argilite principalement) ou d'évaporites, éventuellement sulfates disséminés(?).

Impact de l'enfouissement et de la tectonisation sur les assises originelles (fig. 5)

Dans le cas de formations riches en dolomie (C+éventuellement B, fig. 4), la fracturation donne naissance à des brèches tectoniques. La pression fluide semble jouer un rôle important sinon capital. Les cimentations associées sont dolomitiques ou calcitiques et donnent naissance à des «dolocataclasites» (D, fig. 5) ou des brèches fluidales (E, fig. 5) (AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988). Si les cimentations sont faibles, voire inexistantes, il en résulte des brèches tectoniques dolomitiques et des farines dolomitiques («dolokakirites», «dolomitic fault gouge»).

Dans le cas d'assises riches en anhydrite (A, fig. 4), le résultat de la tectonisation est une brèche dolomitique à ciment d'anhydrite (F, fig. 5) ou une brèche d'argilites ou de schistes verts dans un ciment d'anhydrite (év. calcite) (G, fig. 5).

Dans la plupart des cas, le ciment des cornieules ne semble pas s'être formé lors de ces événements tectoniques, mais leur texture cloisonnée a pu y être préfigurée.

L'incorporation tectonique de roches étrangères au Trias est souvent mal documentée et son interprétation est parfois hâtive. Le problème reste donc ouvert de cas en cas.

De plus, toutes les fractures ne sont pas nécessairement d'origine tectonique mais peuvent aussi résulter de la gélifraction ou de surpression de fluides karstiques.

Surrection des assises et mise en équilibre des phases minérales

La pétrographie par cathodoluminescence (couplée à la microscopie traditionnelle: AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988) montre que les cornieules résultent d'intenses cimentations calcitiques, qui oblitèrent et scellent une dissolution importante des assises préexistantes. Nous proposons de regrouper ces phénomènes de dissolution et surtout

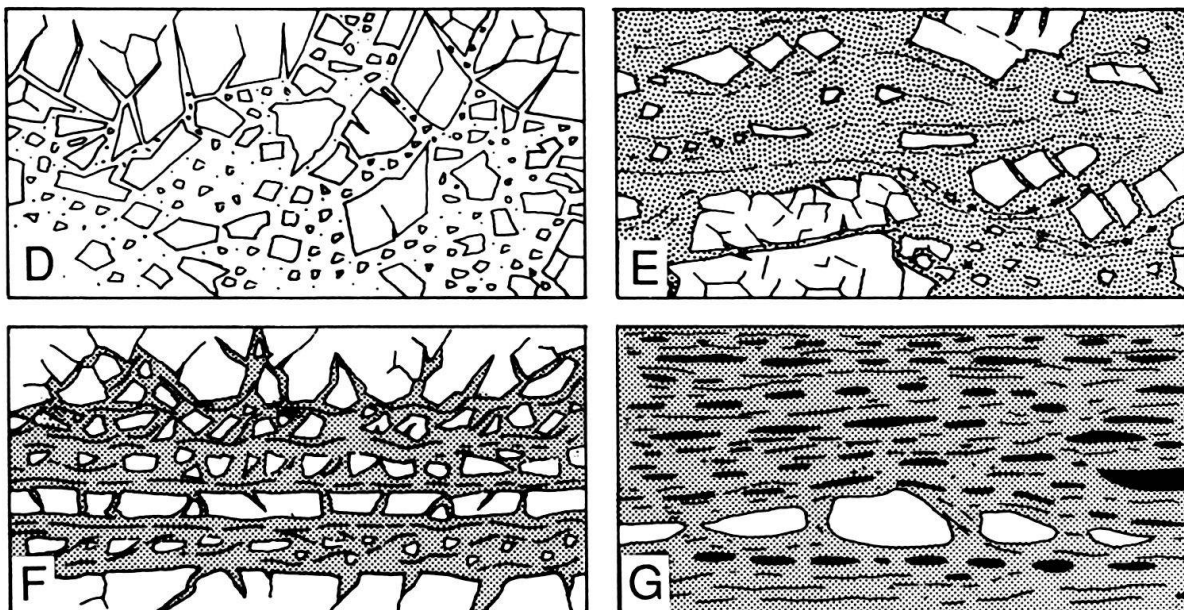


Fig.5. Quelques exemples de brèches tectoniques associées au Trias (cf. configuration originelle des dépôts, fig. 4).

D. «Dolocataclasites» à ciment de dolomite. E. Brèche tectonique fluidale à ciment de calcite. F. Brèche à ciment d'anhydrite et éléments dolomitiques. G. Brèche à ciment d'anhydrite (éventuellement de calcite) et éléments de schistes verts et dolomie.

de cimentation, sous le terme de *cornieulisation*. Il en résulte, entre autre, l'aspect porté typique des cornieules.

Toutes les formations décrites ci-dessus (fig.4 et 5) peuvent être affectées par ces phénomènes, dont l'intensité semble guidée par la perméabilité de fracture des assises et la solubilité relative des matières (anhydrite/gypse); la présence d'anhydrite accentue l'agressivité des solutions par rapport aux dolomies (apport de calcium et de sulfate(?)).

Dans la région étudiée, ces événements se sont déroulés après les grandes phases tectoniques de translation et/ou même jusqu'à nos jours.

A l'intense dissolution sont liés le développement de karst et l'apparition de sédiments fins parfois organisés, ou grossiers et mal triés.

La présente note se propose de décrire et d'éclaircir ces aspects de la cornieulisation.

Cornieules dolomitiques

Cornieules monomictes

Les cornieules monomictes, type le plus fréquent dans l'Helvétique et les Préalpes (fig. 1), sont plus rares dans le Pennique. Certaines roches décrites dans le Jura (Trias ou Jurassique supérieur) sont également très semblables à ce type.

Selon la granulométrie, ces roches sont appelées microcornieules pour les variétés fines, cornieules pour les types bréchiques riches en matrice (fig. 6B), cornieules cloisonnées ou encore dolomies cloisonnées (fig. 6A) si le liant se résume à des cloisons plus ou moins épaisses.

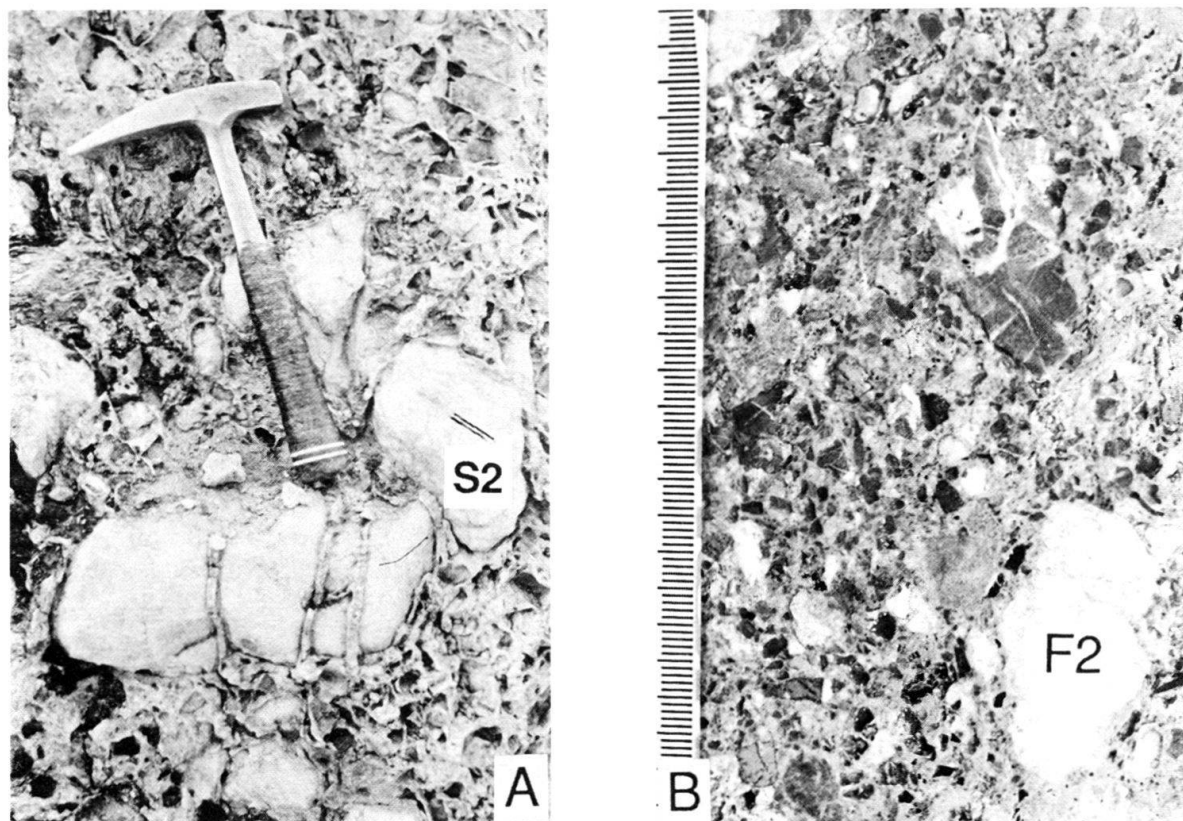


Fig. 6. A. Cornieule dolomitique monomictite d'aspect cloisonné. Les cloisons de sparite qui recoupent la schistosité principale (soulignée par S2) des dolomies, prouvent leur postériorité par rapport aux mouvements alpins. Pennique à Zermatt (VS).

B. Section sciée de cornieule dolomitique monomictite d'aspect bréchique avec des éléments de dolomie plus ou moins calcitisée gris-beige ou blanc-crème dans une matrice microbréchique complexe (F2 = témoins de brèche tectonique calcitique). Lac de Fully (VS).

Parfois elles se développent à partir des dolomies, par intensification graduelle d'un réseau de fractures à remplissage calcitique. Il est alors possible d'observer la progression:

dolomie saine—dolomie cloisonnée—cornieule cloisonnée—cornieule—microcornieule.

Cependant, dans d'autres situations, le contact entre ces différentes sous-catégories peut également être franc, tranché.

Dans les *Préalpes*, la forme exacte de ces dépôts de cornieule monomictite est difficile à observer, à cause des affleurements par trop discontinus. Le passage au gypse, avec lequel ces roches sont souvent liées, est caractérisé par une zone d'intense dissolution, encore actuelle. Il s'y développe, même en subsurface, des structures karstiques avec des conduits et des poches, où s'accumulent des boues, des sables et des graviers. Il n'est pas rare d'y trouver des galets morainiques piégés (comme dans l'ancienne galerie des mines de Salin, dans la Grande Eau, environ 60 m sous la surface).

Les cornieules monomictites sont aussi associées très intimement aux cornieules polymictes.

Dans l'*Autochtone*, les cornieules forment, d'une part, des couches assez régulières entre les dolomies et les brèches calcitiques ou les argilites, d'autre part elles apparaissent sans ordre apparent au sein des dolomies. Quoiqu'aucune grande masse d'évaporite ne soit actuellement observable sur le massif des Aiguilles Rouges, des traces de sulfates calciques ont été repérées en veinules dans les argilites (LEUENBERGER 1988). L'influence des sulfates ne peut donc être exclue.

La proportion des fragments dolomitiques du Trias atteint 90 à 100%. Ce sont des dolomicrites à dolosparites gris-beige ou gris clair, rarement gris foncé où il est parfois possible de reconnaître des fantômes de tests ou d'oolites. Sur le terrain, ces dolomies sont parcourues irrégulièrement de veinules de dolomite blanche. L'observation de lames minces en cathodoluminescence révèle que cette fracturation à cimentation dolomitique est généralisée et localement très intense, quoique souvent invisible à l'œil nu (fabriques 4 et 5 caractéristiques des «dolocataclasites» de AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988). Ces brèches dolomitiques, à structure souvent cloisonnée, seront ultérieurement altérées, dissoutes et calcitisées pour donner les cornieules.

Les autres roches courantes des dépôts sédimentaires triasiques (argilites, grès ...) peuvent représenter jusqu'à 10% des éléments.

Des morceaux de cornieule sont fréquemment reconstitués au sein de l'amalgame.

Le *liant*, observé sur le terrain, est principalement calcaire. Dans les *roches de type cloisonné*, les parois sont composées d'un remplissage essentiellement calcitique. Les cristaux de calcite sont translucides, non mâclés, en général sans traces de déformation. Les cloisons faites de matériel microbréchique sont rares (JEANBOURQUIN 1985).

Dans les régions où la déformation pénétrative des roches est bien marquée (par exemple à Zermatt ou dans le Val d'Hérens pour le Pennique, au Nufenen ou au Lukmanier pour l'Helvétique des Alpes centrales), les cloisons de calcite pure ne montrent aucune trace de déformation. De plus, elles recoupent perpendiculairement la schistosité principale S2. La formation de ces veines est donc indubitablement postérieure aux grandes phases de déformations alpines D I et D II de STECK (1984) et sont donc totalement indépendantes des principaux décollements alpins.

Dans les *roches d'aspect plus bréchique*, la phase de liaison est le plus souvent une matrice de microbrèche fine, parfois très riche en résidus insolubles. Argiles et quartz peuvent former jusqu'à 50% de cette matrice, phase de liaison qui est souvent difficile à caractériser granulométriquement en raison du très mauvais tri des éléments.

La matrice microbréchique des cornieules monomictes est parfois organisée en fines laminations peu inclinées, souvent nettement discordantes par rapport à l'orientation actuelle des couches. Il est aussi fréquent d'observer des structures sédimentaires centimétriques à décimétriques au sein de sédiments fins varvés, qui obstruent des conduits karstiques (exemples: fig. 10, 11, 12 et 13).

Parallèlement, l'étude des ciments calcitiques des cornieules par cathodoluminescence révèle aussi la nature très récente de ces ciments et leur lien privilégié avec la dissolution. Cette approche, couplée aux arguments de terrain présentés ci-dessus, permet de rejeter une genèse syntectonique de ces brèches et de leur ciment pour privilégier l'hypothèse de la dissolution (AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988). Cette technique de luminescence permet également de mettre en évidence deux phases précoces de fracturation, antérieures à la formation des cornieules: l'une à cimentation dolomitique (fabrique 4 et 5), l'autre à ciment de calcite (fabrique 7). Elles conduisent à la formation de brèches

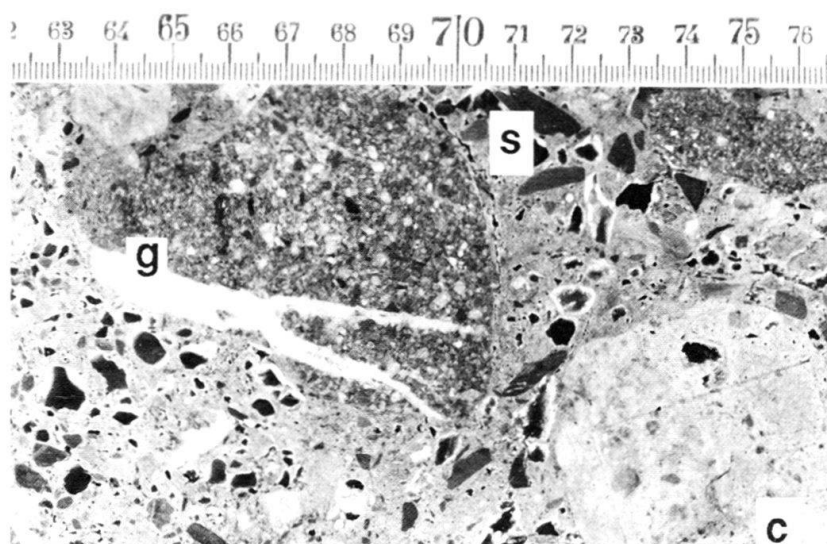


Fig. 7. Section sciée de cornieule dolomitique polymictite à éléments post-triasiques très divers, par exemple: g = Grès de Taveyanne, s = Schistes à Globigérines, c = boules de cornieule dolomitique reconstituées (2 phases). Ultrahelvétique supérieure (nappe de Bex) au col de la Croix (VD).

tectoniques («dolocataclasite» et brèche tectonique fluidale de AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988) très fréquentes en éléments dans les cornieules. La déformation des cristaux de calcite, observée par MAYERAT (1986) dans l'Helvétique du Val Medel, en sont probablement un témoin.

Cornieules polymictes

Aux fragments dolomitiques de la cornieule monomictite s'ajoutent, parfois dans de fortes proportions (70–80%), des éléments étrangers au Trias: ces roches sont alors appelées *cornieules polymictes* (fig. 7).

Dans le cadre de cette étude, les cornieules polymictes sont plus rares que les variétés monomictes. Les principales localités (fig. 1) ont été observées dans l'Ultrahelvétique (nappe de Bex–Laubhorn) et dans la Zone Submédiane. De rares pointements apparaissent dans les Préalpes Externes, les Préalpes médianes, l'Helvétique et le Pennique.

La localisation des cornieules polymictes est très intimement associée à celle des cornieules monomictes et des évaporites. Les passages entre zones polymictes et monomictes sont généralement graduels et diffus, sans limites tranchées.

Cartographiquement (JEANBOURQUIN 1986, fig. 15) les affleurements sont dispersés et reflètent plus une dépendance morphologique (en bordure de grandes masses de gypse), qu'une localisation sur d'éventuelles cicatrices tectoniques.

De plus, dans les Préalpes Internes, l'étude détaillée de la nature et de l'origine de chaque sorte de galet a démontré (JEANBOURQUIN 1986) le fait capital suivant: *l'assemblage des galets non triasiques de la cornieule est parfaitement comparable à celui des galets des dépôts quaternaires environnants.*

Cette corrélation est évidente en présence des moraines locales ou rhodaniennes, soit sur les flancs chablaisiens de la vallée du Rhône, soit dans l'Ultrahelvétique entre la Sarine et l'Avançon. Cette relation peut égale-

ment être mise en évidence avec d'autres dépôts quaternaires tels que des alluvions ou des éboulis; la répartition des galets de Grès de Taveyanne (g, fig. 7) dans la cornieule est un exemple démonstratif: leur présence, en plus des autres roches helvétiques, est intimement liée aux bassins versants de ces flyschs à matériel volcanique (principalement dans les nappes des Diablerets et de Morcles) (fig. 1).

Par conséquent, la source de ces éléments est constituée de sédiments quaternaires récents tels que moraines, alluvions ou éboulis. Leur incorporation dans la cornieule est encore plus jeune que ces sédiments, et ne peut pas découler du mouvement de nappes alpines comme le supposerait l'hypothèse de l'incorporation tectonique.

Ainsi, la forme des éléments dépend de leur provenance. Il devient alors évident d'observer des galets arrondis, polis, ou même striés dans les cornieules polymictes.

Dans la vallée de la Grande Eau, des éléments de quartzite blanc (extraclastes triasiques) font exception à cette «règle du Quaternaire». Nous les interprétons comme le résultat de la désagrégation quaternaire de lames de quartzite pincées dans le chevauchement basal des Préalpes médianes rigides. Rappelons que des lames de quartzite sont fréquentes à la base des écailles de Préalpes médianes rigides ou de la nappe de la Brèche: Taninge (Fr.), col de Cou et Pointe de l'Au (val d'Illeiez), Chalex et Salin (Chablais vaudois), Gummfluh (Pays d'Enhaut).

Une autre caractéristique singulière de ces brèches polymictes est l'importance des remaniements de cornieules, dans l'ordre de fréquence:

- cornieules dolomitiques monomictes (fig. 7),
- cornieules calcitiques dimictes,
- sédiments fins varvés,
- cornieules dolomitiques polymictes (éléments peu variés).

Certaines fois, trois phases successives (c, fig. 7) de remaniement sont observées. Ils témoignent donc de l'aspect très évolué de la cornieule polymicte qui est en fait une brèche reconstituée plusieurs fois.

La phase qui lie ces grains millimétriques ou ces blocs métriques, est une matrice microbréchique, parfois assez riche en grains de quartz, dont la composante principale est une calcsiltite riche en argiles. La proportion de minéraux insolubles peut atteindre 60%. Souvent, nous y observons de fines laminations, parfois varvées, dont la position est subhorizontale. La fabrique de cathodoluminescence des ciments de ces brèches permet de s'assurer qu'il s'agit des ciments les plus récents (fabrique 9 de AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988). Finalement, ces brèches polymictes sont intimement associées au développement du karst.

En résumé, les cornieules dolomitiques monomictes et polymictes étant très intimement liées sur le terrain, nous pouvons relever pour ces deux catégories les points communs suivants.

a) Les formations sédimentaires à l'origine de ces deux types de cornieules dolomitiques peuvent être interprétées comme:

- des séries carbonatées (dolomitiques) avec parfois des interlits d'évaporites et un très faible détritisme gréseux ou argileux (par exemple C, fig. 4);
- des séries évaporitiques avec des bancs dolomitiques et un détritisme très discret (par exemple A, fig. 4).

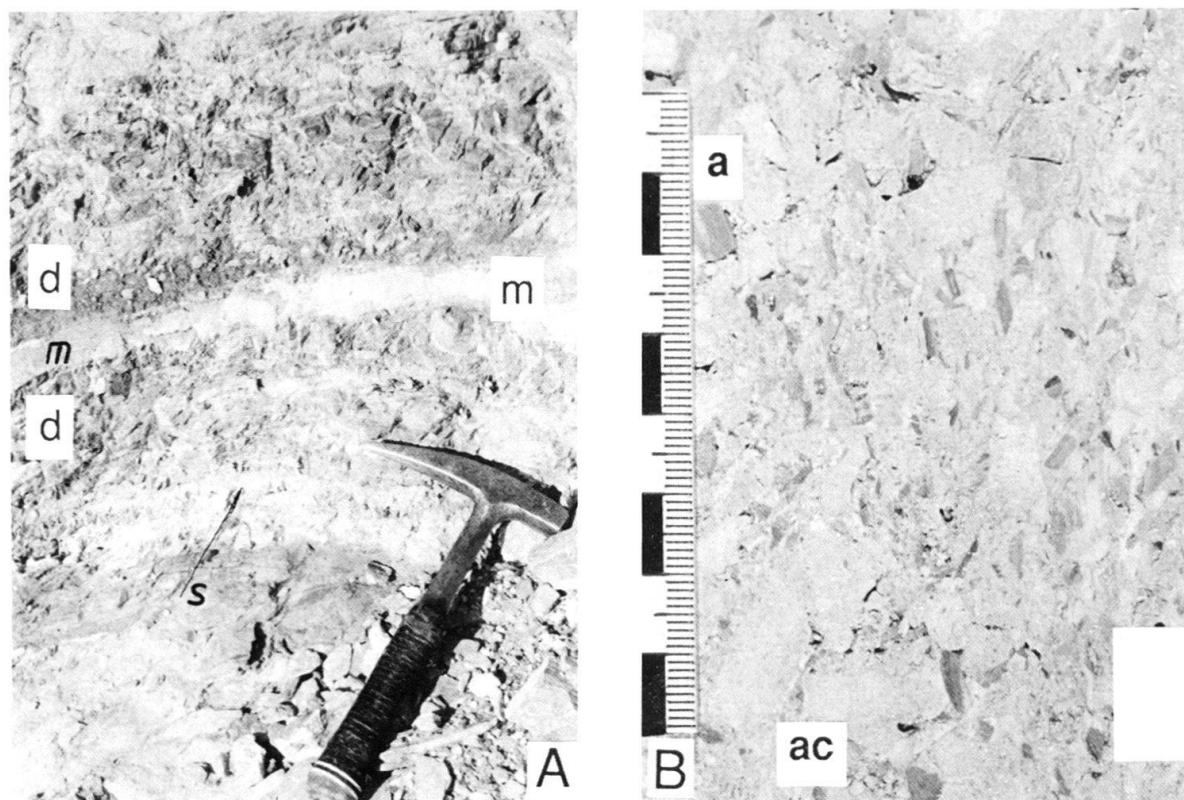


Fig. 8. A. Alternance de cornieule calcitique monomictique claire (m) et dimictique (d) affectée par un clivage tardif fruste (s). Autochtone helvétique au lac de Fully (VS).

B. Section sciée de cornieule calcitique dimictique, avec principalement des galets d'argilite (a) parfois calcitisée (ac). Autochtone helvétique dans le vallon de Barberine (VS).

b) De la tectonique, nous retenons entre autre le rôle secondaire de la fracturation, car elle ne semble pas toujours nécessaire. Le cas échéant, les séries fracturées serviront de vecteur pour les futures circulations de fluides. La présence d'anhydrite favorisera le décollement des nappes ou des écaïlles à ces niveaux.

c) Par la convergence d'un certain nombre d'arguments (positifs et directs), établis dans la région étudiée nous sommes amenés à penser que les phénomènes récents de dissolution/cimentation (au Quaternaire ou éventuellement à la fin du Tertiaire) sont capitaux pour la morphogenèse de ces types de cornieule:

- répartition et géométrie des affleurements;
- répartition des éléments étrangers au Trias intimement calquée sur celle du quaternaire;
- présence d'éléments marqués par l'orogénèse alpine (schistosité, métamorphisme);
- absence de structures tectoniques planaires ou linéaires au sein de ces variétés de cornieules (matrice pas déformée, ni métamorphique);
- présence de conduits ou poches karstiques, résultant soit de la dissolution de joints préexistants, soit du lessivage de blocs de gypse;
- remplissages des conduits avec microstratifications ou varves discordantes par rapport aux couches du Trias, structures sédimentaires de compaction et d'effondrement;
- structures sédimentaires également dans la matrice de la brèche;
- intense dédolomitisation associée aux réseaux de fractures;

Ces phénomènes conduisent parfois à un foisonnement épigénétique, dont le stade ultime est représenté par les cornieules dolomitiques polymictes. Des faits semblables sont observés dans les Alpes françaises (ARNAUD et al. 1976, et JEANBOURQUIN 1985) et dans les Cordillères bétiques où, selon nos observations, certains affleurements décrits par LEINE (1968 et 1971) conduisent aux mêmes conclusions.

Cornieules calcitiques

Les cornieules calcitiques sont soit monomictes (amalgame de grains calcitiques), soit dimictes (avec, en plus des esquilles d'argilites, quelques grains de quartz (fig. 8), ou quartzites et schistes verts dans les zones métamorphiques), ou encore polymictes si des galets de quartzite ou de grès, ainsi que quelques rares marbres calcaires, s'ajoutent aux composants précédents. Le terme de «calcaires triturés jaunes» (LUGEON 1896) illustre bien cette catégorie de roches à grain fin, très calcaires et souvent riches en argiles. Elles sont finement poreuses, fréquemment sans cohésion.

Dans les Préalpes Internes, ce type de roche est plutôt rare par rapport aux cornieules dolomitiques. Il est observé par exemple à la base de la nappe du Meilleret. D'Iserin (col du Pillon) à Bretaye, une cornieule de ce type, parfois riche en esquilles d'argilites, forme une bande continue à la base de la nappe. Des variétés similaires apparaissent en lentilles dans le wildflysch, au col de Cou (val d'Illiez) et dans le Diemtigtal (BE).

Il faut noter que des éléments de ce type sont fréquemment resédimentés dans les cornieules dolomitiques polymictes du col de la Croix ou du col du Pillon.

Dans l'Autochtone du massif des Aiguilles Rouges, les argilites passent graduellement vers le haut à des cornieules calcitiques d'abord dimictes, puis «monomictes» (calcaires triturés jaunes), qui forment des niveaux réguliers mais restreints à la base des écaïlles. Au toit, le contact avec les cornieules dolomitiques monomictes, est souvent net, parfois raviné (AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988, JEANBOURQUIN 1986).

Dans le Pennique, ces types riches en esquilles de schistes verts sont très fréquents. Ils marquent éventuellement des cicatrices tectoniques importantes.

Sur le terrain, l'amalgame de grains calcitisés qui constitue la plupart de ces cornieules calcitiques peut être interprété comme le résultat de la calcitisation d'une farine dolomitique ou dolokakirite (avec un peu d'anhydrite?) produite par le broyage.

Dans la couverture sédimentaire du massif des Aiguilles Rouges et l'Ultrahelvétique, les autres éléments sont principalement des argilites, avec une proportion variable de grains de quartz, et quelques rares morceaux de résidus dolomitiques calcitisés (cornieules dimictes). Entre Emosson et Salanfe, la base des écaïlles parautochtones est marquée localement par un broyat d'esquilles plus ou moins fines d'argilites soudées par une matrice de microsparite (brèche d'argilite monomictite, à ciment calcitique).

Sont également observés:

- des grès plus ou moins quartzitiques du Trias,
- des marbres calcaires (Helvétique, Ultrahelvétique et wildflysch),
- des roches du Permo-carbonifère (Autochtone helvétique),
- des schistes cristallins verts et des quartzites dans le Pennique.

La schistosité désorientée des fragments prouve que, si dans certains cas leur incorporation n'est pas postérieure aux déformations principales, leur arrangement est forte-

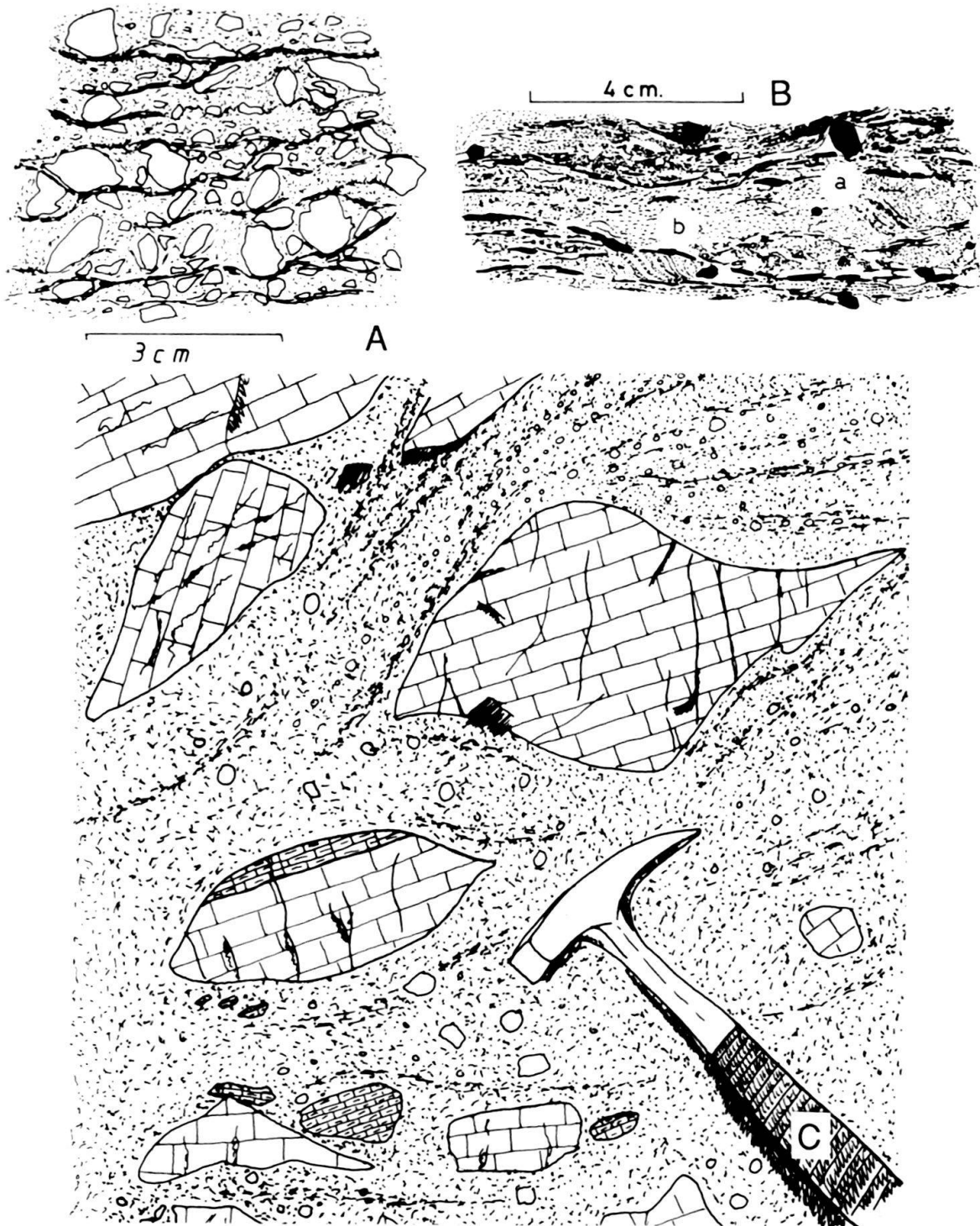


Fig. 9. Quelques exemples de structures tectoniques dans les cornieules calcitiques.

- A. Brèche tectonique polymictique sans dolomie mais avec des éléments de marbre blanc (Trias, Malm ou Crétacé?), associée aux écailles de Parautochtone; apparition d'un clivage irrégulier. Combe d'Emaney (VS).
- B. Structure de déformation liée à un intense cisaillement dans un «calcaire trituré jaune». a = porphyroclaste avec ombres de pression, b = microlithon avec deux schistosités. Lentille de cornieule calcaire intimement liée aux schistes noirs du wildflysch (Flysch à lentilles) sous la Pointe de l'Au, val d'Illiez (VS).
- C. Lentille de cornieule calcaire polymictique dans le wildflysch infra-Brèche (nappe de la Brèche) au col de Cou, val d'Illiez (VS). Les éléments de marbres calcaires (identiques à ceux des écailles briançonnaises de la Mine d'Or au col de Cou), de forme lenticulaire, sont englobés par une microbrèche calcaire jaune-orange à texture fluidale.

ment perturbé par les événements tardifs, en l'occurrence probablement par la dissolution.

La phase de liaison est composée de calcite microsparitique, en général sans trace très nette de déformation dans l'Autochtone helvétique et dans l'Ultrahelvétique. Comme dans les cornieules dolomitiques, des reliques de cristaux déformés sont observées, témoignant de bréchifications (fracturations/cimentations) antérieures. La déformation se manifeste aussi, mais très rarement, à l'échelle de l'échantillon ou de l'affleurement, par des stylolites, une schistosité accompagnant parfois des plis, ou des ombres de pression en bordure des clastes (fig. 9).

A nouveau, seule la déstabilisation des phases antérieures (calcite, dolomite) par des fluides calcitisants, semble responsable de la morphogenèse de ce type de cornieule.

En *résumé*, les assises lithologiques dont sont originaires les cornieules calcitiques ont une tendance détritique en général plus marquée que celle des cornieules dolomitiques (par exemple B, fig. 4 et G, fig. 5). L'anhydrite semble y être présente en petite quantité, ou sous forme disséminée. Dans le massif des Aiguilles Rouges, leur milieu de dépôt pourrait être, par exemple, celui de sabkha côtières.

La composante tectonique, assez bien documentée, paraît capitale dans la genèse de la plupart de ces roches. Elles ont subi une déformation cassante importante, postérieure ou synchrone à un (ou des) événement(s) principal (principaux) de l'orogénèse alpine, mais antérieure à leur incorporation dans le wildflysch, comme au col de Cou par exemple. Le mécanisme de déformation proposé par MÜLLER (1982) nous paraît plus adapté que la fracturation hydraulique proposée par MASSON (1972). En effet, il faut constater que si ces niveaux ont évolué en boues sous forte pression fluide, l'intensité du phénomène ne devait que rarement atteindre la charge lithostatique, car les injections «per ascensum» sont très rares ou inexistantes, en dépit des nombreuses discontinuités préexistantes qui jalonnent le toit des roches du Trias. L'effet probable de cette déformation est l'augmentation de la surface réactionnelle des grains par fracturation (effet de catalyseur pour les transformations chimiques ultérieures).

Cependant, après tectonisation de ces niveaux, une dissolution drastique et une cimentation plus ou moins vigoureuse, oblitérent presque entièrement (mais pas toujours) les structures et les ciments antérieurs. Les transformations se font in situ, sans développement de karstification intense.

Manifestations karstiques et paléokarstiques dans les cornieules

Quoique très fréquentes dans les cornieules de Suisse romande, les structures karstiques et sédimentaires sont restées dans l'ombre. Seuls NORBERT (1968), et PFISTER et al. (1969) en décrivent dans de la cornieule monomicte, traversée en galerie, à quelques centaines de mètres sous le Mont d'Or (Préalpes médianes).

Dans les Apennins, des phénomènes semblables sont observés par GROSCURTH & REUTTER (1977 et 1978). Il est probable que les structures décrites dans les Alpes françaises par GRANDJACQUET & HACCARD (1973a et b, 1975) soient très similaires. Nous les avons également observées dans les cornieules de la Cordillère bétique (Espagne) où LEINE (1968 et 1971) les mentionne.

Leur important développement dans les brèches dolomitiques (monomictes et polymictes) des Préalpes mérite une description plus détaillée.

Dans la région étudiée, ces structures sédimentaires (fig. 10 à 13) apparaissent soit dans des réseaux de conduits ou poches karstiques (de dimensions moyennes centimétriques à métriques, rarement décamétriques comme par exemple dans la cornieule supérieure de la Grande Eau au-dessus d'Aigle), obstrués par des sédiments fins (granulométrie de sables et argiles, plus rarement de graviers ou de conglomérats), soit dans la matrice de la brèche (fig. 12). Les sédiments sont parfois érodés (fig. 10F), granoclassés, laminés et varvés, avec quelquefois des structures de charge ou de gélifraction. Dans certains cas, nous observons la bréchification progressive (fig. 11) de sédiments fins, varvés subhorizontalement, donnant naissance à une nouvelle brèche de type cornieule, soit à matrice de microbrèche, soit à ciment de sparite équigranulaire pure. De plus, ces sédiments apparaissent certaines fois en éléments dans les cornieules dolomitiques (R, fig. 12), et d'autres fois ce sont des morceaux de cornieule monomictes qui sont isolés au sein du sédiment.

La délimitation des conduits est parfois délicate: les sédiments fins du remplissage apparaissent souvent comme intimement liés à la brèche encaissante (fig. 11 et 12). Ces sédiments sont en général parfaitement lithifiés.

Des structures analogues avec des matériaux très semblables ont été observées in situ en voie de lithification:

- dans les cornieules et le gypse de la galerie de Salin près de Panex,
- dans les cornieules monomictes lors des travaux d'élargissement de la route cantonale en aval du Sepey.

Dans ces localités, une lithification précoce et sélective affecte des sédiments karstiques fins semblables à ceux observés dans les affleurements de cornieules. Les niveaux silteux et poreux sont déjà cimentés par de la calcite fine, alors que les niveaux marneux et imperméables sont encore meubles. Des veines de calcite équigranulaire apparaissent perpendiculairement aux microcouches compétentes, plus rarement selon un réseau diffus. Des structures de charge affectent les contacts entre microbancs.

Quelle que soit la position actuelle des couches du Trias, l'orientation de ces microcouches ne s'éloigne vraiment de l'horizontale que si elles sont remaniées. En position de dépôt, elles sont discordantes par rapport au bâti structural (exemple: fig. 10A et B). Leur formation est donc postérieure à la mise en place des nappes.

Cette discordance apparaît également dans les régions métamorphiques (par exemple au Passo del Corno, Nufenen) où, en plus des structures sédimentaires, les micas blancs développés dans la schistosité alpine principale (verticale dans le cas cité), sont d'abord dérangés par la dissolution, puis s'accumulent dans des vasques ou chenaux en position proche de l'horizontale.

En résumé, la genèse des cornieules dolomitiques et celle des sédiments karstiques sont intimement liées, renforçant ainsi la troisième hypothèse génétique. Ces structures karstiques et leur remplissage sédimentaire se développent dans un milieu particulièrement favorable à la dissolution, autant du point de vue physique que chimique, à savoir dans:

- des dolomies fracturées;
- un mélange de dolomie et d'anhydrite.

Fig. 10. Figures karstiques dans les cornieules dolomitiques monomictes ou polymictes (les structures dessinées sont en position d'observation).

A. et B. Conduit karstique au sein de la cornieule monomictite, auquel s'associent de petites failles qui ne se prolongent pas au-delà de la cornieule. Le remplissage est une calcsilite plus ou moins argilo-gréseuse avec stratifications entrecroisées. Ultrahelvétique supérieur, Oberlaubhorn, La Lenk BE. a = cornieule monomictite, b = dolomie, c = remplissage silto-argileux calcaire, f = schistes noirs du flysch, FA = petites failles affectant uniquement la cornieule.

C. Petit conduit (ou intraclaste légèrement déchaussé?) au contour assez net dans la cornieule polymictite (Le Gode, Derborence, VS).

D. Remplissage de passées détritiques fines, calcaires (s), localement granoclassées (varves). Il est parsemé de fragments de dolomie (d) plus ou moins dissoute (= un équivalent d'une cornieule monomictite!). A droite, les laminations sont dérangées, soit par compaction, soit par impact. A gauche, le sédiment originel lithifié précocement est progressivement reconstitué en une nouvelle génération de brèche (Cornieule dolomitique monomictite de l'Ultrahelvétique supérieur, Oberlaubhorn, BE).

E. Sédiments fins varvés (granoclassés) avec structures d'extension (failles), et figures de compaction dans la cornieule dolomitique polymictite (Ultrahelvétique supérieur, Oberlochberg, BE).

F. Sédiments fins microstratifiés (varves granoclassées: sl) avec des structures érosives au sommet des bancs fins, phénomènes de compaction. (b = cornieule monomictite) (Ultrahelvétique supérieur, Le Gode, Derborence, VS).

G. Microcouches de calcerénite et de calcilutite parsemées de petits galets de dolomie ou d'argilite. Cornieule dolomitique monomictite de l'Ultrahelvétique supérieur au col de la Croix (VD).

Il s'y élabore un environnement propice aux conditions primordiales suivantes:

- dissolution/dédolomitisation;
- dépôts de sédiments et éventuellement piégeage d'éléments étrangers;
- compaction et lithification précoce (fig. 10 et 11);

auxquelles peuvent s'associer:

- la fracturation en extension (dissolution de masses sous-jacentes), effondrement et formation de nouvelles brèches (fig. 11 et 12);
- la fracturation in situ en réseau diffus à partir de conduits (éventuellement surpression hydraulique: fig. 13).

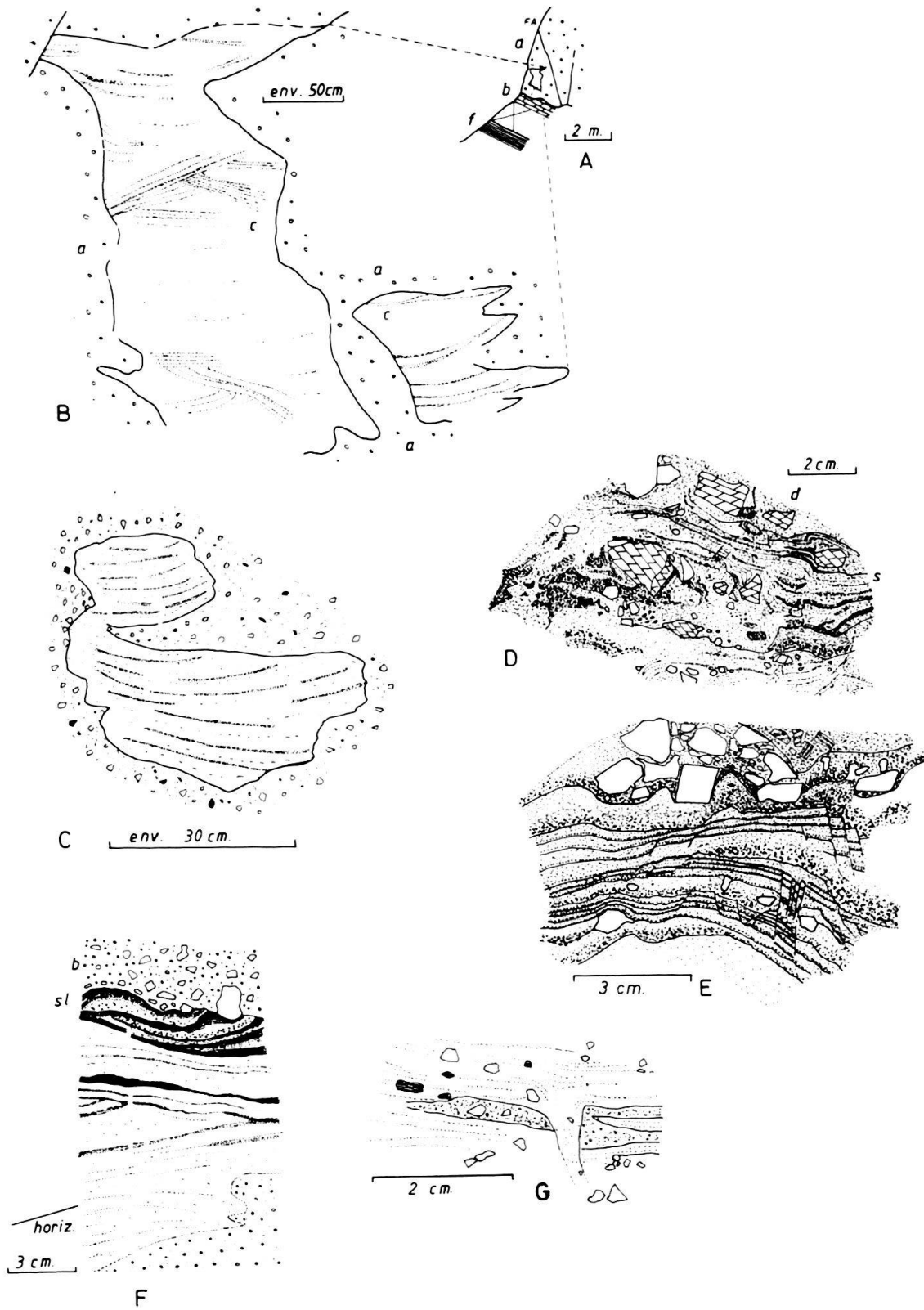
Ces manifestations, le plus souvent superficielles, peuvent s'étendre en subsurface jusqu'à quelques centaines de mètres de profondeur. De plus, ce phénomène permet d'expliquer l'extrême difficulté rencontrée par les géologues pour séparer les cornieules dolomitiques des brèches de pente en milieu dolomitique.

Nous pensons que dans certains cas comme au col de la Croix, le développement de ces karsts était sous-glaciaire. Les glaciers ont pu jouer un rôle déterminant sur la structure de ces brèches, contribuant ainsi à leur désordre.

Transformations minéralogiques et chimiques dans les cornieules

Sur le terrain, l'aspect morphologique principal des cornieules résulte des transformations minéralogiques de dolomies plus ou moins fracturées. Il en découle une phase de liaison calcitique.

Les phénomènes de dissolution des éléments dolomitiques sont responsables de l'aspect vacuolaire des cornieules. Connus de longue date, ils sont considérés en général



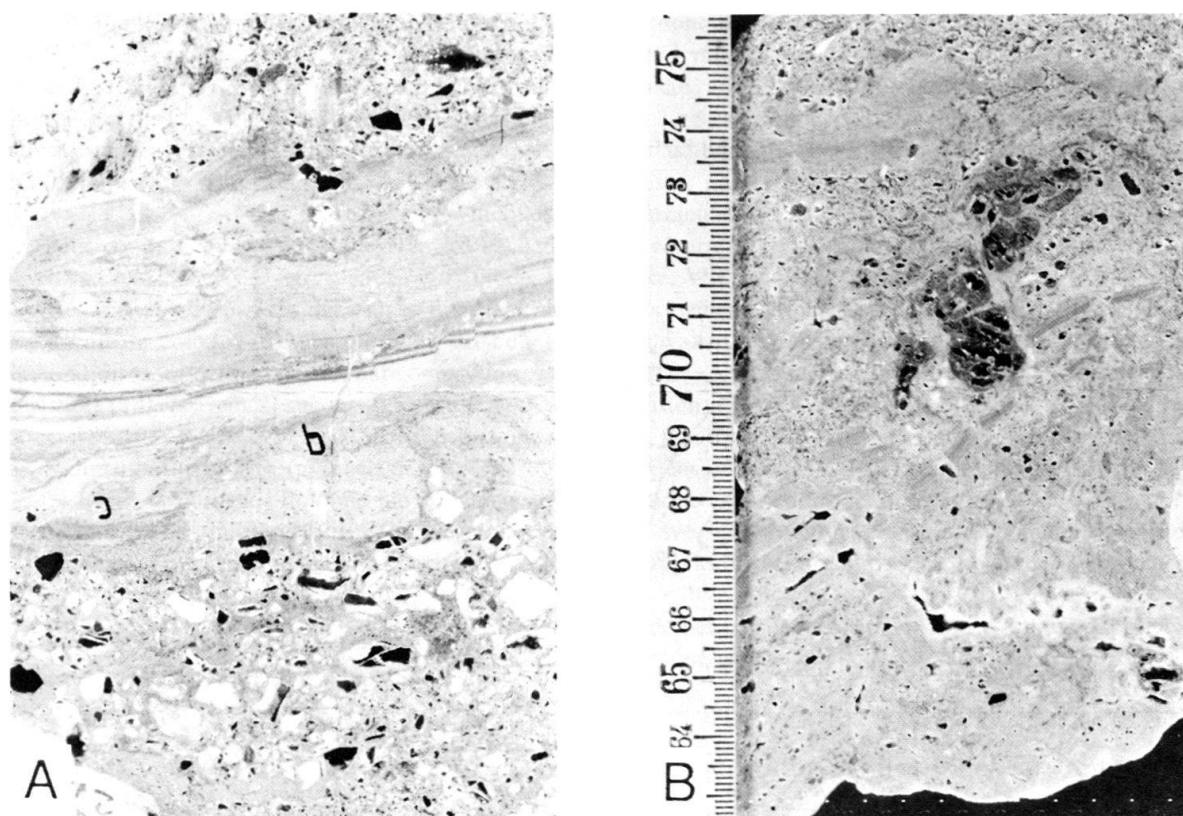


Fig. 11. Association intime de la cornieule dolomitique monomictite, des structures karstiques et des remaniements progressifs et continus.

A. «Chenal» à remplissage silto-limoneux calcaire, varvé. Les microbancs granoclassés sont recoupés par des petites failles normales ayant joué alors que le sédiment était encore un peu mou, structures de compaction (c). Lorsque la lithification fut suffisamment avancée, les contraintes ont initié une petite diaclase ouverte (d) qui a été partiellement obstruée par du sédiment fin également varvé ou de la calcite équigranulaire. Le contact avec la cornieule dolomitique monomictite est parfois graduel, parfois net. Section sciée et polie de la cornieule supérieure(?) au torrent du Dard près d'Aigle (VD).

B. Illustration du remaniement progressif de sédiments fins et des ciments de calcite pure qui lithifient cette nouvelle brèche. Sédiments associés au Trias de la nappe du Niesen, Tübe-Oberlochberg (BE).

comme superficiels et très tardifs. Cependant, il faut noter deux points importants: premièrement, leur présence a été observée aussi en profondeur (par PFISTER et al. 1969) à environ 300 m de profondeur dans la galerie du Mont d'Or; deuxièmement, leur déroulement peut être diachrone; ils ont pu déjà agir depuis des temps très anciens (par exemple déjà à la fin du Tertiaire, comme semble en témoigner la présence de cornieule monomictite dans la molasse chattienne, comm. orale de M. Weidmann, 1987). Simultanément, la disparition de la dolomie est suivie par une précipitation de calcite, qui «croûte» les affleurements.

Ces phénomènes peuvent affecter, soit des dolomies faiblement fracturées, soit des dolocataclasites plus ou moins cimentées, soit des dolomies bréchiques préalablement affectées par de la dédolomitisation ou encore des brèches dolomitiques à matrice d'anhydrite. En l'absence de ces transformations télogénétiques, les roches gardent leurs caractéristiques originelles et ne peuvent être appelées cornieules.

La transformation actuelle de dolomie saine en cornieule nous est relatée par exemple par CHENEVART (1945) et CHESSEX (1959), qui ont observé, dans des excavations,

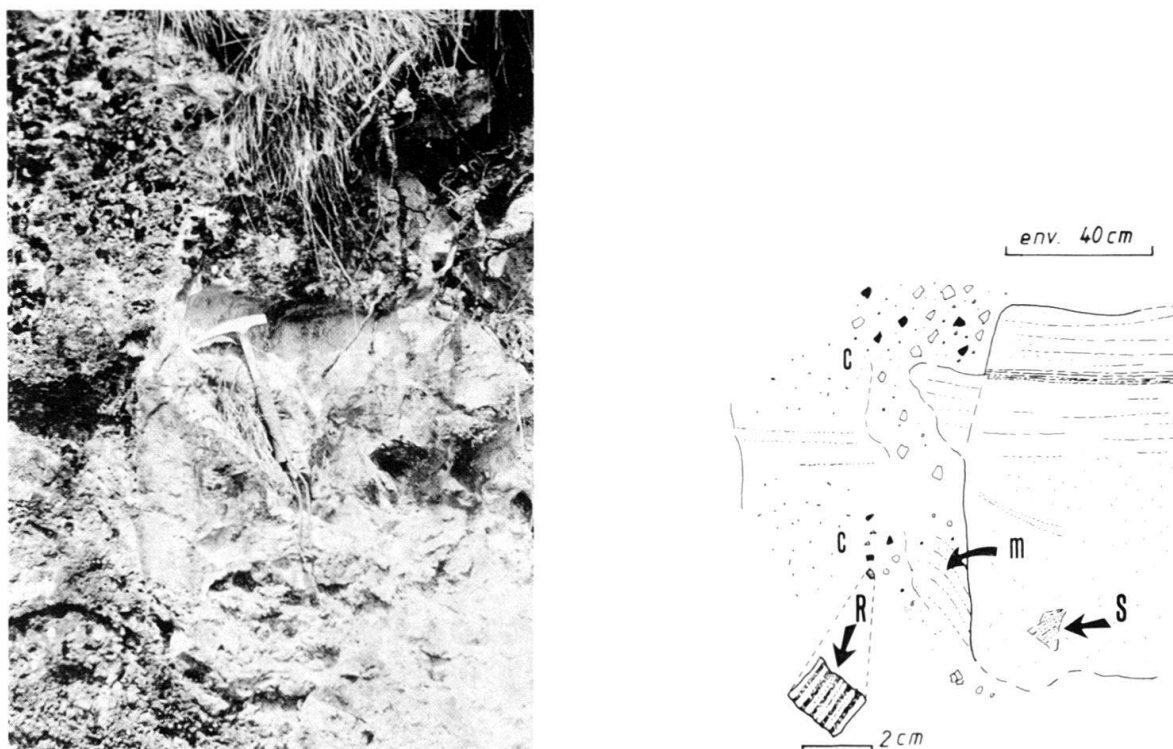


Fig. 12. Cornieule dolomitique polymictique et structures karstiques.

Conduit ou poche paléokarstique dans la cornieule dolomitique polymictique (c) à éléments de quartzite blanc du Trias, de calcaires du Malm et de grès du flysch. Les contours du conduit, simplifiés sur le dessin, sont parfois nets, d'autres fois très flous, le sédiment du remplissage étant en continuité avec la matrice de la brèche. Au centre de la poche, un paquet de sédiment fin est déchaussé (s). La matrice de la brèche est elle-même finement stratifiée, ces microbanes s'incurvant vers le bas en bordure du conduit (m). La brèche polymictique (c) contient également des éléments de sédiments fins de remplissages reconstitués (R). Tous ces faits montrent qu'il est impossible de dissocier la formation de la brèche du développement des conduits karstiques.

Affleurement, attribué à la cornieule supérieure par BAUD (1972), à l'ouest du Sepey (VD).

une calcitisation («cornieulisation») rapide de la dolomie (quelques mois). Ce phénomène est également bien documenté en U.R.S.S. par TATARSKIY (1949), qui montre que la dédolomitisation produit des brèches dolomitiques à cloisons calcitiques. Parallèlement, la cimentation rapide de boues issues de karsts dans les cornieules est décrite par GIGNOUX & BARBIER (1955).

Cette transformation de calcitisation peut prendre deux chemins principaux:

- dissolution de la dolomite et remplacement, parfois épitaxique, par de la calcite (il n'est pas exclu que dans bien des cas la calcite remplace du gypse ou de l'anhydrite, hypothèse déjà retenue par BRÜCKNER 1941, mais les évaporites ne sont en fait pas nécessaires),
- transformation épigénique de la dolomite en calcite (calcites «pœcilitiques», fantômes de rhomboèdres soulignés par des hydroxydes, JEANBOURQUIN 1985).

L'étude pétrographique du jeu de ces dissolutions-cimentations successives, capital dans la compréhension de la phase de liaison des brèches de type cornieules, s'avère complexe. Les études géochimiques et cristallographiques, que nous souhaitons mener à terme, permettront de mieux cerner ces problèmes.

Cependant, une approche préliminaire par cathodoluminescence nous a permis de démêler quelques nœuds de cet écheveau pétrographique, grâce à l'établissement d'une



Fig. 13. Propagation de la fracturation dans les sédiments karstiques.

Conduit partiellement obstrué dans un sédiment (lui-même de remplissage) arénitique et silteux, microstratifié horizontalement et granoclassé. Au sommet de la diaclase se propagent, en un réseau diffus (a), de petites veines (b) de calcite équi-granulaire pure qu'il est possible d'interpréter en invoquant la surpression de fluides karstiques. Dans la partie partiellement obstruée, les parois sont tapissées de calcite en frange. Le fond de la diaclase est obstrué par du sédiment fin. Cornieule dolomitique monomictite de l'Ultraschelvétique supérieur, Oberlochberg, La Lenk (BE).

microstratigraphie de cimentation (AMIEUX & JEANBOURQUIN 1988). Sur le massif des Aiguilles Rouges, cette étude révèle que les événements de «cornieulisation» sont postérieurs au décollement des écaïlles et sont en partie quaternaires. Plus globalement, ils ne peuvent être liés au décollement précoce des nappes.

Pour permettre ces transformations drastiques des dolomies, d'importantes quantités de solutions riches en calcium ont dû circuler dans le milieu. Les dolomies triasiques proches des chevauchements alpins (mais également d'autres dolomies, pourvu qu'elles soient plus ou moins fracturées pour être perméables) réalisent parfaitement cette condition. La présence d'évaporites favorise ces réactions, non seulement en raison de leur grande solubilité, mais également parce qu'elles fournissent le calcium (et le sulfate) nécessaire(s).

Ces transformations de cornieulisation s'intègrent donc aisément au modèle du milieu karstique et paléokarstique. Elles se déroulent d'autant plus intensément que le milieu est fracturé et/ou que l'anhydrite est présente. Mais la fracturation n'intervient qu'indirectement et passivement. De plus, l'origine des fractures n'est pas toujours uniquement d'origine tectonique. D'autres causes, comme la gélifraction ou des surpressions fluides en milieu karstique (par exemple fig. 13), peuvent être avancées.

Conclusions

Les trois thèmes génétiques principaux, à savoir:

- sédimentation triasique;
- brèche tectonique tertiaire;
- brèche de dissolution et calcitisation quaternaire ou/et tertiaire tardif (ou en tout cas postérieures à la mise en place des Médianes);

sont interdépendants et/ou complémentaires. Ils reflètent le déterminisme qui préside à la lente évolution de ces roches dolomitiques en général liées à un milieu évaporitique.

La *dissolution* semble bien être le guide majeur qui conduit aux cornieules, en présence ou en l'absence d'évaporites. En effet, les influences de la télogénèse sont particulièrement évidentes dans les cornieules dolomitiques, il en résulte tout un cortège de sédiments karstiques. Par leur localisation et leurs caractères singuliers, toutes ces roches peuvent être attribuées à des brèches de dissolution. Dans ce contexte, le terme *tuf* (ou travertin), souvent utilisé, est inadéquat. Les effets de la dissolution sont plus discrets et s'expriment différemment dans les cornieules calcitiques. Ces phénomènes y sont en général canalisés dans des zones fracturées et affectent aussi bien les lithologies originelles du Trias que des brèches tectoniques alpines.

La *configuration originelle des dépôts sédimentaires* constitue un guide majeur qui permet d'expliquer tout particulièrement la disposition géographique, géologique et tectonique des cornieules. Son incidence est capitale sur les événements post-sédimentaires: la tectonisation et la dissolution.

La *tectonisation* semble jouer un rôle plutôt secondaire. Son déroulement n'est pas nécessairement requis dans tous les cas rencontrés. La présence de cornieules dans les cicatrices tectoniques est en général intimement liée à celle d'évaporites, dont le rôle rhéologique, lors des décollements et des chevauchements alpins, n'est plus à démontrer. Dissocier toutes les cornieules des évaporites et leur attribuer un rôle mécanique actif de semelle de nappe («high-pressure mush») ne semble pas adéquat. Parallèlement, généraliser le terme fracturation hydraulique à toutes les cornieules est spéculatif quoique, localement, existent des arguments dans ce sens pour les dolocataclasites et les brèches fluidales.

Finalement, comme toute l'histoire de ces roches s'exprime en termes de processus d'altération de sédiments triasiques (ou éventuellement jurassiques), la signature «Trias» (parfois «Jurassique») est pleinement justifiée, avec une surcharge qui permettra de spécifier précisément le type de roche.

Remerciements

H. Masson a suivi le travail de thèse que résume cet article, je lui dois toute ma reconnaissance. Je remercie les experts A. Baud et R. Plancherel; un grand merci également à P. Amieux, S. Ayrton, M. Burri, W. H. Müller et R. Trümpy pour leur lecture attentive et leurs nombreuses suggestions. L'Université de Lausanne a soutenu financièrement ce travail, je lui en sais gré.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBERGER, G.F. (1960): L'Autochtone de la partie NW du massif des Aiguilles Rouges (Haute-Savoie et Valais). – Thèse, Genève.
- AMIEUX, P., & JEANBOURQUIN, P. (1988): Cathodoluminescence et origine diagénétique des cargneules du massif des Aiguilles Rouges (Valais, Suisse). – Bull. Soc. géol. France (à paraître).
- ARNAUD, H., DEBELMAS, J., FLANDRIN, J., GIDON, M., & KERCKHOVE, C. (1976): Remarques et réflexions à propos de l'attribution au Néogène d'une partie des cargneules et des gypses alpins. – Bull. Soc. géol. France (4), 973–979.
- BAUD, A. (1972): Observations et hypothèses sur la géologie de la partie radicale des Préalpes médianes. – *Eclogae geol. Helv.* 65/1, 43–55.
- BOTTERON, G. (1961): Etude géologique du Mont d'Or (Préalpes romandes). – *Eclogae geol. Helv.* 54, 29–106.
- BOURGEOIS, J. (1979): Origine sédimentaire des «polymictes Rauhwackes»: formation post-triasique impliquée dans les nappes internes bétiques (Espagne méridionale). – C.R. somm. Soc. géol. France (1), 26–29.
- BROUWER, H.A. (1926): Zur Tektonik der betischen Kordilleren. – *Geol. Rdsch.* 17, 118–137.
- BRÜCKNER, W. (1941): Über die Entstehung der Rauhwacken und Zellendolomite. – *Eclogae geol. Helv.* 34, 117–134.
- BRUNNSCHWEILER, R.O. (1948): Beiträge zur Kenntnis der Helvetischen Trias östlich des Klausenpasses. – Diss., Zürich.
- CADISCH, J. (1934 et 1953): *Geologie der Schweizer Alpen*. – Wepf, Basel.
- DE CHARPENTIER, M. (1848). In: FAVRE, A. (1867): *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc* (vol. III, p.442).
- CHENEVART, C. (1945): Les nappes de Préalpes médianes et de la Simme dans la région de la Hochmatt. – *Mém. Soc. Sci. nat. Fribourg* 12.
- CHESSEX, R. (1959): La géologie de la haute vallée d'Abondance, Haute-Savoie (France). – *Eclogae geol. Helv.* 52/1, 295–400.
- COLLET, L.-W. (1910): Les hautes Alpes calcaires entre Arve et Rhône. – *Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève* 36/4, 412–586.
- (1943): La nappe de Morcles entre Arve et Rhône. – *Matér. Carte géol. Suisse* [n.s.] 79.
- CORNELIUS, H.P. (1927): Über tektonische Breccien, tektonische Rauhwacken und verwandte Erscheinungen. – *Cbl. Mineral. Geol. Paläont. Abt. B.* 120–130.
- (1935): *Geologie der Err-Julier-Gruppe*. – *Beitr. geol. Karte Schweiz* [N.F.] 70.
- DEBELMAS, J., GIDON, M., & KERCKHOVE, R. (1978): Idées actuelles sur les cargneules alpines. – *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon* [h.s.] 4, 195–201.
- DEBENEDETTI, A., & TURI, B. (1975): Carniole della valle d'Aosta: studio isotopico ed ipotesi genetica. – *Boll. Soc. geol. ital.* 94, 1883–1894.
- DETRAZ, G. (1984): Etude géologique du bord interne de la Zone houillère briançonnaise entre la vallée de l'Arc et le massif de Pécllet-Polset (Alpes de Savoie). – Thèse 3e cycle, Grenoble.
- DUPLAIX, S., & FALLOT, P. (1960a): Les «konglomeratische Mergel» des Cordillères bétiques. – *Bull. Soc. géol. France* 7 (II), 308–317.
- (1960b): Sur la constitution et la signification de la roche appelée «konglomeratische Mergel» dans la zone bétique (Andalousie, Espagne). – *C.R. Acad. Sci. (Paris)* 250, 1403–1408.
- EGGELER, C.G., & LEINE, L. (1962): Preliminary note on the origin of the so-called «konglomeratische Mergel» and associated «Rauhwackes», in the Menas de Seron, Sierra de los Filabres (SE Spain). – *Geol. en Mijnb.* 7, 307–314.
- ELLENBERGER, F. (1954): Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France en Maurienne et Tarentaise (Savoie) (p.454–458). – C.R. somm. Soc. géol. France.
- (1958): Etude géologique du pays de la Vanoise. – *Mém. Carte géol. France*.
- EMRE, T. (1977): Contribution à l'étude de quelques diapirs du SE de la France. – Thèse Univ. sci. et méd. Grenoble.
- FAVRE, E., & SCHARDT, H. (1887): Description géologique des Préalpes du canton de Vaud et du Chablais jusqu'à la Dranse et la chaîne des Dents du Midi. – *Matér. Carte géol. Suisse* 22.
- FEDERICI, P.R., & Raggi, G. (1974): Breccie sedimentarie e rapporti tra le unità tettoniche toscane nel gruppo delle Alpi Apuane. – *Boll. Soc. geol. ital.* 92, 435–452.
- GAGNEBIN, E. (1930): Un fossile nouveau (*Pogocrinus Raafensis*) dans la cornieule triasique de la nappe du Niesen. – *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 57, 219–222.

- GENGE, E. (1952): Einige Beobachtungen an Rauhwackevorkommen der Klippendecke im hinteren Diemtigtal (Berner Oberland). – *Eclogae geol. Helv.* 45, 281–284.
- (1958): Ein Beitrag zur Stratigraphie der südlichen Klippendecke im Gebiet Spillgerten–Seehorn (Berner Oberland). – *Eclogae geol. Helv.* 51, 151–211.
- GIGNOUX, M., & BARBIER, P. (1955): Géologie des barrages et aménagements électriques. – Masson, Paris.
- GRANDJACQUET, C., & HACCARD, D. (1973a): Mise en évidence de la nature sédimentaire et de l'âge néogène de certaines séries de «cagneules et gypses» des chaînes subalpines méridionales; implications structurales. – *C.R. Acad. Sci. Paris* 276, 2369–2372.
- (1973b): Certaines séries à gypses et cagneules réputées triasiques des chaînes subalpines méridionales sont des sédiments tertiaires. – Première réunion annu. des Sci. Terre, Paris.
- (1975): Analyse des sédiments polygéniques néogènes à faciès de cagneules associés à des gypses dans les Alpes du Sud. Extension de ces faciès au pourtour de la Méditerranée occidentale. – *Bull. Soc. géol. France* (7), 17/2, 242–259.
- GROSCURTH, J., & REUTTER, K. (1977): Beziehungen zwischen Rauhwackenbildungen und Deckenbau im Nordapennin. p. 449–464. – *N. Jb. Geol. Paläont. [Mh.]*.
- (1978): The relation of Rauhwackes (cagneules) to nappe movement in the Northern Apennines (Italy). – *Inter-Union Comm. geodyn. Sci. Rep.* 38, 272–273.
- HEIERLI, H. (1955): Geologische Untersuchungen in der Albulazone. – *Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.]* 101.
- JÄCKLI, H. (1941): Geologische Untersuchungen im nördlichen Westschams (Graubünden). – *Eclogae geol. Helv.* 34, 17–105.
- JAILLARD, E. (1982): Etude géologique des unités briançonnaises de Vanoise occidentale au sud-ouest de Pralognan (Savoie). – Thèse 3e cycle, Grenoble.
- JEANBOURQUIN, P. (1985): Les cornieules du versant sud de l'Argentera: Fracturation hydraulique et phénomènes associés. – *Eclogae geol. Helv.* 78/3, 517–535.
- (1986): Les cornieules polymictes des Préalpes internes et de l'Autochtone helvétique en Suisse romande. Thèmes choisis liés aux cornieules en général. – Thèse Univ. Lausanne.
- JEANNET, A. (1913): Monographie géologique des Tours d'Aï et des régions avoisinantes (Préalpes vaudoises). – *Matér. Carte géol. Suisse. [n.s.]* 34.
- LEINE, L. (1962): On the so-called «Konglomeratische Mergel» in the Sierra de los Filabres (SE Spain). – *Geol. en Mijnb.* 41.
- (1968): Rauhwackes in the Betic Cordilleras, Spain. – Thèse Univ. Amsterdam.
- (1971): Rauhwacken und ihre Entstehung. – *Geol. Rdsch.* 60, 488–524.
- LEUENBERGER, M. (1988): Géologie des Autochtons der nordwestlichen Seite des Aiguilles-Rouges-Massivs. – Diplôme, Univ. Fribourg.
- LUGEON, M. (1896): la région de la Brèche du Chablais. – *Bull. Carte géol. France* 47/7.
- MASSON, H. (1972): Sur l'origine de la cornieule par fracturation hydraulique. – *Eclogae geol. Helv.* 65/1, 27–41.
- (1979): Cinématique des nappes helvétiques en Suisse occidentale. – *Abstr. Symp. Alpine Geotraversen*, 4–5 octobre 1979, Lausanne.
- MASSON, H., BAUD, A., GABUS, J., & MARTHALER, M. (1980a): Compte rendu de l'excursion de la Société Géologique Suisse du 1 au 3 octobre 1979: coupe Préalpes–Helvétique–Pennique en Suisse occidentale. – *Eclogae geol. Helv.* 73/1, 331–349.
- MASSON, H., HERB, R., & STECK, A. (1980b): Helvetic Alps of Western Switzerland. In: TRÜMPY, R. (ed.): *Geology of Switzerland: a guide book, part B* (p. 109–153). – Wepf & Co., Basel.
- MAYERAT, A.-M. (1986): Aspects de la déformation des massifs du Tavetsch et du Gotthard au val Medel. – *Eclogae geol. Helv.* 79/1, 246–251.
- METZELTIN, S., & VEZZOLI, L. (1977): Le carnirole della «Sinclinale dello Spluga» (Val Chiavenna). – *Riv. ital. Paleont. (Stratigr.)* 83/3, 533–560.
- MÜLLER, W.H. (1982): Zur Entstehung der Rauhwacke. – *Eclogae geol. Helv.* 75/3, 481–494.
- NORBERT J. (1968): Aménagement hydroélectrique Hongrin–Léman. Problèmes géologiques. – *Trav. Sci. Ind.* 401.
- PARÉJAS, E. (1922): Géologie de la zone de Chamonix. – *Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève* 39/7, 374–442.
- PATACCA, E., RAU, A., & TONGIORGI, M. (1973): Il significato geologico della breccia sedimentaria poligenica al tette della successione metamorfica dei Monti Pisano. – *Atti Soc. tosc. Sci. nat. Mem. A* 80, 126–161.
- PFISTER, I., NORBERT, J., BARBEDETTE, R., & POTEVIN, G. (1969): Traversée sous congélation de 60 m de Trias écrasé. Dans: *Contributions des auteurs suisses au VIIe congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations, Mexique* 78 (p. 449–457).

- RAAF, M. DE (1934): La géologie de la nappe du Niesen entre la Sarine et la Simme. – Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 68.
- RENEVIER, E. (1890): Monographie des Hautes-Alpes vaudoises et des parties avoisinantes du Valais. – Matér. Carte géol. Suisse 16.
- (1891): Origine et âge du gypse et de la cornieule des Alpes vaudoises. – *Eclogae geol. Helv.* 2, 228–247.
- RICHARDS, M. T., & VEARNCOMBE, J. R. (1984): Sur l'origine des faciès de cargneules et de brèches rencontrés dans une coupe du Trias de la Vésubie, Alpes-Maritimes, France. – *Géol. méditerran.* 11/3, 283–286.
- RICOUR, J. (1962): Contribution à l'étude du Trias français. – Mém. Carte géol. France.
- RIEDMÜLLER, G. (1977): Genese und Charakteristik der Rauhwacke im Pittental (Niederösterreich). – *Geol. Rdsch.* 65/1, 290–332.
- SCHARDT, H. (1884a): Etude géologique sur le Pays d'Enhaut. – *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 20.
- (1884b): Communication sur l'origine probable des roches dolomitiques dites corgneules d'âge triasique. – *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 21, 1884–1885.
- (1885): Sur l'origine des cargneules. – *Arch. Sci. phys. nat.* (3) 14, 247–251 (et: *Actes Soc. Helv. Sci. nat.* 68, p. 67).
- SHEARMAN, D. J. (1975): Les faciès évaporitiques de Sebkha. In: *Dépôts évaporitiques* (p. 19 et 96–109). – Chambre syndic. rech. product. pétrole, Editions technip.
- STECK, A. (1984): Structures de déformations tertiaires dans les Alpes centrales. – *Eclogae geol. Helv.* 77/1, 55–100.
- TATARSKIY, V. B. (1949): Distribution of rocks in which dolomite is replaced by calcite. – *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 69, 848–851.
- TERMIER, P. (1894): Le massif des Grandes-Rousses (Dauphiné et Savoie). – *Bull. Soc. géol. France* (4) 40.
- VEARNCOMBE, J. R. (1982): The tectonic significance of Triassic dolomite and cargneule in the Gran Paradiso region, Western Alps. – *Geol. Mag.* 119/3, 301–308.
- (1985): The structure of the Gran Paradiso basement massif and its envelope, Western Alps. – *Eclogae geol. Helv.* 78/1, 49–72.
- WARRACK, M. (1974): The petrology and origin of dedolomitised, veined or brecciated carbonate rocks, the «cornieules» in the Fréjus region. French Alps. – *Quart. J. geol. Soc. London* 130, 229–247.
- WIESENEDER, H. (1971): Klassifikation und Entstehung terrigener und karbonatischer Sedimentgesteine. – *Mitt. geol. Ges. Wien* 64, 219–236.

Manuscrit reçu le 20 mai 1987

Révision acceptée le 28 avril 1988

