

**Beiträge**  
**zur Geologischen Karte der Schweiz**

herausgegeben von der

**Schweizerischen Geologischen Kommission**  
(Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft)  
subventioniert von der Eidgenossenschaft

**Matériaux**  
**pour la Carte Géologique de la Suisse**

publiés par la

**Commission Géologique Suisse**  
(Organe de la Société Helvétique des Sciences Naturelles)  
subventionnés par la Confédération

**Materiali per la Carta Geologica della Svizzera**

pubblicati dalla

**Commissione Geologica Svizzera**  
(Organo della Società Elvetica di Scienze Naturali)  
sovvenzionati dalla Confederazione

---

**Nouvelle série, 97<sup>e</sup> livraison**

127<sup>e</sup> livraison de la collection entière

---

# Pétrographie, répartition et origine des microbrèches du Flysch nordhelvétique

Avec 29 figures et 5 planches

English Summary

Par

**Marc Vuagnat**

Genève

**BERNE**

En commission chez Kümmerly & Frey S. A., Editions géographiques, Berne

1952

Imprimé par Stämpfli & Cie

## Préface de la Commission Géologique Suisse

La Commission Géologique Suisse donna suite en 1944 à la demande que lui avait faite l'auteur de ce mémoire d'effectuer, sous son mandat, des recherches sur certaines roches du flysch, en particulier sur les grès de Taveyannaz. M. VUAGNAT fit ses recherches sur le terrain de 1944 à 1946 dans tout le domaine du flysch de la bordure nord des Alpes suisses, de la vallée du Rhône à celle du Rhin (Val d'Iliez, Alpes vaudoises, bernoises, uranaises, glaronnaises et région de Ragaz-Sargans). Il récolta dans tous ces secteurs un grand nombre d'échantillons de roches caractéristiques. Il fit ensuite l'analyse pétrographique détaillée de ces matériaux et en consigna les résultats dans un travail qu'il présenta à la Commission Géologique à sa séance du 3 mars 1951, en demandant son insertion dans les «Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse».

Après examen approfondi de cet ouvrage très détaillé et richement illustré, la Commission, en raison des crédits limités dont elle dispose et dans l'intérêt même du travail en question, estima nécessaire de demander à l'auteur d'en condenser le texte et de réduire un peu le nombre des illustrations. M. VUAGNAT se conforma à ce vœu et rédigea durant l'hiver 1951/1952 une nouvelle version de son mémoire.

Le manuscrit fut présenté à la Commission Géologique en séance du 1<sup>er</sup> mars 1952 et elle en décida la publication dans les «Matériaux».

Les illustrations (figures dans le texte et planches) sont dues à l'auteur.

Les spécimens de roches et les coupes minces qui se rapportent à ce travail sont déposés au laboratoire de Minéralogie de l'Université de Genève.

La Commission déclare que l'auteur seul est responsable du texte et des dessins.

Bâle, le 15 mars 1952.

Pour la Commission Géologique Suisse :

*Le président:*

A. BUXTORF,

*Le secrétaire:*

O. P. SCHWARZ.

## Préface de l'auteur

Ce mémoire contient les résultats d'une étude qui est l'extension naturelle de recherches commencées en 1941 dont la première partie a constitué le sujet de ma Thèse publiée en 1943.

En 1944, sur la proposition de M. le professeur L. W. COLLET, la Commission Géologique Suisse m'a chargé de l'étude des grès de Taveyannaz et des grès d'Altdorf des Alpes suisses. Je remercie vivement la Commission géologique de m'avoir confié cette tâche et d'avoir bien voulu publier ces résultats dans la série des Matériaux pour la Carte Géologique de la Suisse.

Je désire aussi exprimer ma reconnaissance à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève qui, en 1942 déjà, m'a attribué la Bourse Plantamour-Prévost pour que je puisse étendre à la Suisse centrale les investigations entreprises dans le Val d'Iliez.

Ce travail n'aurait probablement pas vu le jour sans l'aide que m'ont apportée trois savants auxquels je désire exprimer ici ma gratitude la plus vive; j'ai nommé MM. les professeurs L. W. COLLET, M. LUGEON et P. NIGGLI.

M. le professeur L. W. COLLET m'a incité à entreprendre ces recherches et m'a assuré les subsides de la Commission Géologique Suisse. J'ai eu avec M. le professeur M. LUGEON de nombreuses discussions au sujet du Flysch et des problèmes qu'il nous pose; j'ai eu en outre le privilège de l'accompagner sur le terrain au cours de plusieurs excursions dans les Alpes vaudoises. M. le professeur P. NIGGLI a suivi cette étude avec bienveillance tant lorsque je travaillais dans son Institut à Zurich que dans la suite. Il ne m'a pas ménagé son appui dans les moments difficiles.

M. le professeur M. GYSIN m'a donné de fréquents et judicieux conseils; je le remercie sincèrement de l'intérêt qu'il m'a porté.

M. le professeur F. DE QUERVAIN, l'auteur de la publication classique sur les grès de Taveyannaz, ne m'a pas ménagé son temps. Non seulement il m'a prêté sa collection de plaques minces et donné de nombreux renseignements sur la pétrographie des grès du Flysch, mais il m'a encore accompagné dans le Riedertal et dans les environs de Flüelen afin de vérifier certains points sur le terrain. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance.

Je désire aussi remercier M. le Dr W. BRÜCKNER qui m'a, avec une parfaite courtoisie, fait part des résultats de ses recherches sur le Flysch du Schächental. Nous avons fait plusieurs excursions en commun dans cette région au cours de l'été 1944.

Ma gratitude va enfin à tous ceux qui m'ont accompagné sur le terrain et qui m'ont aidé dans la rédaction de ce mémoire.

Laboratoire de Minéralogie,  
Université de Genève.

## Table des matières

	Pages
Préface de l'auteur . . . . .	IV
Liste des tables . . . . .	VII
Liste des figures dans le texte . . . . .	VIII
Liste des planches (microphotographies) . . . . .	IX
Bibliographie et cartes géologiques consultées . . . . .	X
Introduction . . . . .	1

### Première partie

#### Description pétrographique des niveaux microbréchiques du Flysch

##### Chapitre premier

###### *Les éléments constitutifs des grès de Taveyannaz*

§ 1. Les fragments de roches volcaniques. Les structures . . . . .	4
§ 2. Classification minéralogique . . . . .	11
§ 3. Le plagioclase des roches volcaniques . . . . .	13
§ 4. Éléments constitutifs non volcaniques. Minéraux. Ciment . . . . .	13

##### Chapitre II

###### *Les diverses espèces de grès de Taveyannaz*

§ 1. Les divers critères de classification . . . . .	14
§ 2. Classification fondée sur la composition . . . . .	15
§ 3. Données quantitatives . . . . .	17
§ 4. Relations entre l'aspect macroscopique des grès de Taveyannaz et leur composition . . . . .	18

##### Chapitre III

###### *Les grès du Val d'Iliez. Le matériel volcanique*

§ 1. Le matériel volcanique porphyrique . . . . .	20
§ 2. Le matériel volcanique diabasique. Généralités . . . . .	20
§ 3. Les diabases albito-chloritiques . . . . .	21
§ 4. Les roches chloritiques . . . . .	24

##### Chapitre IV

###### *Les roches non volcaniques des grès du Val d'Iliez*

§ 1. Les roches porphyriques acides . . . . .	26
§ 2. Les roches acides grenues . . . . .	27
§ 3. Les roches métamorphiques . . . . .	28
§ 4. Le matériel sédimentaire . . . . .	28

##### Chapitre V

###### *Les grès du Val d'Iliez*

###### *Minéraux isolés; ciment; espèces de grès*

§ 1. Les débris de minéraux et le ciment . . . . .	31
§ 2. Les diverses espèces de grès du Val d'Iliez . . . . .	32
§ 3. Tableau récapitulatif. Données quantitatives . . . . .	35

### Chapitre VI

#### *Les grès de Matt-Gruontal*

	Pages
§ 1. Généralités . . . . .	35
§ 2. Les fragments de roches . . . . .	36
§ 3. Débris de minéraux. Ciment . . . . .	37
§ 4. Données quantitatives . . . . .	38

### Chapitre VII

#### *Vue d'ensemble sur les trois groupes de grès du Flysch nordhelvétique*

§ 1. Critères permettant de distinguer les grès de Taveyannaz des grès du Val d'Iliez . . . . .	38
§ 2. Critères permettant de distinguer les grès de Matt-Gruontal de ceux du Val d'Iliez . . . . .	39
§ 3. Tableaux synoptiques. Diagrammes . . . . .	40

### Deuxième partie

#### Description régionale

##### Chapitre VIII

###### *Les grès du Val d'Iliez en Suisse occidentale*

§ 1. Le Flysch des Dents du Midi . . . . .	47
§ 2. Le Flysch des Dents du Midi. Résumé des observations et conclusions . . . . .	49
§ 3. Le Flysch compris entre la nappe de Morcles et l'Autochtone sur rive droite du Rhône . . . . .	50

##### Chapitre IX

###### *Les grès de Taveyannaz en Suisse occidentale*

§ 1. Le Flysch de la vallée de la Lizerne . . . . .	52
§ 2. Le Flysch helvétique des Diablerets. Vue générale . . . . .	53
§ 3. Résumé des observations. Conclusions . . . . .	53
§ 4. Les grès de Taveyannaz dans l'ensellement des Hautes Alpes calcaires entre Lizerne et Kander . . . . .	55

##### Chapitre X

###### *Le Flysch nordhelvétique dans le canton de Berne, entre le Kandertal et le Titlis*

§ 1. Les grès de Taveyannaz du Kandertal et du Kiental. Introduction . . . . .	56
§ 2. Les grès de Taveyannaz du Kandertal et du Kiental. Résumé des observations. Conclusions . . . . .	57
§ 3. Le Flysch nordhelvétique entre la Sefinenfurgge et la Grande Scheidegg . . . . .	58
§ 4. Les grès de Taveyannaz entre la Grande Scheidegg et le Laubersgrat . . . . .	59

##### Chapitre XI

###### *Le Flysch nordhelvétique entre Engelberg et la Reuss*

§ 1. Introduction . . . . .	60
§ 2. Le Flysch nordhelvétique entre Engelberg et la Reuss. Résumé des observations. Conclusions . . . . .	61

Chapitre XII

*Le Flysch nordhelvétique du Schächental*

	Pages
§ 1. Introduction . . . . .	62
§ 2. Résumé des observations. Conclusions . . . . .	64

Chapitre XIII

*Le Flysch nordhelvétique entre le Klausenpass et le Rhin*

§ 1. Le Flysch nordhelvétique dans les Alpes glaronnaises . . . . .	67
§ 2. La vallée de la Linth. Résumé des observations . . . . .	68
§ 3. La vallée de la Sernf. Résumé des observations. Conclusions . . . . .	69
§ 4. Les grès de Taveyannaz de l'Oberland saint-gallois et de la vallée du Rhin. Introduction . . . . .	71
§ 5. Les grès de Taveyannaz de l'Oberland saint-gallois et de la vallée du Rhin. Résumé des observations. Conclusions . . . . .	72

Troisième partie

**Vues d'ensemble. Conclusions**

Chapitre XIV

*Répartition des divers types de Flysch nordhelvétique. Remarques d'ordre tectonique*

§ 1. Répartition des masses de grès de Taveyannaz . . . . .	73
§ 2. Répartition des masses de grès du Val d'Illicz . . . . .	74
§ 3. Les masses de grès de Matt-Gruontal . . . . .	75
§ 4. Quelques réflexions sur la tectonique du Flysch nordhelvétique . . . . .	75

Chapitre XV

*Relations entre les divers types de grès du Flysch nordhelvétique. Rapports avec d'autres formations. Age*

§ 1. Remarques générales . . . . .	76
§ 2. Relations entre les grès de Taveyannaz et les grès du Val d'Illicz . . . . .	76
§ 3. Relations entre les grès du Val d'Illicz et les grès de Matt-Gruontal . . . . .	77
§ 4. Relations entre les diverses espèces de grès du Flysch nordhelvétique . . . . .	78
§ 5. Relations entre le Flysch nordhelvétique et d'autres formations tertiaires voisines . . . . .	78
§ 6. L'âge du Flysch nordhelvétique . . . . .	80

Chapitre XVI

*Origine des fragments de spilites et d'andésites caractéristiques des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illicz*

	Pages
§ 1. Les diabases et chloritites . . . . .	81
§ 2. Vraie nature des roches à faciès andésitique . . . . .	82
§ 3. Relations entre les diabases et les roches à faciès andésitique . . . . .	83
§ 4. Origine des spilites non diabasiques et des andésites altérées des grès de Taveyannaz . . . . .	84

Chapitre XVII

*Origine des fragments de roches constituant les microbrèches du Flysch nordhelvétique. Roches non volcaniques. Conclusions*

§ 1. Les roches éruptives acides des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illicz . . . . .	85
§ 2. Les roches sédimentaires des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illicz . . . . .	86
§ 3. Les éléments des grès et conglomérats de Matt-Gruontal . . . . .	87
§ 4. Roches absentes dans les grès du Flysch nordhelvétique. Conclusions . . . . .	87

Chapitre XVIII

*Reconstitutions paléogéographiques*

§ 1. Remarque sur la «permanence» des éléments du Flysch nordhelvétique . . . . .	88
§ 2. L'enchaînement des événements lors de la sédimentation du Flysch nordhelvétique . . . . .	90
§ 3. Coup d'œil paléogéographique . . . . .	90

Chapitre XIX

*Résumé. Problèmes*

§ 1. Résumé des points acquis concernant le Flysch nordhelvétique . . . . .	93
§ 2. Les enseignements du Flysch nordhelvétique . . . . .	94
§ 3. Problèmes . . . . .	94
English Summary . . . . .	96
Index alphabétique des noms géographiques . . . . .	99

## Liste des tables

	Pages
I. Correspondances entre diverses nomenclatures des grès du Flysch nordhelvétique . . . . .	3
II. Structures les plus communes des roches à faciès andésitique . . . . .	10
III. Composition minéralogique des divers types de spilites, d'andésites (ou basaltes) des grès de Taveyannaz . . . . .	12
IV. Espèces et sous-espèces des grès de Taveyannaz . . . . .	17
V. Correspondances approximatives entre l'aspect macroscopique et la composition (espèces, sous-espèces) des grès de Taveyannaz . . . . .	19
VI. Taille approximative des cristaux d'albite dans les fragments diabasiques . . . . .	23
VII. Principaux types de roches en fragments dans les grès du Val d'Iliez . . . . .	31
VIII. Caractères des espèces et variétés des grès du Val d'Iliez . . . . .	34
IX. Critères distinctifs des divers types de grès du Flysch nordhelvétique . . . . .	40
X. Résultats des intégrations planimétriques . . . . .	41
XI. Valeurs moyennes, maxima et minima correspondant aux divers postes des intégrations planimétriques . . . . .	45
XII. Correspondances tectoniques entre l'Oberland bernois, la région du Titlis et le Schächental d'après MÜLLER et ARBENZ (1938) . . . . .	59
XIII. Stratigraphie du Flysch helvétique du Schächental d'après BRÜCKNER (1937, 1946) . . . . .	63
XIV. Essai de stratigraphie du Flysch nordhelvétique . . . . .	81

---

## Liste des figures dans le texte

	Pages
1. Spilite vitrophyrique à hornblende . . . . .	5
2. Spilite felsitique à hornblende et augite . . . . .	6
3. Spilite felsitique grossière albito-chloritique . . . . .	6
4. Spilite hyalopilitique fine albito-chloritique . . . . .	7
5. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique grossière . . . . .	7
6. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique fine fluidale . . . . .	8
7. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique grossière fluidale . . . . .	8
8. Spilite trachytique fine à augite . . . . .	9
9. Spilite albito-chloritique à structure felsitique (type «la Berte») . . . . .	10
10. Schéma micrographique d'un grès de Taveyannaz II . . . . .	15
11. Schéma micrographique d'un grès de Taveyannaz IV . . . . .	16
12. Diabase arborescente . . . . .	21
13. Diabase sphérolitique fibroradiée . . . . .	21
14. Diabase intersertale divergente . . . . .	22
15. Diabase intersertale . . . . .	22
16. Diabase intersertale étoilée . . . . .	23
17. Diabase (?) hiéroglyphique . . . . .	24
18. Chloritite . . . . .	25
19. Variolite . . . . .	25
20. Grès du Val d'Illeiz. Corrélation entre la teneur en éléments volcaniques et le rapport $p$ . . . . .	33
21. Grès du Val d'Illeiz. Corrélation entre la teneur en matériel sédimentaire et le rapport $p$ . . . . .	33
22. Schéma micrographique d'un grès du Val d'Illeiz . . . . .	34
23. Schéma micrographique d'un grès de Matt-Gruontal . . . . .	37
24. Grès du Flysch nordhelvétique. Triangle V'-A'-S' . . . . .	46
25. Diagramme de variation des grès du Flysch nordhelvétique . . . . .	46
26. Principales masses de grès et microbrèches du Flysch nordhelvétique . . . . .	48
27. Diagramme de variation des grès du Flysch du Schächental . . . . .	64
28. Schéma des permanences verticales des minéraux des grès du Flysch nordhelvétique . . . . .	89
29. Schéma des permanences verticales des fragments de roches des grès du Flysch nordhelvétique . . . . .	89

---

## Liste des planches (microphotographies)

### *Planche I*

- Photo 1. Spilite albito-chloritique vitrophyrique.  
» 2. Spilite albito-chloritique felsitique fine.  
» 3. Spilite albito-chloritique hyalopilitique fine.  
» 4. Spilite albito-chloritique hyalopilitique grossière.  
» 5. Spilite albito-chloritique hyalopilitique grossière.  
» 6. Spilite albito-chloritique hyalopilitique grossière fluidale.  
» 7. Spilite albito-chloritique pilotaxique fine.  
» 8. Spilite albito-chloritique pilotaxique grossière.  
» 9. Spilite albito-chloritique trachytique fine.

### *Planche II*

- Photo 10. Spilite albito-chloritique trachytique grossière.  
» 11. Section d'augite.  
» 12. Section de hornblende.  
» 13. Section de hornblende chloritisée.  
» 14. Diabase intersertale.  
» 15. Diabase intersertale divergente.  
» 16. Diabase arborescente.  
» 17. Diabase arborescente.  
» 18. Diabase arborescente.

### *Planche III*

- Photo 19. Diabase sphérolitique fibroradiée.  
» 20. Sphérolite fibroradié.  
» 21. Diabase intersertale étoilée.  
» 22. Chloritite.  
» 23. Chloritite.  
» 24. Serpentine.  
» 25. Variolite.  
» 26. Porphyre quartzifère.  
» 27. Porphyre globulaire passant à granophyre.

### *Planche IV*

- Photo 28. Microgranite.  
» 29. Aplite micrographique.  
» 30. Plagioclase (albitite).  
» 31. Agrégat de quartz polycristallin.  
» 32. Quartz écrasé avec stries de Böhm.  
» 33. Quartz laminé.  
» 34. Calcaire dolomitique.  
» 35. Calcaire oolitique probablement dolomitique.  
» 36. Radiolarite.

### *Planche V*

- Photo 37. Chert à rhomboèdres de carbonate.  
» 38. Chert à rhomboèdres de carbonate.  
» 39. Spongolite rousse.  
» 40. Spongolite.  
» 41. Sphérolites siliceux.  
» 42. Grès de Taveyannaz II.  
» 43. Grès de Taveyannaz IV.  
» 44. Grès du Val d'Illicz.  
» 45. Grès de Matt-Gruontal.
-

## Bibliographie

- Adrian H.** (1914*a*): Geologische Untersuchung der beiden Seiten des Kandertals im Berner Oberland. — *Eclogae geol. Helv.*, 13, p. 238.  
— (1914*b*): Geologische Karte der Umgebung des Kandertales zwischen Frutigen und Kandersteg. — *Eclogae geol. Helv.*, 13, p. 336.
- Adrian H.** und **Günzler-Seiffert H.** (1934): Sefinenfurgge–Mürren–Lauterbrunnen. — *Guide géol. de la Suisse* (Exk. 45), p. 633.
- Anderegg H.** (1940): Geologie des Isentals (Kanton Uri). — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz* (N. F.), 77.
- Arbenz P.** (1907): Zur Geologie des Gebietes zwischen Engelberg und Meiringen. — *Eclogae geol. Helv.*, 9, p. 464.  
— (1911): Geologische Karte des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen, 1 : 50 000. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz*, Spezialkarte Nr. 55.  
— (1913): Exkursion in die Obwaldner Alpen. — *Eclogae geol. Helv.*, 12, p. 689.  
— (1918): Geologische Karte der Urirotstockgruppe, 1 : 50 000. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz*, Spezialkarte Nr. 84.  
— (1919): Probleme der Sedimentation und ihre Beziehungen zur Gebirgsbildung. — *Vierteljahrsh. Naturf. Ges. Zürich*, 64, p. 246.  
— (1920): Geologische Bau der Urirotstockgruppe. — *Mitt. Naturf. Ges., Bern*, 1920.  
— (1934): Engelberg–Fürrenalp–Nieder-Surenen–Engelberg. — *Guide géol. de la Suisse* (Exk. 59), p. 768.  
— (1934*b*): Engelberg–Jochpass–Engstlenalp–Frutt–Melchtal–Sarnen. — *Guide géol. de la Suisse* (Exk. 60), p. 776.
- Arbenz P.** und **Müller F.** (1920): Über die Tektonik der Engelhörner bei Meiringen und den Bau der parautochtonen Zone zwischen Grindelwald und Engelberg. — *Eclogae geol. Helv.*, 16, n° 1, p. 111.
- Arbenz P., Schumacher J.** und **Leupold W.** (1938): Über die Zusammensetzung der Wildflysch-Zone bei Engelberg (Obwalden). — *Eclogae geol. Helv.*, 31, n° 2, p. 384.
- Argand E.** (1916): Sur l'arc des Alpes occidentales. — *Eclogae geol. Helv.*, 14, p. 145.
- Bailey E. B.** (1944): Mountains that have travelled over volcanoes. — *Nature*, 154, p. 752.
- Baltzer A.** (1880): Der mechanische Contact von Gneiss und Kalk im Berner-Oberland. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz*, 20.
- Beck P.** (1912): Die Niesen–Habkerndecke und ihre Verbreitung im helvetischen Faciesgebiet. — *Eclogae geol. Helv.*, 12, p. 65.
- Bernauer F.** (1943): Kugelbasalte und ihre Begleitgesteine. — *Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges.*, 95, p. 77.
- Bertrand L.** (1935): Sur l'âge oligocène des grès d'Annot. — *C. R. somm. Soc. géol. France*, 15, p. 229.
- Blumenthal M.** (1912): Der Calanda. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz* (N. F.), 39.
- Bonnard E. G.** (1926): Monographie géologique du massif du Haut de Cry. — *Mat. Carte géol. Suisse* (N. S.), 57/IV.  
— (1927): Carte géologique du massif du Haut de Cry, 1 : 25 000. — *Mat. Carte géol. Suisse*, Carte spéciale, n° 112.
- Boussac J.** (1910): Interpénétration tectonique du Flysch dit autochtone de la Suisse centrale et orientale. — *C. R. Acad. Sc., Paris*.  
— (1912): Etudes stratigraphiques sur le Nummulitique alpin. — *Mém. Carte géol. de la France*.
- Brückner W.** (1933*a*): Die Geologie der Schächentaler Berge, eine Einführung zur Exkursion der Schweiz. Geol. Gesellschaft nach dem Klausenpass und Griesstockgebiet, 4./5. September 1933. — *Eclogae geol. Helv.* 26, n° 2, p. 203.  
— (1933*b*): Bericht über die Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft nach dem Klausenpass und Griesstockgebiet, 4./5. September 1933. — *Eclogae geol. Helv.*, 26, n° 2, p. 325.  
— (1937): Stratigraphie des autochtonen Sedimentmantels und Griesstockdecke im oberen Schächental (Kanton Uri), eine Studie der nordhelvetischen Schichtfolge. — *Verhandl. Naturf. Ges., Basel*, XLVIII, p. 77.  
— (1943): Tektonik des oberen Schächentals (Kanton Uri). — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz* (N. F.), 80.

- Brückner W.** (1945): Neue Konglomeratfunde in den Schiefermergeln des jüngeren helvetischen Eocaens der Zentral- und Ostschweiz. — *Eclogae geol. Helv.*, 38, n° 2, p. 315.
- (1946): Bemerkungen über die nordhelvetischen Flyschbildungen in der Westschweiz. — *Verhandl. Naturf. Ges.*, Basel, LVII, p. 62.
- Buxtorf A.** (1912): Bericht über die Exkursion der Schweiz. geol. Gesellschaft ins Flyschgebiet des unteren Schächentals. — *Eclogae geol. Helv.*, 12, p. 188.
- Buxtorf A., Tobler A., Niethammer G., Baumberger E., Arbenz P. und Staub W.** (1916): Geologische Vierwaldstättersee-Karte, 1 : 50 000. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz, Spezialkarte Nr. 66 a.*
- Buxtorf A.** (1935): Taveyannazsandstein im subalpinen Flysch des Pilatusgebietes. — *Eclogae geol. Helv.*, 26, n° 2, p. 215.
- Cadisch J.** (1942): Die Entstehung der Alpen im Lichte der neuen Forschung. — *Verhandl. Naturf. Ges.*, Basel, LIV, p. 32.
- Cayeux L.** (1929): Les roches sédimentaires de France (Roches siliceuses). — *Mém. carte géol. France.*
- (1935): Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées (calcaires et dolomies). — *Masson & Cie.*, Paris.
- Collet L. W.** (1935): The structure of the Alps. — *Edward Arnold & Co.*, London.
- (1942): La nappe de Morcles entre Arve et Rhône. — *Mat. Carte géol. Suisse (N. S.)*, 79.
- Collet L. W. et Gysin M.** (1941): Les grès de Taveyannaz dans les Dents du Midi. — *C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève*, 58, p. 47.
- Collet L. W. et Lillie A.** (1938): Le Nummulitique de la nappe de Morcles entre Arve et Rhône. — *Eclogae geol. Helv.*, 31, n° 1, p. 105.
- Collet L. W. et Lombard Aug.** (1939): Le Flysch de l'arête de Berroy entre le col de Coux et les Dents Blanches de Champéry. — *C. R. Soc. phys. et hist. nat.*, Genève, 56, n° 2, p. 87.
- Collet L. W. et Paréjas E.** (1928): Carte géologique de la Chaîne de la Jungfrau, 1 : 25 000. — *Mat. Carte géol. Suisse, Carte spéciale*, n° 113.
- Collet L. W. et Paréjas E.** (1931): Géologie de la Chaîne de la Jungfrau. — *Mat. Carte géol. Suisse (N. S.)*, 63.
- Collet L. W., Schroeder J. W. et Pictet E.** (1946): De l'âge oligocène des calcaires à Nummulites de Barmaz (Parautochtone, région de Champéry, Valais, Suisse). — *C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève*, 63, n° 1, p. 31.
- Ducloz Ch.** (1940): Découvertes d'écaillés de terrains autochtones dans le Flysch du versant Nord des Dents du Midi (Rossetan-Bonavau). — *C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève*, 57, n° 4, p. 257.
- (1942): Nouvelles observations sur le Flysch du Val d'Illicz (Valais). — *C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève*, 59, n° 1, p. 98.
- (1944): Le Flysch des Dents du Midi (Valais). — *Thèse, Genève*, 1944.
- Duparc L. et Reinhard M.** (1924): La détermination des plagioclases dans les coupes minces. — *Mém. Soc. phys. et hist. nat. Genève*, 40, n° 1.
- Duparc L. et Ritter E.** (1895): Le grès de Taveyannaz et ses rapports avec les formations du Flysch. — *Arch. Sc. phys. et nat.*, XXXIII.
- Ellenberger F.** (1949): Sur la série stratigraphique et la structure de la Vanoise. Feuilles Moutiers et Modane au 50 000<sup>e</sup>. — *Bull. Carte géol. France*, 226, p. 83.
- Favre A.** (1867): Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont Blanc.
- Fischer G.** (1933): Die Petrographie der Grauwacken. — *Jahrb. Preuss. Geol. Landesanstalt*, 54, p. 320.
- Fourmarier P.** (1948): Schistosité régionale et schistosité locale. — *Arch. des Sciences, Genève*, 1, n° 1, p. 188.
- Fröhlicher H.** (1933): Geologische Beschreibung der Gegend von Escholzmatt im Entlebuch (Kt. Luzern). — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.)*, 67.
- Furrer H.** (1938): Geologische Untersuchungen in der Wildstrubelgruppe, Berner Oberland. — *Mitt. Naturf. Ges. Bern*, p. 35.
- Furrer H. et Hügi Th.** (1949): Vulkanischer Spaltendurchbruch in der Doldenhorndecke bei Trübeln westlich Leukerbad (Wallis). — *Eclogae geol. Helv.*, 42, n° 2, p. 435.

- Furrer M.** (1949): Der subalpine Flysch nördlich der Schrattenfluh (Entlebuch, Kt. Luzern). — *Eclogae geol. Helv.*, 42, n° 1, p. 111.
- Gagnebin E.** (1925): Une lame de gneiss parautochtone à la base de la Dent du Midi (Ecaille du Jorat). — *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 56, n° 216, p. 57.
- (1932): Observations nouvelles sur les Dents du Midi (Valais). — *Eclogae geol. Helv.*, 25, n° 2, p. 252.
- (1934a): Champéry–Sézanfe–Salanfe–Salvan. — *Guide géol. de la Suisse (exc. 15)*, p. 408.
- (1934b): Monthey–Champéry–Morgins. — *Guide géol. de la Suisse (exc. 14)*, p. 400.
- (1934c): Feuille 483 St-Maurice. — *Atlas géol. de la Suisse*, 1 : 25 000.
- (1934d): Notice explicative de la feuille 483 St-Maurice. — *Atlas géol. de la Suisse*, 1 : 25 000.
- Gerber E.** (1905): Beiträge zur Geologie der östlichen Kientaler Alpen. — *Nouv. Mém. Soc. helv. Sc. nat.*, XL, n° 2.
- Gignoux M.** (1948): La tectonique d'écoulement par gravité et la structure des Alpes. — *Bull. Soc. géol. France*, XVIII, 8–9, p. 739.
- Grubenmann U. et Tarnuzzer Chr.** (1909): Beiträge zur Geologie des Unterengadins. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.)*, 23.
- Grunau H.** (1947): Geologie von Arosa (Graubünden) mit besonderer Berücksichtigung des Radiolarit-Problems. — Thèse, Berne.
- Günzler-Seiffert H.** (1933): Blatt 395 Lauterbrunnen. — *Geol. Atlas d. Schweiz*, 1 : 25 000.
- (1938): Blatt 396 Grindelwald. — *Geol. Atlas d. Schweiz*, 1 : 25 000.
- Günzler-Seiffert H. et Müller F.** (1934): Grindelwald–Grosse Scheidegg–Meiringen. — *Guide géol. de la Suisse (Exk. 48)*, p. 657.
- Günzler-Seiffert H. et Wyss R.** (1938): Erläuterungen zu Blatt 396 Grindelwald. — *Atlas géol. de la Suisse*, 1 : 25 000.
- Gysin M.** (1928): Sur l'emploi des signes + et — devant les coordonnées des pôles des éléments cristallographiques dans la méthode de Fédorow. — *Bull. Soc. Franc. Minér.*, 51, p. 254.
- Heim Alb.** (1882): Position stratigraphique des grès de Taveyannaz entre la Reuss et la Tamina. — *Arch. des Sc. phys. et nat.*, VIII, p. 400.
- (1891): Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz*, 25.
- (1919): Geologie der Schweiz. — *Chr. Herm. Tauchnitz*, Leipzig.
- Heim Arn.** (1908): Die Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizer Alpen. — *Abhandl. d. Schweiz. Palaeont. Ges.*, XXXV.
- (1909): Über die Stratigraphie der autochtonen Kreide und des Eozäns am Kistenpass. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.)*, 24, p. 21.
- Helbling R.** (1948): Photogeologische Studien im Anschluss an geologische Kartierungen in der Schweiz, insbesondere der Tödikette. Mit Beilagen: Photogeologische Karte der Tödikette vom Bifertenstock bis Calanda, 1 : 25 000. — *E. T. H. Zürich*.
- Helgers E.** (1909): Beiträge zur Geologie der westlichen Gehänge des Lauterbrunnentales. — Thèse, Berne.
- Hess H. H.** (1937): Islands arcs, gravity anomalies and serpentinite intrusions. A contribution to the ophiolite problem. — *XVIIth Intern. Geol. Congress*, 2, p. 263.
- Jenny J. J.** (1934): Geologische Beschreibung der Hoh Faulen-Gruppe im Kanton Uri. — *Verhandl. Naturf. Ges. Basel*, XLV, p. 109.
- Kaech M.** (1903): Notiz über einen neuen Fund von Fischechiefern im Flysch der schweizerischen Nordalpen. — *Centralblatt*, p. 742.
- Kilian W.** (1915): Présence de galets de variolite dans les conglomérats burdigaliens des environs de Grenoble et le Miocène des Basses-Alpes. — *C. R. somm. Soc. géol. France*, p. 77.
- Krebs J.** (1925a): Geologische Beschreibung der Blümlisalp-Gruppe. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.)*, 54/III.
- (1925b): Geologische Karte der Blümlisalpgruppe. — *Beitr. geol. Karte d. Schweiz, Spezialkarte Nr. 98*.
- Krynine P. D.** (1948): The megascopic study and field classification of sedimentary rocks. — *Journ. Geol.*, 56, p. 130.

- Lamont A.** (1938): Contemporaneous slumping and other problems at Bray series, Ordovician and lower Carboniferous horizons in county Dublin. — Proc. R. Irish Acad., XLV/B, p. 1.
- Leupold W.** (1937): Zur Stratigraphie der Flyschbildungen zwischen Linth und Rhein. — Eclogae geol. Helv., 30, n° 1, p. 1.
- (1938): Die Flyschregion von Ragaz. — Eclogae geol. Helv., 31, n° 2, p. 403.
- (1942): Neue Beobachtungen zur Gliederung der Flyschbildungen der Alpen zwischen Reuss und Rhein. — Eclogae geol. Helv., 35, n° 2, p. 247.
- Leupold W., Tanner H. et Speck J.** (1942): Neue Geröllstudien in der Molasse. — Eclogae geol. Helv., 35, n° 2, p. 235.
- Lillie A.** (1939): Sur la nappe du Laubhorn et le Flysch entre le col de Coux et Morgins. — Eclogae geol. Helv., 32, n° 1, p. 25.
- Lombard Aug.** (1937): Conglomérats polygéniques du soubassement des Préalpes externes (Voirons, Pléiades, collines du Faucigny). A. Répartition, lithologie. B. Problème de leur origine. — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 54, n° 3, p. 127, 129.
- (1939): Nummulites dans le Flysch autochtone des environs de Monthey (Val d'Illicz, Valais). — Eclogae geol. Helv., 32, no. 2, p. 220.
- (1940): Géologie des Voirons. — Mém. Soc. helv. Sc. nat., LXXIV, 1.
- Louis K.** (1924): Beiträge zur Geologie der Männlichengruppe (Bern Oberland). — Jahrb. d. Phil. Fak. II, Univ. Bern, V.
- Loys F. de** (1928): Monographie géologique de la Dent du Midi. — Mat. Carte géol. Suisse (N. S.), 58.
- Lugeon M.** (1895–1896): Carte géologique du Val d'Illicz, 1 : 50 000, Région de la Brèche du Chablais, 1 : 50 000. — Bull. Carte géol. France, n° 49.
- (1910): Carte géologique des Hautes Alpes Calcaires entre la Lizerne et la Kander, 1 : 50 000. — Mat. Carte géol. Suisse, Carte spéciale, n° 60.
- (1914): Les Hautes Alpes Calcaires entre la Lizerne et la Kander. — Mat. Carte géol. Suisse (N. S.), 30/I, II, III.
- (1923): Sur l'âge du grès de Taveyannaz. — Eclogae geol. Helv., 18, p. 220.
- (1930): Trois tempêtes orogéniques. La Dent de Morcles. — Centenaire Soc. géol. de France, Livre Jubilaire, 1830–1930, p. 499.
- (1934a): Aigle–Sépey–Diablerets. — Guide géol. de la Suisse (exc. 19), p. 426.
- (1934b): Environs de Bex–Dent de Morcles. — Guide géol. de la Suisse (exc. 21), p. 436.
- (1934c): Kandersteg–Gemmi–Loèche–Torrenthorn. — Guide géol. de la Suisse (exc. 23), p. 450.
- (1937): Feuille 485 Saxon–Morcles. — Atlas géol. de la Suisse, 1 : 25 000.
- (1940a): Feuilles 477<sup>bis</sup>–480 Diablerets. — Atlas géol. de la Suisse, 1 : 25 000.
- (1940b): Notice explicative des feuilles 477<sup>bis</sup>–480 Diablerets. — Atlas géol. de la Suisse, 1 : 25 000.
- (1943): Une nouvelle hypothèse tectonique: la diverticulation (note préliminaire). — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 62, n° 260, p. 301.
- (1947): Hommage à Auguste Buxtorf et digression sur la nappe de Morcles. — Verhandl. Naturf. Ges. Basel, LVIII, p. 108.
- (1950): Cristaux de quartz hyalin de la Croix de Javerne (Hautes Alpes vaudoises). — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 64, n° 276, p. 446.
- Lugeon M. et Argand E.** (1937): Notice de la feuille 485 Saxon–Morcles. — Atlas géol. de la Suisse, 1 : 25 000.
- Lugeon M. et Gagnebin E.** (1937): La géologie des collines de Chiètres. — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 59, 243, p. 325.
- — (1941): Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes Romandes. — Mém. Soc. vaud. Sc. nat., 47.
- Lugeon M. et Vuagnat M.** (1948): Quelques considérations sur le Flysch du soubassement de la Dent de Moreles (Relations entre la tectonique et la composition pétrographique). — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 64, n° 272.
- Luther M.** (1907): Die tektonischen und stratigraphischen Zusammenhänge östlich und westlich der Reuss zwischen Brunnen und Amsteg. — Jahrb. Phil., Fak. II, Bern, VII.
- Michel-Levy M. A.** (1892): Etudes sur les pointements de roches cristallines qui apparaissent au milieu du Flysch du Chablais, des Gêts aux Fenils. — Bull. Carte géol. France, 27/II, p. 39.
- Moesch C.** (1894): Geologische Beschreibung der Kalk- und Schiefergebirge zwischen dem Reuss- und Kiental. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz, 24/III.
- Moret L.** (1924): Sur la découverte d'Orthophragmines dans le «grès de Taveyannaz» du Massif de Platé (Haute-Savoie) et sur ses conséquences. — C. R. Acad. Sc., Paris.

- Moret L.** (1934): Géologie du Massif des Bornes et des klippes préalpines des Annes et de Sulens (Haute-Savoie). — Mém. Soc. géol. France, 22.
- (1936): Sur l'âge des complexes détritiques qui terminent la série nummulitique subalpine. — Compte rendu somm. Soc. géol. France, p. 22.
- (1936): L'âge des complexes détritiques terminaux du Nummulitique subalpin envisagé du point de vue de la structure générale des Alpes. — Compte rendu somm. Soc. géol. France, p. 37.
- Mornod L.** (1949): Géologie de la région de Bulle (Basse Gruyère). Molasse et bord subalpin. — Mat. Carte géol. Suisse (N. S.), 91.
- Müller F.** (1938): Geologie der Engelhörner, der Aareschlucht und der Kalkkeile bei Innertkirchen (Berner Oberland). Mit Beiträgen von **P. Arbenz**. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 74.
- (1941): Die Tektonik der autochtonen und parautochtonen Schuppenregion östlich des Aaretals, besonders im Gental. — Eclogae geol. Helv., 34, n° 1, p. 107.
- Niggli P.** (1922): Der Taveyannaz-Sandstein und die Eruptivgesteine der jungmediterranen Kettengebirge. — Bull. Suisse Min. Petr., II, p. 169.
- (1948): Gesteine und Minerallagerstätten. Allgemeine Lehre von den Gesteinen und Minerallagerstätten. — Birkhäuser, Basel.
- Niggli P., Grubenmann U. und Jeannet A.** (1915): Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz, Geotechn. Ser., V.
- Oberholzer J.** (1920): Geologische Karte der Alpen zwischen Linthgebiet und Rhein, 1 : 50 000. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz, Spezialkarte Nr. 63.
- (1933): Geologie der Glarneralpen. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 28.
- (1934a): Altdorf-Klausenpass-Linth-Glarus. — Guide géol. de la Suisse (Exk. 75), p. 906.
- (1934b): Glarus-Segnespass-Flims. — Guide géol. de la Suisse (Exk. 80), p. 947.
- (1934c): Ragaz-Vättis-Kunkelspass-Reichenau-Bonaduz. — Guide géol. de la Suisse (Exk. 81), p. 953.
- (1942): Geologische Karte des Kantons Glarus, 1 : 50 000. — Geologische Spezialkarte Nr. 117.
- Paréjas E.** (1931): Revision du Nummulitique autochtone du Mettenberg (Oberland bernois). — Eclogae geol. Helv., 24, n° 1, p. 23.
- Pettijohn F. J.** (1949): Sedimentary rocks. — Harper and Brothers, New-York.
- Piperoff Chr.** (1897): Geologie der Calanda. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 7.
- Ploeg P. van der** (1912a): Geologische Beschreibung der Schlossberg-Spannort-Gruppe. — Eclogae geol. Helv., 12, p. 194.
- (1912b): Geologische Karte der Schlossberg-Spannort-Gruppe, 1 : 50 000. — Eclogae geol. Helv., 12, p. 240.
- Quervain F. de** (1928): Zur Petrographie und Geologie der Taveyannaz-Gesteine. — Bull. Suisse Min. Petr., VIII, p. 1.
- Reinhard M.** (1931): Universaldrehtischmethoden. — Basel.
- Renevier E.** (1865): Notices sur les Alpes vaudoises. II. Massif de l'Oldenhorn et col du Pillon. — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., VIII, p. 273.
- (1875): Carte des Hautes Alpes Vaudoises, 1 : 50 000. — Mat. Carte géol. Suisse, Carte spéciale, n° 7.
- (1877): Le grès de Taveyannaz. — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 15, p. 214.
- (1890): Monographie des Hautes Alpes vaudoises. — Mat. Carte géol. Suisse, 16.
- Sarasin Ch.** (1892): Conglomerate und Breccien des Flysch in der Schweiz. — Thèse, Strassburg.
- Scabell W.** (1926): Beiträge zur Geologie der Wetterhorn-Schreckhorn-Gruppe. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 57/III.
- Schardt H.** (1905–1908): Coup d'œil sur la géologie et la tectonique des Alpes du canton du Valais. — Bull. Soc. Murithienne, 35, p. 246.
- Schmidt C.** (1888): Über den sogenannten Taveyannaz-Sandstein. — Neues Jahrb. für Min., etc., II, p. 80.
- Schnetzler J. B.** (1863): Feuilles dans les schistes de Morgins. — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 8, p. 7.
- Schroeder J. W.** (1939): La Brèche du Chablais entre Giffre et Drance et les roches éruptives des Gêts. — Arch. des Sciences, Genève, 21.
- (1944): Découverte de glissements sous-marins dans la molasse subalpine du Val d'Illeiz (Bas-Valais, Suisse). — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 61, n° 3, p. 276.
- (1946): Mylonites ou brèches sédimentaires. — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 63, n° 1, p. 37.

- Schroeder J. W.** et **Ducloz C.**: Géologie de la Molasse et du Flysch du Val d'Iliez. (En préparation.)
- Schroeder J. W.** et **Pictet E.** (1946): De quelques Foraminifères trouvés dans les grès de Taveyannaz et de l'âge de ces derniers. — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 63, n° 1, p. 33.
- Schumacher P. von** (1928): Der geologische Bau der Claridenkette. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 50/IV.
- Staub R.** (1920): Neuere Ergebnisse der geologischen Erforschung Graubündens. — Eclogae geol. Helv., 16, p. 1.  
— (1948): Über den Bau der Gebirge zwischen Samaden und Julierpass und seine Beziehungen zum Falknis- und Bernina-Raum, nebst einigen Bemerkungen zur ostalpin-penninischen Grenzzone im Engadiner Deckensystem. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 93.  
— (1949): Betrachtungen über den Bau der Südalpen. — Eclogae geol. Helv., 42, n° 2, p. 215.
- Staub W.** (1911a): Geologische Beschreibung der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal im Kanton Uri. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz (N. F.), 32.  
— (1911b): Geologische Karte der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal, 1:50 000. — Beitr. geol. Karte d. Schweiz, Spezialkarte Nr. 62.
- Stauffer H.** (1920): Geologische Untersuchung der Schilthorngruppe im Berner Oberland. — Mitt. Naturf. Ges. Bern.
- Stehlin H. G.** (1938): Über das Alter des Vaulruz-Sandsteins. — Eclogae geol. Helv., 31, n° 1, p. 293.
- Studer B.** (1853): Geologie der Schweiz.
- Tavel H. von** (1936): Stratigraphie der Balmhorngruppe mit Einschluss des Gemmipasses (Berner Oberland). — Mitt. Naturf. Ges., Bern, p. 43.
- Tercier J.** (1928): Géologie de la Berra. — Mat. Carte géol. Suisse (N. S.), 60.  
— (1947): Le Flysch dans la sédimentation alpine. — Eclogae geol. Helv., 40, n° 2, p. 163.
- Termier P.** et **Lory P.** (1895): Sur deux roches éruptives découvertes dans le massif de Chaillol (Hautes Alpes). — Bull. Soc. géol. France, XXIII, p. 75.
- Tolwinski K.** (1910): Die grauen Hörner. — Vierteljahrsh. Naturf. Ges., Zürich, p. 321.
- Tribolet M.** (1874): Sur le grès de Taviglianaz du Kiental et des Alpes Bernoises. — Bull. Soc. géol. France, III/1-3, p. 68.
- Troesch A.** (1908): Beiträge zur Geologie der westlichen Kientaleralpen (Blümlisalpgruppe). — Thèse, Lausanne.
- Vonderschmitt L.** (1935): Neue Fossilfunde im Flysch des Val d'Iliez (Valais). — Eclogae geol. Helv., 28, n° 2, p. 550.
- Vuagnat M.** (1943a): Sur quelques nouveaux affleurements de grès de Taveyannaz du type Val d'Iliez à porphyrites arborescentes. — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 60, p. 53.  
— (1943b): Les grès de Taveyannaz du Val d'Iliez et leurs rapports avec les roches éruptives des Gêts. — Bull. Suisse Min. Petr., XXIII, 2, p. 353.  
— (1944a): Sur le Flysch helvétique de la Croix de Javerne et des collines de Chiètres (Vaud). — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 61, p. 72.  
— (1944b): Essai de subdivision à l'intérieur du groupe des grès de Taveyannaz-grès d'Altdorf. — Eclogae geol. Helv., 37, n° 2, p. 427.  
— (1944c): Sur certains niveaux à porphyrites arborescentes de la molasse du Plateau suisse. — Eclogae geol. Helv., 37, n° 2, p. 430.  
— (1944d): Quelques données pétrographiques sur le Flysch helvétique des environs d'Engelberg. — C. R. Soc. phys. et hist. nat. Genève, 61, p. 286.  
— (1946): Sur quelques diabases suisses. Contribution à l'étude du problème des spilites et des pillow lavas. — Bull. Suisse Min. Petr., XXVI, 2, p. 116.  
— (1948): Quelques réflexions à propos de la planimétrie des microconglomérats en plaques minces. — Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 64, 272.  
— (1949a): Sur une particularité des grès mouchetés du Champsaur (Hautes Alpes): Galets ou concrétions? Arch. des Sciences, 2, n° 2, p. 393.  
— (1949b): Problèmes de géologie dauphinoise. — Bull. de l'A. I. P. U. G., série n° 7, p. 1.  
— (1949c): Granulométrie réelle et granulométrie apparente. — Arch. des Sciences, 2, n° 3, p. 423.
- Walter P.** (1950): Das Ostende des basischen Gesteinzuges Ivrea-Verbano und die angrenzenden Teile der Tessiner Wurzelzone. — Bull. Suisse Min. Petr., XXX, p. 1.

- Weber F.** (1934a): Linthal-Tierfeld-Sandalp-Clariden-Tödi-Ponteglias-Truns. – Guide géol. de la Suisse (Exk. 79 A), p. 931.  
— (1934b): Truns-Brigels-Kistenpass-Muttensee-Linthal. – Guide géol. de la Suisse (Exk. 79 B), p. 942.
- Weiler P.** (1933): Zwei oligocäne Fischfaunen aus dem Königreich Ungarn. – Geol. Hung. Ser. Paleont., Budapest II.
- Wettstein A.** (1886): Über die Fischfauna des tertiären Glarnerschiefers. – Abhandl. Schweiz. Palaeont. Ges., Bd. 13.
- Winchell A. N.** (1945): Elements of optical mineralogy. Part II. Descriptions of minerals. – John Wiley and Sons, New-York.
- Winterhalter R. U.** (1933): Petrographische Untersuchung eines augitführenden Tuffes aus der Gegend von Leuk. – Bull. Suisse Min. Petr., XIII, 2, p. 318.
-

## Introduction

On sait que les travaux de W. LEUPOLD ont conduit à diviser l'ensemble du Flysch helvétique en deux parties: le Flysch sudhelvétique (LEUPOLD, 1937) appartenant aux nappes helvétiques internes et le Flysch nordhelvétique qui s'est déposé au Nord ou au Nord-Ouest du précédent. Le domaine du Flysch nordhelvétique est relativement facile à délimiter en Suisse occidentale et centrale; il embrasse la nappe des Diablerets-Gellihorn, la nappe de Morcles-Doldenhorn et le synclinal compris entre cette nappe et l'Autochtone; il se raccorde ainsi au domaine de la Molasse subalpine. En Suisse orientale, la situation paraît plus complexe: nous trouvons au Nord une limite d'érosion ou une limite tectonique, tandis qu'au Sud il se pourrait qu'il existe un passage graduel du Flysch nordhelvétique au Flysch sudhelvétique, la chose n'est pas encore claire. L'apparition des premiers grès de Taveyannaz semble pouvoir servir de critère pour caractériser le début du domaine nordhelvétique. Nous verrons plus loin qu'il est raisonnable d'admettre que le dépôt du Flysch a commencé, dans ce domaine, à la fin du Priabonien et s'est terminé au début du Stampien.

Notons qu'il existe des lambeaux de Flysch nordhelvétique (grès de Taveyannaz, grès d'Altdorf) détachés de la masse principale de ce terrain et situés entre la Molasse subalpine et les Préalpes externes ou les nappes helvétiques supérieures. Il ne sera pas question de ces écailles tectoniques dans ce mémoire.

Nous n'avons nullement la prétention de présenter ici une monographie du Flysch nordhelvétique, car nous avons à dessein négligé maints aspects de cette formation. Notre but essentiel a été l'étude de la constitution pétrographique des niveaux microbréchiqes des grès du Flysch, de manière à suppléer au manque presque total de fossiles et à établir une stratigraphie; la connaissance de la nature des roches en fragments dans les niveaux grossiers du Flysch permet en outre de tirer certaines conclusions paléogéographiques importantes. Nous avons donc laissé de côté l'étude des termes à grain très fin (grès fins, lits schisteux) d'une part, parce que l'analyse microscopique n'avait pas prise sur eux, l'étude des termes à grain très grossier (conglomérats) d'autre part, à cause de leur grande rareté. A ce propos, il convient de ne pas oublier que pour étudier un conglomérat, il faut faire passer une plaque mince dans au moins un exemplaire de chaque type de galets qui le constituent, tandis qu'une seule plaque mince au travers d'un grès microbréchiq nous permet de connaître plusieurs dizaines de fragments différents. Nous avons aussi abandonné, provisoirement, les questions proprement lithologiques et maintes questions ayant trait à la microtectonique.

Les diverses régions dont il sera question ont été travaillées de manière fort inégale; certaines d'entre elles ont été l'objet de recherches plus poussées de notre part, soit parce qu'il s'agissait de «régions-clés» où il était possible d'étudier certains problèmes intéressant l'ensemble du Flysch nordhelvétique, soit parce que des travaux récents facilitaient notre tâche.

Malgré ces diverses carences nous espérons que ce mémoire aidera les géologues chargés de descriptions et de levés de carte détaillés dans les régions où le Flysch nordhelvétique affleure; nous espérons aussi qu'il sera de quelque utilité pour ceux qui s'intéressent à la composition pétrographique de cette formation encore mal connue, au développement de l'orogénèse alpine à la fin de l'Eocène et au début de l'Oligocène, ou encore à la question plus générale des grauwackes, faciès qui a fait récemment l'objet de plusieurs études (FISCHER, 1933; KRYNINE, 1948; PETTIJOHN, 1949).

Une division tripartite de cette publication s'imposait tout naturellement. La première partie comprend la description micrographique des divers types de grès microbréchiqes du Flysch nordhelvétique et de leurs constituants, ainsi qu'un essai de classification de ces grès. Dans la seconde partie on passe en revue les principales régions riches en Flysch nordhelvétique. La dernière partie enfin expose quelques conclusions relatives à la stratigraphie de cette formation, à l'origine des éléments qui la composent, à sa signification paléogéographique et aux problèmes non encore résolus qu'elle nous pose.

PREMIÈRE PARTIE

**Description pétrographique des niveaux  
microbréchiques du Flysch**

Le vocable de microbrèche n'est pas défini de manière très précise. Nous l'emploierons pour désigner une roche détritique assez grossière (dimension des grains les plus gros variant de 1 mm. à 1 cm. environ) constituée non seulement par des fragments de minéraux isolés, mais encore par une proportion appréciable de débris de roches. Nous préférons le terme de microbrèche à celui de microconglomérat ou de micropoudingue parce que l'expérience nous a montré que les fragments de si petite taille sont en général assez anguleux. Notons d'autre part que nous entendons le mot «grès» dans un sens plus général et plus vague l'appliquant tant aux microbrèches qu'aux niveaux plus fins et sans tenir aucun compte de la nature des grains.

Il faudrait, dans une étude pétrographique de microbrèche, apprendre à connaître d'abord les minéraux constitutifs, puis la manière dont ces minéraux s'associent dans divers fragments de roches provenant des roches-mères du sédiment et enfin examiner de quelle façon les débris de roches et de minéraux isolés s'associent, avec parfois adjonction d'un ciment d'origine chimique, pour former les divers types de microbrèches. Pratiquement, il n'est cependant pas toujours favorable, ni même simplement possible, de procéder à cette étude en suivant l'ordre logique que nous venons de mentionner.

L'examen de plus de 900 plaques minces provenant des spécimens du Flysch nordhelvétique de la Suisse laisse entrevoir que l'on peut distinguer trois grands groupes de grès facilement reconnaissables sous le microscope.

Nous trouvons dans un premier groupe des grès très riches en fragments de roches effusives à faciès andésitique (andésites et spilites): les grès de Taveyannaz.

Un second groupe comprend des grès, souvent microbréchiques, passablement plus polygéniques que ceux du groupe précédent; le matériel d'origine volcanique est moins abondant et une partie des débris à faciès andésitique sont remplacés par des fragments de diabases spilitiques à structures très particulières. Nous nous servons pour désigner ces couches du nom de grès du Val d'Illiez. Il n'est peut-être pas inutile que nous justifions brièvement ce choix, car les niveaux grossiers du même groupe ont été tour à tour désignés par les termes de «grès du Flysch» (Flyschsandstein), grès d'Altdorf et grès de Taveyannaz du Val d'Illiez. Le premier de ces vocables possède évidemment un sens trop vague pour pouvoir être employé. Les règles de la priorité en question de nomenclature favoriseraient l'emploi du terme de grès d'Altdorf. Malheureusement les auteurs se sont servis de ce nom pour désigner des formations pétrographiquement très différentes appartenant à l'un ou à l'autre des trois groupes de grès du Flysch nordhelvétique. Enfin le nom de grès de Taveyannaz du Val d'Illiez est à éviter parce qu'il est trop long et surtout parce que ces grès sont qualitativement et quantitativement bien distincts des vrais grès de Taveyannaz.

Le troisième groupe enfin est caractérisé par des sédiments détritiques ne contenant plus de fragments de diabases, d'andésites ou de spilites. Les niveaux microbréchiques sont très polygéniques à cause de la grande variété des débris de roches sédimentaires, de roches éruptives acides et de roches métamorphiques qui les composent. Nous verrons que ce groupe ne se rencontre qu'en Suisse centrale et qu'il est particulièrement bien représenté dans les grandes carrières des environs de Matt et, sous un faciès grossier souvent conglomératique, dans le Gruontal. On peut sans risque d'ambiguïté désigner ces roches sous le nom de grès de Matt-Gruontal.

Remarquons que le terme de grès d'Altdorf dont nous avons parlé ci-dessus est généralement appliqué, avec certaines exceptions, à des grès des deux derniers groupes; il est donc possible de conserver ce

vocable pour désigner l'ensemble du Flysch nordhelvétique n'appartenant pas au groupe des grès de Taveyannaz.

Nous avons condensé diverses données sur la nomenclature du Flysch nordhelvétique dans la table I. Ces données peut-être un peu confuses au début deviendront plus claires dans la suite. Il nous faut maintenant, dans cette première partie, décrire la composition pétrographique des microbrèches du Flysch, justifier ainsi notre division tripartite et tenter de subdiviser chaque groupe.

Table I

Correspondances entre diverses nomenclatures des grès du Flysch nordhelvétique

I	II	III
Grès d'Altdorf . . .	(«Grès de Massongex») Grès de Matt-Gruontal Grès du Val d'Iliez	(Grès de Val d'Iliez)  Grès de Taveyannaz du Val d'Iliez
Grès de Taveyannaz.	Grès de Taveyannaz IV Grès de Taveyannaz II et III	Grès de Taveyannaz s. str.

Remarque: Colonne I = Nomenclature proposée par BRÜCKNER (1946).  
Colonne II = Nomenclature utilisée dans le présent travail.  
Colonne III = Nomenclature utilisée dans des publications antérieures.

Nous avons mis entre parenthèses les «grès de Massongex» (= grès de Vaulruz) pour indiquer qu'ils ne se placent pas nécessairement au-dessus des grès de Matt-Gruontal. Ils forment, en Suisse occidentale, les couches de passage du Flysch à la Molasse.

### Chapitre premier

## Les éléments constitutifs des grès de Taveyannaz

Les grès de Taveyannaz ont retenu depuis longtemps l'attention des géologues et de nombreux auteurs ont émis des hypothèses plus ou moins vraisemblables au sujet de l'origine de leurs éléments. En revanche, nous ne possédons que de rares descriptions pétrographiques détaillées de ces roches. A la fin du siècle dernier, L. DUPARC et E. RITTER (1895) ont minutieusement décrit une série de plaques minces faites dans divers échantillons provenant de Haute-Savoie; toutefois, l'ouvrage qui fait autorité en la matière et qui restera encore longtemps fondamental, est celui de F. DE QUERVAIN (1928). Le but de ce chapitre et du suivant n'est donc pas de remplacer cette publication de base, mais simplement de la compléter en apportant ici ou là quelques faits nouveaux ou en présentant sous un jour un peu différent les relations entre les diverses espèces de grès de Taveyannaz. Ce n'est qu'en un ou deux points que nous nous croirons autorisé à interpréter différemment certaines observations de notre prédécesseur.

Il importe de remarquer en outre que DE QUERVAIN s'est beaucoup intéressé à la lithologie des grès de Taveyannaz (granulométrie, caractères des séries lithologiques, phénomènes d'écrasement, etc.). Il s'est occupé principalement des grès de Taveyannaz les plus typiques, c'est-à-dire de ceux qui sont très riches en roches volcaniques fraîches. Il a de ce fait laissé volontairement en dehors de son étude les grès des groupes II et III dont il connaît sinon la composition, du moins l'existence. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, le but de notre travail est différent puisqu'il s'agit surtout d'instaurer un peu d'ordre dans nos connaissances concernant l'ensemble du Flysch nordhelvétique, d'établir une stratigraphie et d'interroger ces formations sur l'aspect de la chaîne alpine au moment de leur dépôt. L'examen pétrographique n'est plus ici une fin en soi, mais bien un moyen très puissant d'arriver à une fin plus générale.

## § 1. Les fragments de roches volcaniques. Les structures

Les fragments de roches volcaniques sont non seulement l'élément caractéristique des grès de Taveyannaz, mais ils sont encore prépondérants du point de vue quantitatif puisqu'ils forment plus de la moitié du volume de la roche (voir table XI).

Ces fragments ont un faciès andésitique, c'est-à-dire qu'en plaques minces leur aspect rappelle celui des andésites: structure porphyrique déterminée par des phénocristaux trapus de plagioclase et par de plus rares phénocristaux d'augite ou de hornblende englobés dans une pâte à grain très fin. Nous verrons plus loin pourquoi il est plus juste de parler de roches à faciès andésitique ou d'«andésite» (entre guillemets) que d'andésites s. str.

Ces débris, tout en appartenant manifestement à une seule et même famille de roches, n'en présentent pas moins une grande variété de types distincts. Il sied donc de donner une vue d'ensemble de cette diversité en l'ordonnant.

Les principaux minéraux de ces roches volcaniques appartiennent à quelques espèces qui se répartissent naturellement en deux groupes:

- a) Les minéraux en majeure partie d'origine magmatique: un plagioclase qui est de beaucoup le plus important des éléments constitutifs, puis, assez subordonnées, des augites (photo 11) et des hornblendes vertes ou brunes (photo 12).
- b) Les minéraux considérés comme secondaires, bien que tel ne soit pas toujours le cas (voir p. 82): des chlorites jouant un rôle de premier plan; divers minéraux d'altération riches en chaux: calcite, zoïsite ou clinozoïsite, épidote, prehnite, sur lesquels nous reviendrons au paragraphe 2; de la séricite.

Il convient d'ajouter à cette liste quelques minéraux très accessoires d'origine tant primaire que secondaire: minéraux opaques (oxydes de fer, pyrite), du sphène et des produits de décomposition leucocéniques, de la biotite, de l'apatite, etc. Le verre volcanique qui a peut-être existé peu après la consolidation de ces roches semble avoir presque totalement disparu par recristallisation.

Il est assez malaisé d'établir une classification rationnelle des divers types d'«andésites». DE QUERVAIN a proposé une classification fondée sur les différences de la structure de la pâte; tout en adoptant ce mode de classement, nous tenterons de le doubler par un second mode de classement faisant appel aux différences de constitution minéralogique. Du point de vue stratigraphique, ce dernier mode paraît rendre de plus grands services que le premier. Il faudrait en outre, pour être complet, admettre un troisième mode de classement fondé sur le type et le degré d'altération des fragments de roches volcaniques. Nous renoncerons cependant à cette troisième classification, parce que l'altération dépend en partie de la composition primaire de la roche et parce que nous ignorons encore beaucoup des lois qui la régissent; nous grouperons simplement ensemble les types de fragments présentant des traces d'altération très nettes.

La classification structurale que nous allons proposer fait appel, à l'instar de celle utilisée par DE QUERVAIN, à la structure de la pâte finement cristalline entourant les phénocristaux de plagioclase et d'éléments ferromagnésiens.

La nomenclature structurale des roches volcaniques est encore très inadéquate à la complexité des structures observées; elle est à la fois irrationnelle et incomplète. Force nous est bien cependant, en attendant des termes meilleurs et universellement employés, de nous servir des noms de structure habituels quitte à préciser l'acceptation nouvelle que l'on est contraint de leur donner dans certains cas.

La pâte des roches volcaniques étudiées ici est constituée de petits cristaux de plagioclase auxquels s'associent parfois de rares granules d'augites ou de hornblendes, d'une masse de fond chloritique presque isotrope et de poussières ou de petits amas de minéraux opaques ou semi-opaques. Les cristaux de plagioclase sont l'élément important de la structure, ce sont eux qui déterminent sa trame (VUAGNAT, 1946). Il convient d'établir notre classification structurale en tenant compte de leur forme, de leur taille, de leur abondance relativement à la masse de fond et de leur disposition géométrique les uns par rapport aux autres.

Nous relevons tout d'abord l'existence de roches où la pâte est presque entièrement constituée par la masse de fond chloritique: les «andésites» à structure vitrophyrique (fig. 1, 10/a, photo 1).

L'examen de la forme des cristaux de plagioclase de la pâte permet de distinguer les fragments de roches à structure felsitique (granules isométriques, souvent arrondis) de ceux à structure microlitique (cristaux à section rectangulaire allongée).

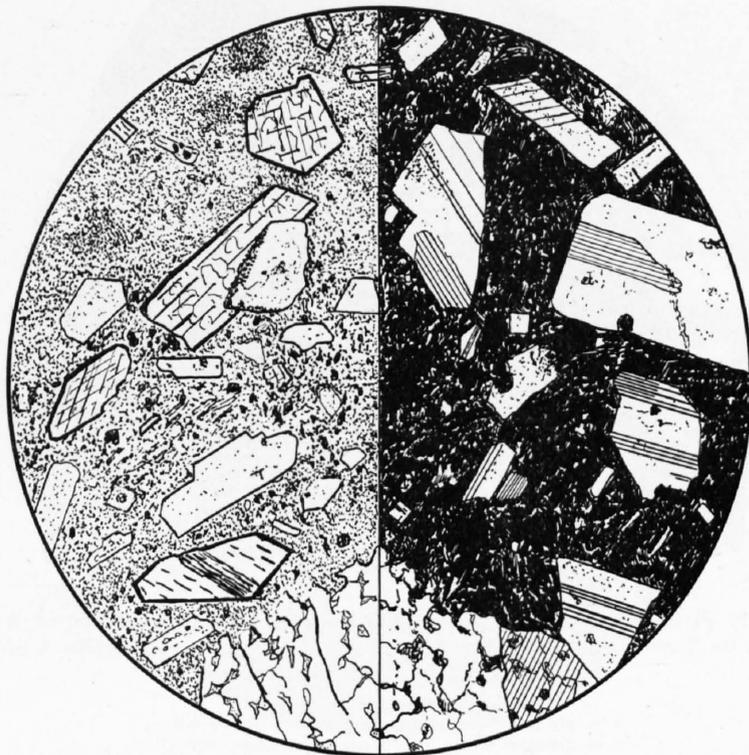


Fig. 1. Plaque 988. Rochers du Van s/Taveyannaz. Grès de Taveyannaz II. Spilite vitrophyrique à hornblende.

Grossissement env.  $40\times$ , L. N. <sup>1)</sup> et  $N\times$  <sup>1)</sup>. Phénocristaux d'albite et de hornblende (contour marqué d'un trait épais); pâte vitrophyrique avec tendance felsitique.

La structure felsitique est peu variable. Lorsque la proportion de la masse de fond chloritique est importante, la pâte apparaît très sombre entre les nicols croisés. On peut distinguer deux variantes en tenant compte de la taille des granules feldspathiques. Dans la structure felsitique fine ces derniers sont très petits (quelques millièmes ou quelques centièmes de millimètres) et leur taille est peu variable (fig. 2, 10/b, photo 2). Dans la structure felsitique grossière la taille des granules est en revanche plus grande et surtout plus variable d'un individu à l'autre; dans certains cas, on observe même des termes de passage aux phénocristaux qui ont alors une forme curieuse, arrondie, et des contours indentés (fig. 3).

La structure microlitique présente un très grand nombre de variantes que l'on ne peut qu'imparfaitement désigner par les termes structuraux classiques. Trois facteurs de structure sont susceptibles de variations:

- a) Le rapport de la quantité de microlites à la quantité de la masse de fond peut varier d'une valeur presque nulle; on rejoint alors la structure vitrophyrique, à des valeurs se rapprochant de l'unité dans les types très «cristallins».
- b) La taille des microlites est toujours petite puisque les phénocristaux eux-mêmes n'atteignent pas toujours 1 mm. de diamètre. Il faut cependant noter que, dans certaines variétés, la taille des microlites est très différente de celle des phénocristaux; l'histogramme représentant la fréquence

<sup>1)</sup> L. N. = lumière naturelle;  $N\times$  = nicols croisés.

des cristaux en fonction de leur taille présenterait alors deux maxima très accusés et nettement séparés l'un de l'autre (fig. 4, photo 3). Dans ces cas qui indiquent deux temps de consolidation bien distincts, nous ferons suivre le terme structural de l'épithète fine (par ex.: structure hyalopilitique fine).

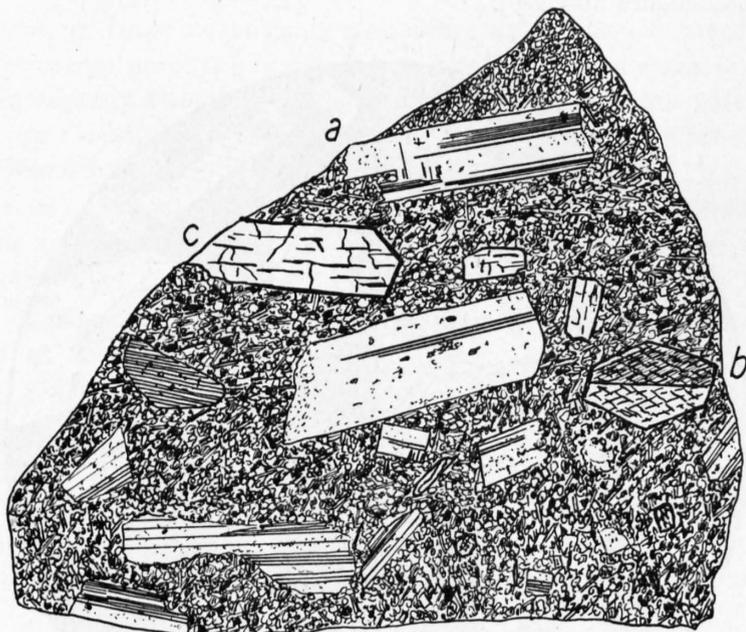


Fig. 2. Pl. 819. Versant gauche du Schächental entre Unterschächen et Aesch.  
Grès de Taveyannaz II pauvre en éléments ferromagnésiens. Spilite felsitique  
à hornblende et augite.

Gross. env. 40 ×, N ×.

- a* = phénocrystal d'albite maclé selon albite et actine;
- b* = phénocrystal de hornblende brune maclée sur (100);
- c* = phénocrystal d'augite.

Pâte felsitique avec tendance vers la structure pilotaxique.

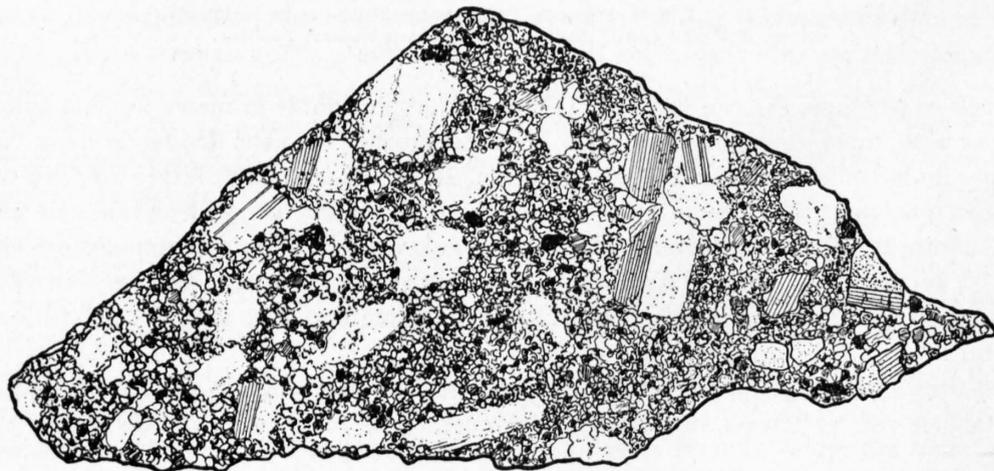


Fig. 3. Pl. 967. Vallée de l'Avançon d'Anzeindaz, sous Chaux Ronde de Taveyannaz.  
Grès de Taveyannaz IV. Spilite felsitique grossière albito-chloritique.

Gross. env. 30 ×, N ×. Phénocristaux d'albite à contours irréguliers dans une pâte felsitique grossière.

A l'opposé, nous observons des roches où la taille d'un grand nombre de cristaux de plagioclase est intermédiaire entre celle des microlites s. str. et celle des phénocristaux s. str. L'histogramme caractéristique de ces roches pourrait ne présenter qu'un seul maximum ou deux maxima peu distincts. Il n'existe pas, en français, de terme particulier permettant de désigner ces

structures que les auteurs allemands nomment parfois «serialporphyrisch» (NIGGLI, 1948, p. 147). Nous suppléerons à la carence de la nomenclature en faisant suivre le terme structural de l'épithète grossière dans les cas où il y a passage graduel des microlites aux phénocristaux (p. ex.: structure hyalopilitique grossière, fig. 5, photo 4).



Fig. 4. Pl. 783. Riedertal, Schächental. Grès du Val d'Iliez se rapprochant d'un grès de Tavayannaz IV. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique fine. Gross. env. 100 ×, N ×. Phénocristaux d'albite et de minéraux ferromagnésiens chloritisés (sections noires).



Fig. 5. Pl. 201<sub>2</sub>. La Pâle, Val d'Iliez. Grès du Val d'Iliez. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique grossière. Gross. env. 45 ×, N ×. Phénocristaux d'albite de taille variable passant graduellement aux microlites.

c) L'orientation des microlites est aussi un caractère susceptible de varier entre deux extrêmes. D'un côté les structures où les microlites disposés au hasard ne présentent aucune orientation privilégiée (fig. 4 et 10/d, photo 7), de l'autre les structures fluidales ou trachytiques où les microlites tendent à s'orienter parallèlement les uns aux autres (fig. 6, 7, 8, photo 9).

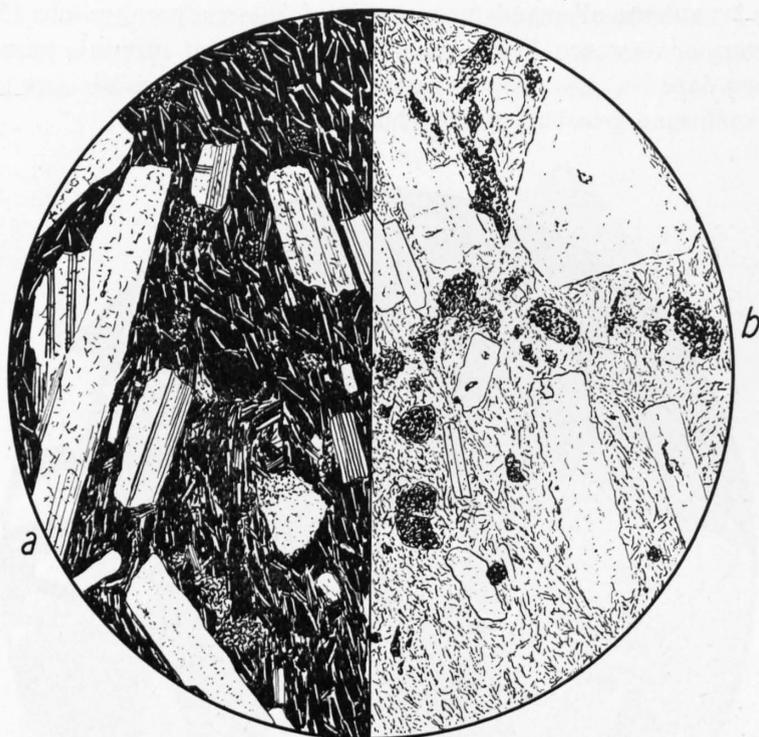


Fig. 6. Pl. 978. Rochers du Van s/Taveyannaz. Grès de Taveyannaz IV. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique fine fluidale.

Gross. env. 100 ×, L. N. et N ×. *a* = phénocrystal d'albite; *b* = amas de sphène-leucocène. Notez l'arrangement subparallèle des phénocristaux et des microlites épars dans la masse de fond chloritique.

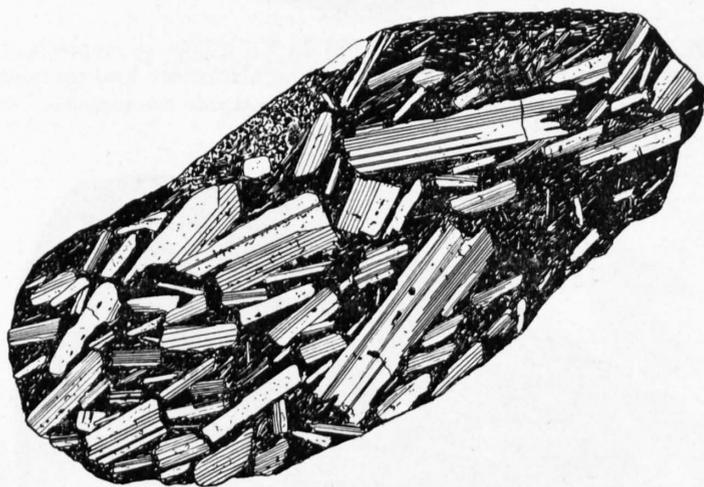


Fig. 7. Pl. 1300. Wespen, Schächental. Grès de Taveyannaz IV. Spilite albito-chloritique à structure hyalopilitique grossière fluidale.

Gross. env. 20 ×, N ×. Notez l'arrangement parallèle ou subparallèle des phénocristaux qui passent graduellement aux microlites.

Il importe de noter que chacun des trois caractères passés en revue ci-dessus (quantité relative, taille relative et orientation des microlites) peut varier d'une manière continue entre deux termes extrêmes. Une structure microlitique pourrait donc être assez adéquatement représentée par un point situé à l'intérieur d'un cube; les trois coordonnées du point indiqueraient quantitativement les trois caractères structuraux de la roche considérée.

Nous avons résumé ce que nous venons d'expliquer dans un tableau (table II, p. 10). La moitié supérieure de ce tableau correspond aux structures où la masse de fond est assez abondante, tandis que la moitié inférieure correspond aux structures très « cristallines », riches en microlites. La colonne de gauche comprend les structures sans orientation privilégiée et la colonne de droite les structures fluidales ou trachytiques. Nous avons indiqué, sous chaque terme structural fin, son correspondant grossier. On trouvera en outre dans ce tableau les abréviations au moyen desquelles nous désignerons les types

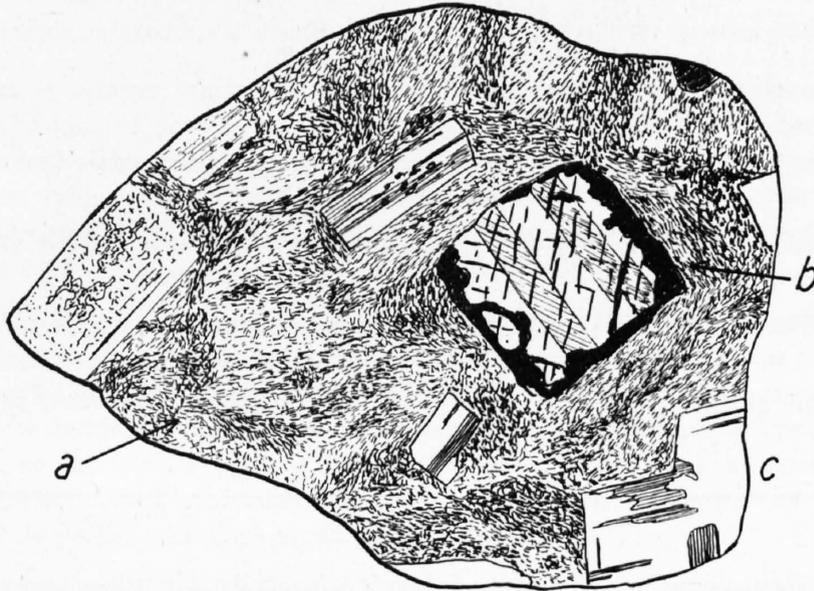


Fig. 8. Pl. 1227. Elm, Sernftal. Grès de Taveyannaz II. Spilite trachytique fine à augite.

Gross. env. 75 ×, N ×.

- a = pâte trachytique, tendance vers la structure pilotaxique;
- b = phénocrystal d'augite maclé et chloritisé dans sa partie périphérique;
- c = phénocrystal d'albite maclé selon albite et acine.

structuraux ailleurs, les correspondances avec les types décrits par DE QUERVAÏN (1928) et les numéros des dessins et photos illustrant cette terminologie structurale.

Ce tableau rend de grands services dans la description des roches à structure microlitique. On est cependant souvent débordé par la réalité qui est plus complexe. Cette complexité provient de trois facteurs principaux :

- a) Il existe des structures intermédiaires entre les types felsitiques et microlitiques (association de grains arrondis et de microlites allongés) (fig. 3).
- b) L'altération a souvent modifié la structure initiale. Un feutrage très fin de couleur grise ou beige, parfois peu transparent, a envahi une partie de la pâte. Ce feutrage est formé de minuscules minéraux d'altération. Les « andésites » du type « La Berte » (voir p. 49) présentent un cas de ces modifications (fig. 9).
- c) Il existe enfin de rares fragments de roches présentant des structures nettement aberrantes ne rentrant pas dans le cadre défini ci-dessus. Ainsi on rencontre dans certains grès de Taveyannaz IV (voir plus loin p. 39) des débris de roches à structure diabasique intersertale (photo 14) que nous retrouverons dans les grès du Val d'Illiez.

Table II

Structures les plus communes des roches à faciès andésitique

	str. vitrophyrique, v (1) [fig. 1, photo 1]	
	str. felsitique fine, fe (5 a) [fig. 3, photo 2]	
	str. felsitique grossière, feg (5 b) [fig. 2]	
str. hyalopilitique fine, h (2 a, 2 b) [fig. 4, photo 3]		str. hyalopilitique fluidale fine, ht (2 b) [fig. 6]
str. hyalopilitique grossière, hg (2 c) [fig. 5, photos 4, 5]		str. hyalopilitique fluidale grossière, hfg (2 c) [fig. 7, photo 6]
str. pilotaxique fine, p (2 b) [photo 7]		str. trachytique fine, t (2 b) [fig. 8, photo 9]
str. pilotaxique grossière, pg (2 c) [photo 8]		str. trachytique grossière, tg [photo 10]

Légende

Les chiffres et lettres entre parenthèses rondes, qui viennent à la suite des abréviations structurales, se réfèrent aux types de structure analogues décrits par DE QUERVAIN (1928, p. 7). Les indications entre parenthèses carrées ont trait aux dessins et microphotos illustrant les types structuraux.

Dans la partie inférieure du tableau la teneur en microlites augmente de haut en bas et l'orientation de ces microlites devient de plus en plus parallèle de gauche à droite.



Fig. 9. Pl. 12 (La Berte). Galet dans le conglomérat de La Berte (Val d'Illeiz). Grès du Val d'Illeiz. Spilite albito-chloritique à structure felsitique type «La Berte».

Gross. env. 25 ×, L. N. Phénocristaux séricitisés d'albite; phénocristaux calcitisés et chloritisés de hornblende (contour des sections marqué par un trait large); amas de minéraux opaques ou semi-opaques.

## § 2. Classification minéralogique

Une classification minéralogique des roches volcaniques en fragments dans les grès de Taveyannaz doit naturellement être fondée sur la nature du plagioclase et des éléments ferromagnésiens. Nous distinguerons donc les types suivants:

- A. Andésites et basaltes vrais.
- B. Spilites albitiques avec éléments ferromagnésiens frais.
- C. Spilites albito-chloritiques.
- D. Andésites riches en produits d'altération calciques avec éléments ferromagnésiens frais ou altérés.

**A. Andésites et basaltes vrais.** Ces roches sont caractérisées par la présence d'un plagioclase intermédiaire ou basique et de minéraux ferromagnésiens frais: pyroxènes et hornblendes. Il semble que ce type n'existe pas dans les grès de Taveyannaz suisses; il convient cependant de le mentionner, car il paraît être assez fréquent dans certaines microbrèches des grès de Taveyannaz de la Savoie et du Dauphiné. Il se reconnaît facilement à l'allure très fraîche du plagioclase qui possède généralement une structure interne zonée.

**B. Spilites albitiques avec minéraux ferromagnésiens frais.** Ce type diffère du précédent par la présence d'albite en lieu et place du plagioclase intermédiaire ou basique (voir plus bas § 3). On le trouve fréquemment dans les grès de Taveyannaz suisses. Les éléments ferromagnésiens sont de l'augite et de la hornblende; cette dernière peut être verte ou brune. On pourra subdiviser ce groupe de roches en une variété augitique, en une variété à hornblende et en variétés à augite et à hornblende. L'albite de ce type de roche a une allure fraîche, ses macles polysynthétiques sont bien nettes, tout au plus contient-elle de petites inclusions de chlorite ou de séricite.

**C. Spilites albito-chloritiques.** Les seuls éléments constitutifs essentiels de ces roches sont de l'albite et de la chlorite. L'albite d'allure assez fraîche possède les mêmes caractères que dans le type précédent, la chlorite est isotrope ou presque isotrope, vert pâle. Elle forme une pâte entourant phénocristaux et microlites de feldspath et constitue fort souvent de grandes plages dont les contours sont fréquemment identiques à ceux des sections de hornblende (photo 13) ou d'augite du type B. Nous placerons sous la même rubrique les spilites albito-chloritiques qui contiennent une quantité modérée de minéraux d'altération calciques ne paraissant pas provenir de la décomposition du plagioclase. Ces spilites du type C forment la plus grande partie des roches volcaniques des grès de Taveyannaz.

**D. «Andésites» riches en produits d'altération calciques.** Les sections des roches de ce type apparaissent truffées de minéraux d'altération tels que: clinozoisite, épidote, prehnite, calcite. Ces minéraux en grains très fins constituent souvent des agrégats qui envahissent tout le fragment et même le débordent en s'étendant dans le ciment encaissant. Les sections de plagioclase ont une teinte gris sale et les macles polysynthétiques ne sont plus guère visibles.

Il est probable que ce type dérive par altération du type A (andésites fraîches). On peut, d'autre part, distinguer deux sous-types suivant le degré d'altération de l'augite et de la hornblende. Dans le premier (D) on trouve encore des restes inaltérés de ces minéraux, dans le second (D') ils ont en revanche complètement disparu.

Les minéraux secondaires calciques dont il est question ci-dessus sont un carbonate (très probablement calcite) et divers silicates de chaux hydratés. Parmi ces derniers il y a lieu de distinguer de petits prismes de zoisite ou de clinozoisite, des grains verdâtres de pistacite et des plages d'un minéral curieux que nous avons été incapable de déterminer pendant longtemps.

Un grossissement suffisamment puissant révèle que les plages de ce minéral énigmatique sont généralement formées d'un agrégat de tout petits cristaux en orientation parallèle; il est de ce fait naturel que leur détermination soit très malaisée. Dans quelques cas, en particulier dans certains grès de Taveyannaz du Kiental (v. p. 58), ce minéral paraît avoir plus largement cristallisé, notamment dans de petites veinules. On note alors les caractères optiques suivants: ellipsoïde biaxe positif, angle des axes

(2 V) moyen, réfringence de 1,60–1,65, biréfringence aux alentours de 0,020–0,025. Ces caractères semblent indiquer que l'on est en présence de prehnite (WINCHELL 1945, p. 430).

Souvent ces agrégats de minéraux d'altération ont un grain si fin qu'il est impossible de les déterminer avec certitude et qu'il est légitime de parler de saussurite.

DE QUERVAIN (1928, p. 20) a donné dans sa monographie une liste fort complète et une description minutieuse des minéraux d'altération présents dans les grès de Taveyannaz; le lecteur qui désirerait sur ce sujet plus de détails que nous n'en avons donnés est prié de se reporter à cet ouvrage. Il y apprendra notamment qu'augites et hornblendes ne s'altèrent pas seulement en chlorite, mais aussi en quartz, calcite, épidote, minéraux opaques et agrégats à grain très fin (kéliphite).

DE QUERVAIN a tenté de classer les éléments volcaniques des grès de Taveyannaz en prenant comme critère le degré d'altération de leurs minéraux constitutifs. A première vue cette classification présente certaines ressemblances avec celle proposée ci-dessus. Cette analogie n'est cependant que superficielle, car nous n'avons encore fait aucune hypothèse sur l'origine primaire ou secondaire de l'albite et de la chlorite des types B et C. Nous verrons plus loin (p. 82) qu'il y a tout lieu de penser qu'une partie au moins de ces minéraux sont contemporains de la formation de la roche et ne proviennent pas d'une altération atmosphérique ou sous-marine. Seuls les fragments de roches du type D montrent, comme nous l'avons déjà relevé, les signes manifestes d'une décomposition.

On trouvera dans la table III un résumé de la classification minéralogique faisant l'objet de ce paragraphe. Il existe naturellement d'innombrables types intermédiaires entre les types principaux B, C et D suivant la proportion des augites et hornblendes intactes et l'abondance plus ou moins grande des minéraux d'altération calciques.

Table III

Composition minéralogique des divers types de spilites, d'andésites (ou basaltes) des grès de Taveyannaz

Minéraux ferromagnésiens	Feldspaths		
	Andésine, labrador	Albite	Albite, minéraux d'altération calciques abondants
Hornblendes, augites fraîches	A Andésite, basalte	B Spilite à augite ou (et) à hornblende	D Andésite ou basalte altéré
Hornblendes, augites transformées surtout en chlorite		C Spilite albitochloritique	D' Andésite ou basalte altéré

On voit que, si on tient compte de la structure et de la composition minéralogique, on peut admettre un nombre infini de variétés de roches volcaniques appartenant toutes cependant à une même famille assez homogène, à facies andésitique.

Un point fort intéressant, et que l'on est loin d'avoir élucidé, a trait au problème d'une corrélation éventuelle entre la structure et la composition minéralogique. Certains types de structure sont-ils réalisés de préférence ou même exclusivement dans des fragments de composition minéralogique déterminée? Sont-ils au contraire complètement indépendants de la composition? Seules des recherches minutieuses possédant un caractère statistique permettront sans doute de répondre à des questions de ce genre.

### § 3. Le plagioclase des roches volcaniques

Le feldspath constitue l'élément essentiel des fragments de roches volcaniques des grès de Taveyannaz; sa détermination a donné lieu à certaines confusions; il importe donc de consacrer quelques lignes à ce sujet. Un premier examen suffit pour voir que le feldspath est un plagioclase (macles polysynthétiques, indice); en revanche, la basicité de ce minéral est plus difficile à déterminer. La méthode employant les indices de réfraction donne rarement de bons résultats du fait des innombrables et minuscules inclusions qui criblent les sections de plagioclase; il faut recourir à d'autres techniques.

DE QUERVAIN a employé la platine universelle de FÉDOROFF pour déterminer 18 plagioclases choisis dans des échantillons de grès de Taveyannaz suisses; il est arrivé aux résultats suivants: 13 individus ayant entre 35 % et 40 % d'anorthite; 1 entre 35 % et 40 %; 2 entre 25 % et 30 %; 1 entre 10 % et 15% et 1 entre 0 % et 5 %. Il est probable que les résultats indiquant une teneur proche de 30-35 % proviennent d'une erreur d'interprétation. On peut en effet démontrer qu'il est impossible de distinguer par la méthode de FÉDOROFF de l'albite et de l'andésine acide, à moins que l'on dispose d'un nombre de directions cristallographiques (macles, clivages) suffisant, ce qui n'était pas le cas dans les plagioclases choisis par DE QUERVAIN. Il est évident que l'on peut lever cette ambiguïté si l'on dispose d'autres données (angle des axes optiques, indices).

Nos observations nous conduisent à admettre que le plagioclase des roches volcaniques des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illiez suisses est de l'albite. Voici quels sont nos arguments:

#### A. Arguments négatifs.

1° Ces plagioclases ne possèdent jamais une véritable structure zonée.

2° La solution andésine exigerait une fréquence anormale de la loi de macle albite-Ala B assez rare en général; DE QUERVAIN (1928, p. 15) a du reste remarqué cette anomalie d'autant plus surprenante que la loi albite-Ala ne se rencontre pas dans les plagioclases plus basiques des grès de Taveyannaz de Savoie.

#### B. Arguments positifs.

1° On voit, lorsque les conditions d'observation le permettent, que l'indice du plagioclase est à peu près égal à celui du baume de Canada.

2° Le signe optique observé sur des sections isotropes paraît ou douteux ou positif.

3° Les angles d'extinction déterminés sur des sections normales à l'indice  $n_p$  et montrant deux directions cristallographiques (par exemple des lamelles d'albite et de péricline) correspondent aux valeurs d'albites plus ou moins pures.

4° L'argument décisif en faveur de notre point de vue est une série de plus de 60 déterminations effectuées au moyen du microscope de FÉDOROFF sur des sections présentant suffisamment de directions cristallographiques pour qu'il ne puisse y avoir ambiguïté. Ces mesures ont toutes donné de l'albite<sup>1)</sup>.

Nous avons, au cours de ces déterminations, relevé la fréquence de la loi de macle d'acine et le fait que l'angle des axes optiques  $2V$  était généralement plus grand que l'indiquent les tables. Notons encore que les roches volcaniques des grès de Taveyannaz de la Savoie et du Dauphiné contiennent quelques fois des plagioclases réellement plus basiques (labrador, andésine) généralement zonés.

### § 4. Eléments constitutifs non volcaniques. Minéraux. Ciment

Les roches autres que les roches volcaniques décrites ci-dessus ne jouent qu'un rôle très subordonné dans les grès de Taveyannaz typiques; ce n'est que dans les variétés qui se rapprochent des grès du Val d'Illiez que le matériel non volcanique commence à devenir important.

Nous nous contenterons de mentionner brièvement les principaux débris d'origine non éruptive, car nous retrouverons la plupart d'entre eux lorsque nous traiterons des grès du Val d'Illiez, le lecteur pourra du reste consulter la monographie DE QUERVAIN (1928, p. 25) s'il désire plus de détails.

<sup>1)</sup> On trouvera des détails concernant ces déterminations dans un article sur l'albite des roches spilitiques que nous publierons sous peu dans les Archives des Sciences, Genève, vol. 6 (1953).

Le matériel non volcanique se répartit ainsi :

- a) Matériel éruptif acide granitoïde. — C'est le plus abondant, il comprend des granites proprement dits, des variétés aplitiques constituées de quartz et de feldspaths divers, des agrégats composés uniquement de feldspath, des microgranites à pâte granophyrique et des porphyres quartzifères.
- b) Matériel sédimentaire calcaire. — Il est représenté par des calcaires à grain fin, d'allure parfois dolomitique et par des calcaires gréseux.
- c) Matériel divers. — Nous plaçons ici les rares fragments de grès, de schiste, de quartzite, de chert ou de radiolarite et de gneiss.

Les minéraux isolés qui se trouvent dans les grès de Taveyannaz proviennent de la désagrégation des roches étudiées au cours de ce chapitre, en majeure partie naturellement du matériel volcanique qui est la source des grains d'albite, d'augite et de hornblende ainsi que des écailles de chlorite. Le matériel non volcanique a fourni du quartz en quantité parfois notable, des feldspaths, en particulier du microcline et des perthites, de la muscovite et de la calcite. Il est à noter que le quartz se présente soit en grains formés d'un seul cristal, soit en agrégats polycristallins composés de quelques individus différemment orientés et présentant parfois une extinction onduleuse.

En résumé, les minéraux isolés des grès de Taveyannaz sont essentiellement du feldspath (albite, feldspath potassique en quantité subordonnée), de l'augite, de la hornblende, du quartz et de la chlorite. Il convient d'ajouter à ces quelques espèces divers minéraux accessoires, dont quelques-uns sont très peu fréquents (DE QUERVAIN, 1928, p. 27) : muscovite, biotite, apatite, tourmaline assez abondante dans certains spécimens, zircon, grenat, rutile et sphène. Les grains de calcite sont difficilement discernables de la calcite formant parfois ciment.

Dans la majorité des cas, le ciment des grès de Taveyannaz est formé de fines particules des minéraux énumérés ci-dessus. Les fragments de roches sont parfois assez distants les uns des autres et la structure porphyroclastique (NIGGLI, 1948, p. 186) est nette, le grain du ciment étant fin par rapport aux fragments ; le plus souvent les fragments se touchent presque et, si ce n'était la présence de quelques grains anguleux de quartz, on croirait à première vue avoir sous les yeux une roche volcanique compacte.

Dans d'autres cas, il existe cependant un ciment différencié généralement peu abondant, soit un carbonate recristallisé, probablement de la calcite, soit une pâte presque cryptocristalline constituée par les produits d'altération calciques décrits à la page 11. DE QUERVAIN (1928, p. 29) mentionne en outre, comme éléments accessoires de certains ciments, une zéolite et des minéraux opaques (limonite, pyrite) en quantité parfois non négligeable.

## Chapitre II

### Les diverses espèces de grès de Taveyannaz

Le chapitre précédent était consacré à la description des éléments constitutifs des grès de Taveyannaz. Il s'agit maintenant de voir s'il est possible de distinguer différents types de grès et d'obtenir ainsi une classification satisfaisante de ces roches.

#### § 1. Les divers critères de classification

Il convient, pour bien poser le problème, de distinguer d'abord les divers critères rendant possible un essai de classification et de voir ensuite si ces critères ont une valeur stratigraphique ou paléogéographique capable de nous aider à atteindre notre but général.

L'allure macroscopique constitue un premier critère de classification. Ce critère, tout empirique et rudimentaire qu'il soit, peut cependant rendre de grands services lorsqu'on a pour tâche de lever la carte géologique d'une région riche en affleurements de grès de Taveyannaz ; nous en dirons quelques mots plus loin (p. 18).

Les autres critères font appel à l'observation microscopique. Le plus naturel d'entre eux consiste à se servir des différences qualitatives et quantitatives dans les associations de roches et de minéraux primaires constituant les grès de Taveyannaz.

On pourrait aussi tenter un essai de classification fondée sur le degré et le mode d'altération des minéraux primaires et justifier cette tentative en arguant de l'importance des phénomènes d'altération dans les grès de Taveyannaz.

Notons aussi que DE QUERVAIN (1928, p. 35) a subdivisé le complexe en se servant des caractères granulométriques des roches. Il distingue:

- a) Type de structure A: roches isoclastiques avec grain de  $< 0,5$  mm.
- b) » » » B: » » » » 0,5–1 mm.
- c) » » » C: » hétéroclastiques avec grain de  $< 0,5$ –2 mm.
- d) » » » D: » » » » 0,5–4 mm.
- e) » » » E: roches iso- et hétéroclastiques avec grain moyen de 0,5–5 cm. (max. 10 cm.).
- f) » » » F: conglomérat hétéroclastique; taille des gros éléments variant de quelques cm. à 1 m.

Passons rapidement en revue la valeur des divers critères mentionnés ci-dessus.

Les caractères granulométriques sont trop variables pour donner de bons renseignements stratigraphiques. Il en est de même des caractères d'altération qui ne dépendent que partiellement de la composition primaire du grès. Seul le premier critère microscopique mentionné (diverses associations de roches et de minéraux primaires) paraît pouvoir servir de fondement à une classification possédant une valeur stratigraphique. Nous verrons dans la suite que cet espoir se justifie, en partie du moins.

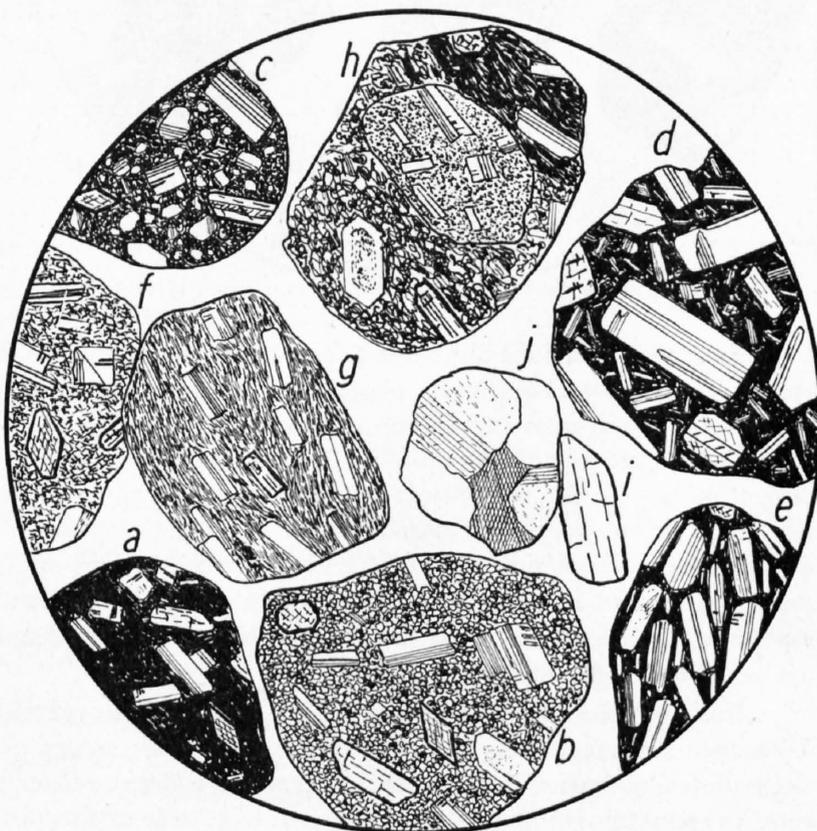
## § 2. Classification fondée sur la composition

Avant d'exposer cette classification, il sied de faire quelques remarques préliminaires. Les minéraux des grès de Taveyannaz sont, nous l'avons vu, très peu variés; certains peuvent provenir de roches

Fig. 10. Schéma micrographique d'un grès de Taveyannaz de l'espèce II.

Cette figure, entièrement schématique, résume la composition des grès de Taveyannaz II en représentant réunis les éléments caractéristiques de cette espèce de grès. Grossissement fictif: environ 10  $\times$ . Les fragments sont représentés comme ils apparaissent entre les nicols croisés.

- a = spillite vitrophyrique à hornblende;
- b = spillite felsitique fine à hornblende et augite;
- c = spillite à hornblende et augite possédant une structure intermédiaire entre la structure vitrophyrique et la structure felsitique grossière;
- d = spillite augitique (section d'augite avec clivages à angle droit et lamelle de maclé) à structure hyalopilitique grossière;
- e = andésite albite-chloritique à structure hyalopilitique grossière fluidale;
- f = spillite pilotaxique fine à hornblende (notez le cristal d'albite maclé selon Bavéno);
- g = spillite trachytique fine à augite;
- h = fragment tuffoïde formé de débris spillitiques à structures variées. Certains des fragments spillitiques sont peut-être des andésites altérées, tous contiennent de l'albite;
- i = cristal isolé et brisé d'augite;
- j = agrégat de quartz et de feldspaths provenant de la désagrégation de granite.



très différentes (les feldspaths par exemple), telles sont les raisons qui nous ont conduit à porter notre attention en premier lieu sur les caractères qualitatifs et quantitatifs des associations de fragments de roches, plus particulièrement de roches volcaniques. Le chapitre I nous a appris que ces roches pouvaient différer tant par leur structure que par leur composition. Il ne semble cependant pas que les différences de structure à l'intérieur du groupe des «andésites» puissent revêtir une signification stratigraphique générale; elles sont en effet en relation avec les conditions de refroidissement, en général fortuites, des coulées mères. Il est cependant fort possible que, dans une région restreinte, on arrive dans la suite à montrer que certains types structuraux caractérisent certains niveaux.

Les grès de Taveyannaz qui contiennent des fragments d'andésites vraies (type A) riches en andésine ou labrador inaltérés constituent une espèce que nous laisserons de côté parce que nous ne l'avons jamais rencontrée en Suisse (espèce I).

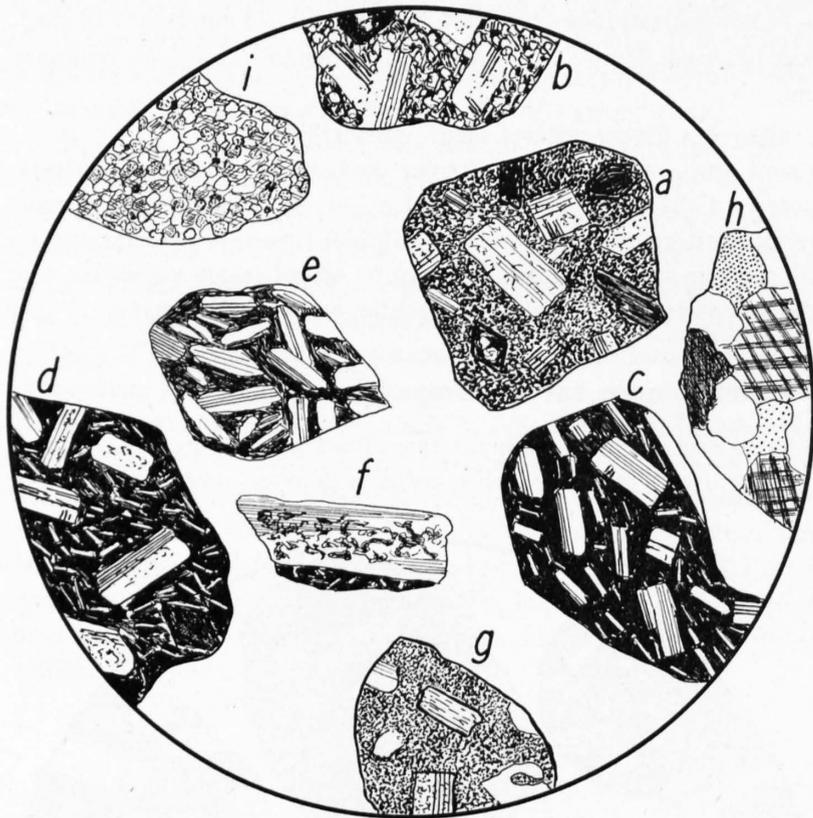


Fig. 11. Schéma micrographique d'un grès de Taveyannaz de l'espèce IV.

Mêmes remarques et même grossissement fictif que pour la fig. 10.

- a* = spillite albito-chloritique à structure felsitique très fine (notez les sections obscures de hornblende chloritisée);
- b* = spillite albito-chloritique à structure felsitique grossière;
- c* = spillite albito-chloritique à structure intermédiaire entre la structure vitrophyrique et la structure hyalopilitique grossière à tendance fluidale;
- d* = spillite albito-chloritique à structure hyalopilitique fine (notez une section en losange de hornblende chloritisée);
- e* = spillite albito-chloritique à structure hyalopilitique grossière pauvre en masse de fond;
- f* = cristal d'albite brisé, farci d'inclusions chloritiques; notez le lambeau de pâte microclitique adhérent encore au feldspath et démontrant l'origine spilitique de ce dernier;
- g* = porphyre quartzifère à pâte felsitique; notez le phénocrystal pyramidé et corrodé de quartz et une section d'une grosse lamelle de chlorite;
- h* = aplité ou granite aplitique à microcline;
- i* = grès à grain fin.

Nous mettrons dans une seconde espèce les grès contenant des fragments à facies andésitique de type B (sous-espèce II *a*) (fig. 10, photo 42) ou de type B et D (sous-espèce II *b*), c'est-à-dire des roches à éléments ferromagnésiens inaltérés accompagnant soit de l'albite relativement fraîche, soit un plagioclase riche en produits d'altération calciques. Cette espèce possède généralement les caractères suivants: proportion très élevée des éléments volcaniques, ciment peu abondant parfois chlorito-zoisitique. La présence d'un ciment calcaire ou marneux est possible, mais semble relever d'un accident local. Remarquons qu'on rencontre aussi dans cette espèce des fragments des types D' et surtout C à éléments ferromagnésiens pseudomorphosés en chlorite. On peut en outre, si cela paraît nécessaire, subdiviser chaque sous-espèce en variétés différant par la nature des éléments noirs (augite, hornblende verte ou brune, etc.) des andésites et des spilites.

Une troisième espèce, étroitement liée à la précédente, réunit les variétés de grès ne contenant plus d'éléments ferromagnésiens inaltérés, mais en revanche encore riches en fragments du type D' farcis de produits d'altération (espèce III). La teneur en matériel volcanique est élevée, le ciment généralement constitué pour une bonne part par un agrégat très fin de minéraux secondaires; le minéral se rapprochant

de la prehnite (v. p. 11) est fréquent dans maint spécimen, quant à la structure primaire des fragments de roches, elle peut avoir disparu par l'effet de l'altération.

La dernière espèce (espèce IV) comprend les grès de Taveyannaz dépourvus de fragments de roches à augite et hornblende fraîche et riches en spilites albito-chloritiques du type C (fig. 11, photo 43). La teneur en éléments volcaniques est variable, mais en moyenne moins élevée que dans les autres espèces. Le caractère de la microbrèche est souvent plus polygénique (roches granitoïdes, calcaires, chert, etc.). Le ciment, peu abondant et riche en chlorite dans la majorité des cas, peut parfois s'enrichir en carbonate. Ces grès ont en général un aspect très frais, les structures des roches volcaniques sont bien conservées; il y a là un contraste frappant entre cette espèce et la précédente.

La table IV donne une vue synoptique des caractères des espèces fondamentales entre lesquelles existent de nombreux termes de transition.

Table IV

Espèces et sous-espèces des grès de Taveyannaz

Eléments caractéristiques	Espèces (sous-espèces) de grès
Andésites ou basaltes vrais (type A)	Grès de Taveyannaz I (semble ne pas exister dans les Alpes suisses)
Spilites à augite ou (et) hornblende (type B); débris d'albite, d'augite ou (et) de hornblende	Grès de Taveyannaz II a
Andésites ou basaltes altérés avec restes d'augite ou (et) de hornblende (type D); minéraux d'altération calciques abondants, débris d'augite ou (et) de hornblende	Grès de Taveyannaz II b
	} Espèce II
Andésites ou basaltes altérés sans augite ou (et) hornblende fraîches (type D'); minéraux d'altération calciques abondants, absence de débris d'augite ou de hornblende	Grès de Taveyannaz III
Spilites albito-chloritiques (type C); débris d'albite, écailles de chlorite	Grès de Taveyannaz IV

*Remarque:* Nous avons donné, après les fragments de roches caractéristiques, les divers minéraux qui permettront, dans certains cas, de déterminer des spécimens de grès fins.

### § 3. Données quantitatives

Nous avons tenté de compléter les observations du paragraphe précédent par des données quantitatives ou semi-quantitatives, afin de fournir aux chercheurs qui auraient à étudier des grès de Taveyannaz, une base de comparaison aussi objective que possible. Dans ce but nous avons fait une série de mesures au moyen de la platine d'intégration automatique de Hurlbut et décrit en détail deux plaques minces caractéristiques des espèces II et IV.

On trouvera les résultats des intégrations planimétriques réunis dans les tables X et XI au chapitre VII.

#### Description d'une plaque mince d'un grès de Taveyannaz de l'espèce II (sous-espèce II a)

Plaque 987<sub>1</sub>: Rochers du Van sur Taveyannaz (Vaud).

Aspect du spécimen: Microbrèche verte contenant de rares grains blancs.

Microphotographie n° 42; intégration planimétrique 1 (table X).

Examen microscopique: Roches volcaniques (spilites, dans quelques cas, sans doute, andésites altérées) appartenant aux types suivants: felsitique-vitrophyrique/hornblende et augite (3)<sup>1)</sup>, felsitique-vitrophyrique/augite (1), vitrophyrique-hyalopilitique fine (1), felsitique/augite (1), felsitique/hornblende (4), felsitique, masse de fond gris-beige/augite (1), felsitique grossière/hornblende (1), felsitique hyalopilitique grossière/augite (2), hyalopilitique grossière/augite (3), hyalopilitique-pilotaxique grossière/augite (3), hyalopilitique fluidale grossière/augite (2), hyalopilitique grossière, masse de fond gris-beige/augite (2), hyalopilitique fine/augite (4), hyalopilitique fine/hornblende (1), felsitique-vitrophyrique/albitochloritique (1), felsitique grossière/albitochloritique (1), pilotaxique/albitochloritique (1). La plupart de ces fragments sont pauvres en minéraux secondaires calciques et appartiennent au type B. On note en outre 1 fragment d'une roche éruptive acide (quartz polycristallin) et 1 fragment de roche sédimentaire (quartzite).

Débris de minéraux: albite, quartz, feldspaths alcalins parfois perthitiques, augite, hornblende, chlorite, minéraux semi-opaques (leucoxène?).

Ciment: Le ciment proprement dit est extrêmement peu abondant. Les fragments se touchent souvent si étroitement qu'il est difficile de distinguer leurs limites. On note toutefois par places des plages isolées ou des traînées de carbonate (calcite probable) recristallisé.

Diamètres apparents (en mm.) des fragments les plus grands: 7,7 × 6,4 (spilite); 1,0 × 0,65 (quartz polycristallin); 1,0 × 0,8 (quartzite).

#### Description d'une plaque mince de grès de Taveyannaz de l'espèce IV

Plaque 967<sub>2</sub>: Au-dessous de Chaux Ronde de Taveyannaz, versant droit de la vallée de l'Avançon d'Anzeindaz (Vaud).

Aspect du spécimen: Microbrèche gris assez foncé avec grains anguleux blancs (quartz et roches éruptives acides).

Microphotographie n° 43 (plaque mince faite dans le même spécimen); intégration planimétrique n° 12 (table X).

Examen microscopique: Roches volcaniques (spilites albitochloritiques du type C) possédant les structures suivantes: vitrophyrique (6), felsitique (1), felsitique grossière (1), hyalopilitique fine (3), hyalopilitique grossière (4), trachytique fine (1), hyalopilitique fine-vitrophyrique (4), felsitique-vitrophyrique (2), hyalopilitique grossière-vitrophyrique (1), hyalopilitique fine-felsitique (2). La plupart de ces fragments montrent des sections d'augites ou de hornblendes chloritisées. On remarque en outre un curieux débris de roche verte isotrope contenant de petites plages de carbonate.

Roches éruptives acides: Association quartz et feldspaths (3), quartz polycristallin (2), aplite à microcline (1).

Roche sédimentaire: Grès glauconieux à grains de quartz, de carbonate, de glauconie, de chlorite et de minéral opaque avec ciment calcaire (1). On note aussi un curieux fragment d'une roche formée de plages de quartz farci d'inclusions submicroscopiques.

Débris de minéraux: Ils appartiennent en grande partie aux espèces suivantes: quartz, feldspath (surtout albite d'origine volcanique), chlorite, muscovite (aux endroits où le grain est fin).

Ciment: La structure de la microbrèche tend vers un type porphyroclastique. Le ciment est un grès fin formé par les débris des mêmes minéraux que ceux qui constituent l'ensemble de la roche. Ces minéraux sont associés à une pâte carbonatée assez abondante dans les parties fines du grès, plus rare ailleurs où elle s'agrège en plages cristallines isolées. On note en outre des agrégats semi-opaques de nature incertaine (leucoxène?).

Diamètres apparents (en mm.) des fragments les plus grands des principales catégories d'éléments: 3 × 2,24 (grosse albite d'origine volcanique); 2,8 × 1,43 (aplite); 2,8 × 2,1 (grès glauconieux).

Nous avons renoncé à décrire et à photographier une plaque mince d'un grès de Taveyannaz de l'espèce III; en effet, cette espèce ne semble pas posséder de valeur stratigraphique (voir p. 78) et l'envahissement d'une partie importante de la roche par des agrégats très fins de minéraux secondaires ne permet pas d'en donner une bonne figure.

#### § 4. Relations entre l'aspect macroscopique des grès de Taveyannaz et leur composition

Quelles sont les relations qui existent entre l'aspect macroscopique des grès de Taveyannaz et leur aspect microscopique ou plus exactement leur composition pétrographique telle que la révèle le microscope? Ce problème prend de l'importance lorsqu'il s'agit de lever la carte d'une région riche en grès de Taveyannaz. Il importe en effet de savoir si, sur le terrain déjà, le géologue peut reconnaître les diverses variétés de grès définies au paragraphe 2 (p. 15) ou s'il lui faut toujours attendre les résultats de l'observation en plaques minces.

L'expérience acquise sur le terrain en Suisse nous permet d'avancer que ces grès présentent trois aspects principaux facilement discernables à l'œil nu, en faisant naturellement abstraction des différences d'aspect qui ne seraient dues qu'à des variations granulométriques.

<sup>1)</sup> Les indications précédant le trait oblique (/) se rapportent à la structure des roches, celles qui suivent se rapportent à leur composition. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre des fragments de roches observés dans chaque catégorie.

Une première sorte de grès est caractérisée par une couleur verte assez intense, plus ou moins foncée. Ces grès verts appartiennent généralement à l'espèce II, ils sont assez riches en spilites à éléments ferromagnésiens frais; ce n'est que plus rarement qu'ils correspondent aux roches de l'espèce III.

Une seconde sorte de grès est caractérisée par l'aspect moucheté. Ce faciès si particulier n'est pas un caractère essentiel des grès de Taveyannaz, comme certains auraient tendance à le croire; en réalité ce n'est même pas le faciès le plus fréquent de la formation. Les mouchetures peuvent être plus ou moins distinctes. Elles se présentent généralement comme des taches blanchâtres à contour arrondi, de quelques millimètres de diamètre, se détachant sur un fond vert foncé. Ce phénomène affecte aussi l'intérieur de la roche; il ne s'agit nullement d'une sorte de patine comme on peut en observer à la surface de certains grès d'Altdorf. Les grès mouchetés appartiennent aux espèces II et III, ils sont souvent très riches en produits d'altération calcaïques. Sous le microscope on observe que ces produits sont concentrés dans des espaces correspondant aux taches blanchâtres où l'altération paraît très poussée et où les structures primaires ont presque disparu; entre ces espaces la partie correspondant au fond vert est riche en chlorite, d'aspect plus frais et les fragments de roches y ont conservé leur structure.

Le faciès moucheté devient moins net lorsque la taille des grains augmente, il est rare et peu accusé dans les microbrèches typiques et disparaît dans les conglomérats. Nous nous trouvons en face d'un phénomène de diagénèse que DE QUERVAIN (1928, p. 51) a décrit en détail, sans toutefois pouvoir l'expliquer entièrement. Il est probable que les curieuses concrétions en forme de galets que nous avons décrites ailleurs (VUAGNAT, 1949 *b*) dans les grès mouchetés du Champsaur (Hautes-Alpes, France) sont un phénomène apparenté. Le ou les processus qui sont à la base de ces manifestations mériteraient une étude particulière.

Une troisième sorte de grès de Taveyannaz se distingue des autres par une couleur grise assez foncée. La plupart des échantillons de cette sorte appartiennent à l'espèce IV: ils sont dépourvus d'éléments ferromagnésiens frais et de produits d'altération calcaïques. Il peut cependant arriver que certains spécimens des espèces II ou III présentent aussi une teinte gris-vert.

Une particularité fréquente de ces grès gris est la présence de grains de quartz laiteux disséminés dans la masse de la roche, phénomène marquant le début d'un aspect polygénique qui peut être net dans les cas extrêmes.

En résumé, nous voyons qu'il existe effectivement un certain degré de corrélation entre l'aspect macroscopique des grès de Taveyannaz et leur composition (table V). On aurait toutefois tort de croire que l'on peut à coup sûr déterminer cette composition sans aide autre que l'examen à l'œil nu; même après des observations soignées, il subsiste toujours quelques possibilités d'erreur, ainsi sur une dizaine de spécimens à déterminer, on se trompera peut-être une ou deux fois. D'autre part, lorsqu'on aura appris à mieux connaître les correspondances existant entre l'aspect macroscopique et la composition dans une région restreinte donnée, on pourra fort bien se servir de ces correspondances pour des levés de carte, quitte à faire ultérieurement quelques vérifications microscopiques.

Table V

Correspondances approximatives entre l'aspect macroscopique et la composition (espèces, sous-espèces) des grès de Taveyannaz

Aspect macroscopique	Espèces (sous-espèces) correspondantes
grès vert uni	<i>II a</i> , <i>II b</i> , III
grès verdâtre moucheté	<i>II b</i> , III
grès gris foncé	IV

Remarque: Les sous-espèces en italique correspondent le plus souvent à l'aspect macroscopique indiqué dans la première colonne.

## Les grès du Val d'Iliez — Le matériel volcanique

Le groupe des grès du Val d'Iliez est plus homogène que celui des grès de Taveyannaz. Les éléments volcaniques y jouent encore un rôle important, mais le matériel sédimentaire et éruptif non volcanique est déjà abondant et le ciment, généralement carbonaté, constitue souvent une part non négligeable de la roche.

### § 1. Le matériel volcanique porphyrique

Nous retrouvons dans cette formation des roches volcaniques porphyriques d'origine certainement effusive à faciès «andésitique». Ces roches sont presque exclusivement composées d'albite (cf. p. 13, mesures sur le microscope de FÉDOROFF) et de chlorite, si on néglige de rares minéraux accessoires primaires (minéraux opaques, sphène, apatite, biotite) et quelques minéraux d'altération (calcite, séricite, clinozoïsite fort rare); elles sont très semblables aux spilites du type C que l'on trouve dans maints grès de Taveyannaz, notamment dans ceux de l'espèce IV. Au reste, l'identité de composition minéralogique s'accompagne d'une grande similitude dans les diverses structures de la pâte. La classification proposée au § 1 du chapitre I vaut donc aussi dans ce cas.

Il est cependant deux types de ces spilites sur lesquels nous désirons insister quelque peu parce qu'ils se présentent fréquemment dans de nombreuses plaques minces. Le premier de ces types est caractérisé par une structure felsitique bien marquée (photo 2). Des phénocristaux d'albite trapus et de taille modérée, présentant parfois des macles complexes, et des pseudomorphoses d'augite et de hornblende en chlorite sont cimentés par une pâte albitochloritique très fine, mais nettement cristalline. On note quelques grains de minéral opaque et, dans de rares cas, des paillettes de biotite ayant échappé à la chloritisation.

La structure du second type est différente (photo 5). L'albite forme des sections rectangulaires allongées, maclées presque exclusivement selon une loi dont le plan d'association est parallèle à (010); ces sections sont entourées d'une masse chloritique. Remarquons qu'il n'existe pas de hiatus entre la taille des phénocristaux et celle des microlites (type de structure hg); les cristaux ont fréquemment tendance à s'orienter parallèlement (structure subfluidale); les pseudomorphoses de minéraux ferromagnésiens sont fort rares. Ce dernier trait semble indiquer que dès l'origine la roche n'était formée que d'albite et de chlorite. Notons parfois des traces de protoclaste.

En résumé, le matériel volcanique que nous venons de passer en revue est constitué de fragments de spilites albitochloritiques à faciès andésitique et d'allure très fraîche.

### § 2. Le matériel volcanique diabasique. Généralités

Une autre partie du matériel volcanique des grès du Val d'Iliez est formée de fragments dont la nature diabasique est généralement assez nette, bien qu'il y ait des cas douteux. Nous avons déjà décrit ces fragments ailleurs (VUAGNAT, 1943 b); depuis lors nous avons pu compléter nos observations tant par l'étude de grès du Val d'Iliez des régions autres que le Val d'Iliez que par des recherches sur les diabases spilitiques que l'on trouve en place dans les zones alpines internes. Sans redonner intégralement des descriptions déjà publiées (VUAGNAT, 1943 b, 1946), nous désirons cependant présenter une vue d'ensemble de ces roches dont la présence est le caractère essentiel du groupe des grès du Val d'Iliez, et définir quelques types nouveaux.

La composition minéralogique de ces fragments est encore plus monotone que celle des «andésites». Nous trouvons les minéraux suivants: albite généralement farcie d'inclusion chloritique; chlorite vert pâle presque isotrope, plus rarement jaunâtre et anisotrope; granules à fort relief, teinte gris-beige, allure semi-opaque, constitués par du sphène micro- ou cryptocristallin; minéral opaque indéterminé (hématite probable dans beaucoup de cas); carbonate. Il est difficile d'exclure la présence de minéraux accessoires tels qu'apatite, rutile, clinozoïsite, se présentant en grains très fins; nous ne les avons cependant jamais identifiés à coup sûr.

Nous pouvons distinguer deux sous-groupes en prenant comme critère de distinction le mode d'association de ces divers minéraux. Dans le premier sous-groupe la chlorite s'associe à l'albite qui est le minéral le plus abondant. Diverses variétés, fort proches les unes des autres, diffèrent par la nature du minéral accessoire.

La chlorite est généralement l'unique minéral constitutif essentiel du second sous-groupe très homogène dans son ensemble.

Ainsi aux fragments de roches albito-chloritiques s'opposent de curieux débris presque entièrement chloritiques.

### § 3. Les diabases albito-chloritiques

Nous avons vu qu'il était possible de subdiviser ce sous-groupe en se fondant sur la nature des minéraux accessoires; ce procédé ne permet pas d'aller bien loin, et l'examen de la structure de ces fragments est beaucoup plus fécond. Il est assez malaisé de définir les diverses structures observées, surtout

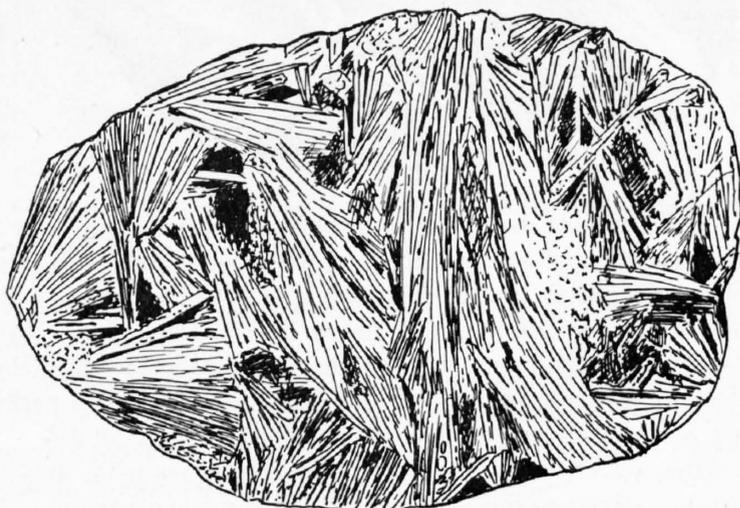


Fig. 12. Pl. 4514. Au-dessus de Mex, Valais. Grès du Val d'Illeiz. Diabase albito-chloritique à structure arborescente.

Gross. env. 45 ×, N ×. Les taches noires correspondent à des amas de chlorite.

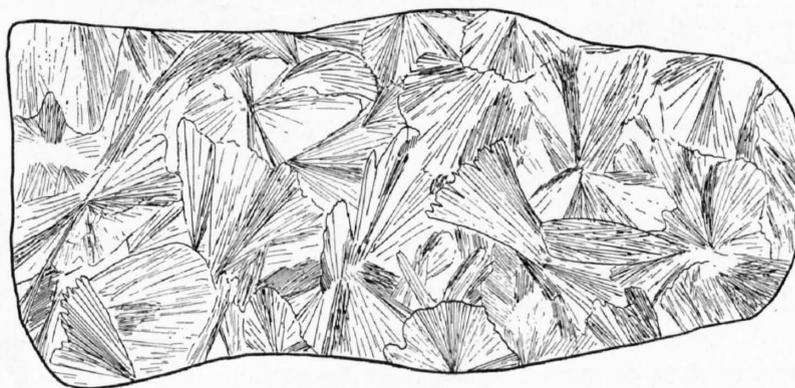


Fig. 13. Pl. 600. Riedertal, Schächental. Grès du Val d'Illeiz. Diabase albito-chloritique à structure sphérolitique fibroradiée.

Gross. env. 45 ×, N ×.

si on renonce à faire appel à l'étude des roches-mères qui ont fourni ces fragments. On peut cependant de prime abord distinguer deux séries de types structuraux: une série que nous nommerons normale, qui est bien homogène et une autre série considérée comme aberrante où il faudra placer des types particuliers, du reste assez rares.

Le type central de la série normale est cette structure que nous avons appelée arborescente (VUAGNAT, 1943 *b*), à la suite de A. MICHEL-LEVY (1892). La trame de la roche est formée par des cristaux aciculaires d'albite qui rayonnent ou s'éparpillent en gerbes à partir de centres irrégulièrement distribués et qui sont cimentés par une chlorite interstitielle associée aux quelques minéraux accessoires mentionnés plus haut, notamment au sphène (fig. 12, photos 16-18). En plus de leur forme générale

très allongée, les cristaux d'albite présentent les caractères suivants: contours indentés, terminaisons multifides, nombreuses inclusions de chlorite et de sphène, habitus parfois squelettique. La structure arborescente peut ainsi passer à une sorte de structure d'implication.

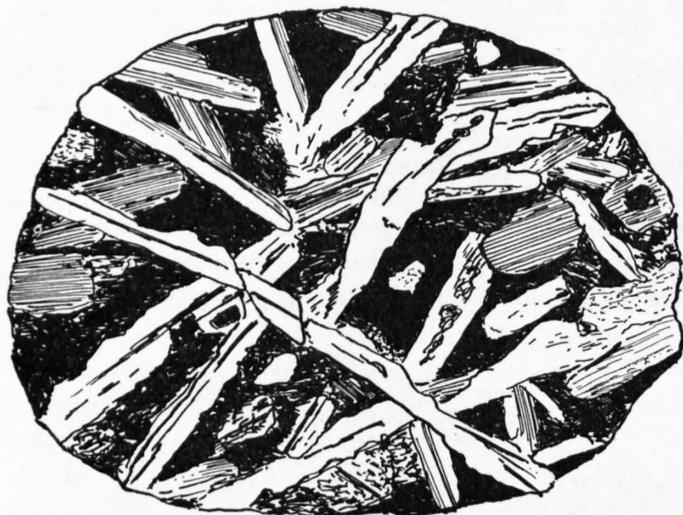


Fig. 14. Pl. 4497. Sentier Les Orgières-Mex (Valais). Grès du Val d'Iliez. Diabase albite-chloritique à structure intersertale divergente.

Gross. env. 65  $\times$ , N  $\times$ . Notez l'habitus allongé et les contours irréguliers des cristaux d'albite, séparés par un fond obscur chloritique.

La variété des types de la série normale est due essentiellement à la plus ou moins grande taille des cristaux d'albite. Lorsque leur dimension diminue, les aiguilles deviennent des fibres très ténues, l'ordonnance radiale autour des centres se fait plus stricte et on arrive à une structure fibroradiée parfois sphérolitique (fig. 13, photo 19-20). Dans les cas extrêmes, il devient impossible de distinguer les cristaux, on observe un fond chagriné s'éteignant par taches parfois avec formation d'une vague croix obscure due aux sphérolites. Il semble que l'on puisse parler de structure fibroradiée cryptocristalline en remarquant que le microscope ne permet pas de distinguer les cristaux, mais que l'anisotropie très nette du fond ne laisse pas subsister de doute sur son état cristallisé.

La taille des cristaux d'albite peut croître. Cette augmentation est accompagnée d'autres variations. Les aiguilles deviennent plus courtes, la structure arborescente moins nette; l'habitus squelettique est plus rare; la chlorite interstitielle paraît plus abondante. On aboutit de la sorte à une structure intersertale divergente (VUAGNAT, 1946, p. 147) (fig. 14, photo 15), c'est-à-dire à une structure intersertale où les éléments de la trame (albite) ont tendance à présenter une vague orientation radiale autour de centres mal définis.

Le terme le plus grossier de la série normale se rencontre dans de rares fragments où les sections larges et peu allongées d'albite laissent entre elles des interstices souvent triangulaires remplis de chlorite accompagnée de minéral opaque, parfois très abondant (fig. 15, photo 14), Il s'agit d'une structure intersertale.



Fig. 15. Pl. 423. Nouvelle route des Giettes au-dessus de Monthey. Grès du Val d'Iliez. Diabase intersertale.

Gross. env. 35  $\times$ , N  $\times$ . La masse de fond chloritique (noire) est peu abondante.

Nous avons précédemment (VUAGNAT, 1943 b) proposé des noms un peu différents (structures arborescentes fines, moyennes, grossières) pour les trois premières structures décrites ci-dessus. Nous donnons plus loin un tableau (table VI) indiquant les correspondances entre l'ancienne nomenclature et la nouvelle. On trouvera aussi dans ce tableau quelques données quantitatives sur la taille approximative des cristaux d'albite dans les divers types.

Table VI

Taille approximative des cristaux d'albite dans les fragments diabasiques

Fragments	Largeur	Longueur	$\frac{\text{Longueur}}{\text{Largeur}}$	Ancienne terminologie
Diabase sphérolitique fibro-radiée . . . . .	0,001	0,4	400	Porphyrite arborescente fine
Diabase arborescente . . .	0,01	0,7	70	Porphyrite arborescente
Diabase intersertale divergente. . . . .	0,05	0,8	16	Porphyrite arborescente grossière
Diabase intersertale . . . .	0,5	1,3	env. 2,5	

Remarque: Les dimensions sont exprimées en millimètres.

On rencontre beaucoup moins souvent les types de structure de la série aberrante; certains sont même des cas uniques. Nous n'en retiendrons que deux.

Structure intersertale étoilée. Les cristaux d'albite sont petits, allongés, avec des extrémités souvent bifides; ils sont noyés dans une masse faiblement biréfringente relativement abondante. Ces sortes de microlites, farcis d'inclusions chloritiques, ont tendance à former des groupements étoilés. Il s'agit nettement d'une structure apparentée à celles de la «série normale» (fig. 16, photo 21).

Structure hiéroglyphique (fig. 17). Dans ce type, albite et chlorite forment une trame d'implication typique. Il n'est plus possible de parler de phénocristaux, de microlites ou de pâte. On remarque des granules de minéral opaque ou de sphène.

On rencontre aussi quelques fois des fragments où la chlorite et l'albite, tout en étant intimement mêlées, se distinguent cependant mieux que dans le cas précédent. On pourrait parler de structure foliacée; il est toutefois probable qu'il s'agit souvent de variétés aberrantes de spilites pilotaxiques grossières (photo 8).



Fig. 16. Pl. 9. Sur Crête s/Val d'Illicz. Grès du Val d'Illicz. Diabase albitochloritique à structure intersertale étoilée.

Gross. env. 70 ×, N ×. Notez les extrémités souvent bifides et l'ordonnance radiale des microlites de feldspath pris dans la masse de fond chloritique obscure.

Nous désirons dire ici deux mots au sujet de fragments d'une roche fort curieuse dont la nature est encore passablement énigmatique. Il s'agit d'agrégats formés de plages isométriques de petite taille extrêmement poussiéreuses, de teinte gris-beige en lumière naturelle. Dans certains cas où la détermination est possible, on constate que ces plages sont du quartz et non du feldspath comme on aurait pu s'y attendre. On trouve des agrégats fort semblables dans la matrice de certains coussins diabasiques de la Basse-Engadine.

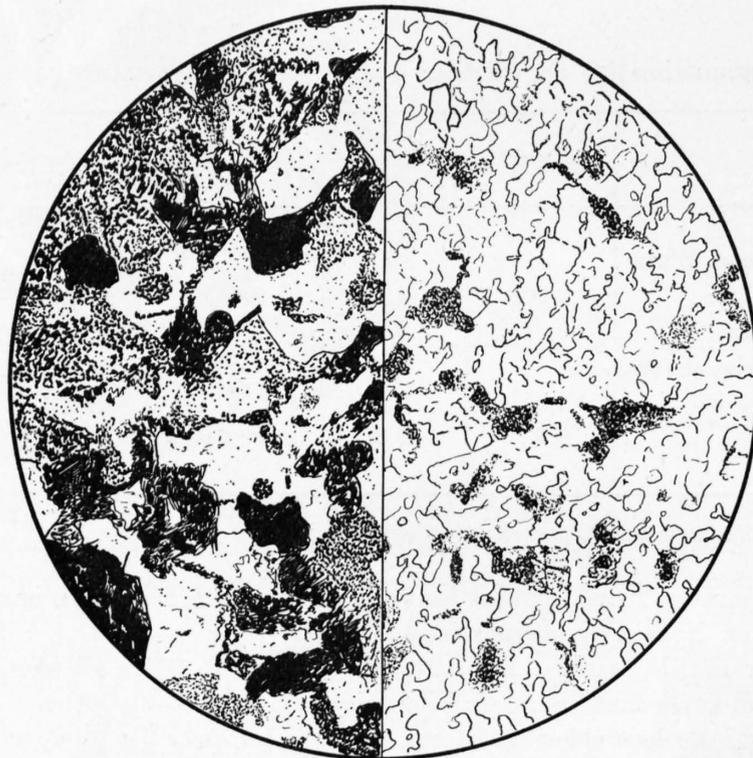


Fig. 17. Pl. 978. Rochers du Van s/Taveyannaz. Grès de Taveyannaz IV.  
Diabase (?) à structure hiéroglyphique, composition albito-chloritique.

Gross. env. 100 ×, L. N. et N ×. Fond formé d'albite et chlorite interpénétrées; amas poussiéreux de sphène-leucoxène.

En résumé, les fragments de diabases albito-chloritiques possèdent en grande majorité les structures de la «série normale». Nous verrons plus loin (p. 81) que ces structures sont précisément celles rencontrées dans les coussins des coulées spilitiques sous-marines. Les fragments possédant les structures aberrantes sont fort rares, ils ne forment sans doute pas plus du centième de l'ensemble des débris diabasiques albito-chloritiques.

#### § 4. Les roches chloritiques

Ces débris sont très remarquables et caractéristiques des grès du Val d'Iliez. Notons que leur forme présente de grandes variations. A côté de grains roulés bien arrondis, nous rencontrons de grands débris anguleux, souvent subtriangulaires, avec parfois des contours concaves; on observe plus rarement, dans les grès qui ont subi des actions mécaniques, des formes très bizarres: esquilles démesurément allongées, s'étirant entre les autres fragments (photo 23) et pouvant même les mouler partiellement.

La constitution de ces fragments est assez constante, ce sont de vraies chloritites, qui diffèrent entre elles par divers détails. Le cas le plus intéressant est celui des grains presque incolores, totalement isotropes, ressemblant à s'y méprendre à des fragments de verre volcanique, mais possédant un indice de réfraction relativement élevé. La chlorite, tout en restant vert très pâle, présente généralement une faible biréfringence qui se traduit surtout par les teintes bleues de dispersion si fréquentes dans les sections de ce minéral. Dans certains cas on relève que la partie bordière du fragment a pris une teinte jaune

et que la biréfringence de la chlorite a augmenté. Sans doute s'agit-il là d'un phénomène d'altération périphérique.

Le minéral accessoire le plus commun est un minéral opaque que nous n'avons pu déterminer. Il forme tantôt des grains assez gros irrégulièrement répartis, tantôt un réseau de très fines veinules anastomosées (photo 22). Dans certains fragments, il paraît être plus abondant près des bords qu'à l'intérieur (fig. 18). Dans quelques cas un carbonate peut aussi remplacer la chlorite et former des plages capricieuses. Exceptionnellement le minéral opaque ou le carbonate, parfois tous deux, peuvent se substituer à la chlorite et devenir prépondérants.

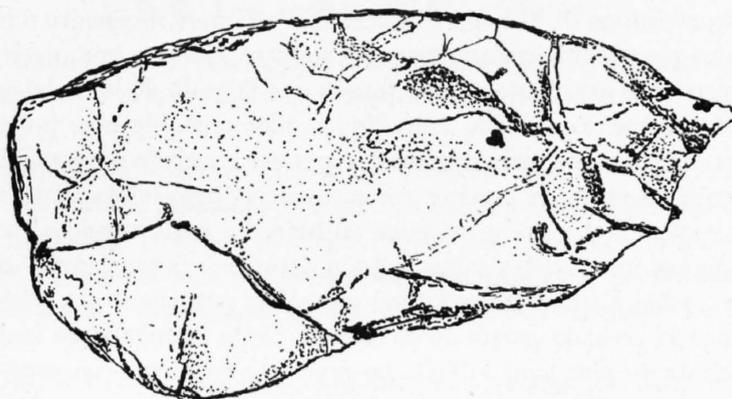


Fig. 18. Pl. 2050. Chemin d'En Nervaux à Drausine, face occidentale de la Croix de Javerne. Grès du Val d'Illeiez. Chloritite.

Gross. env. 75 ×, L. N. L'ensemble du fragment est en chlorite qui contient des poussières et de fines veinules d'un minéral opaque non déterminé.

Un petit groupe de ces fragments de chloritite se distingue par le fait qu'on observe une structure en rubans ou en mailles (photo 24). Il s'agit peut-être, dans ces cas, de débris de serpentine; seule une étude plus poussée permettrait d'affirmer cette origine avec certitude.

Il convient de ne pas terminer ce paragraphe sans mentionner l'existence de fragments rares, mais dont nous verrons plus loin (p. 82) la signification très importante. Nous voulons parler de débris hétérogènes (microchorismatiques) formés de chlorite analogue à celle dont nous venons de nous occuper et

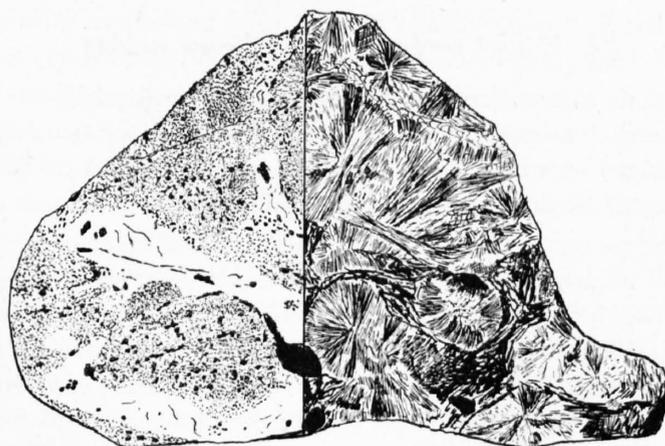


Fig. 19. Pl. 711<sub>2</sub>. Croix de Javerne, Vaud. Grès du Val d'Illeiez. Variolite.

Gross. env. 40 ×, L. N. et N ×. Les varioles, constituées par des sphérolites fibroradiés sans doute albitiques, sont séparées par une masse de fond chloritique contenant des amas de minéral semi-opaque.

de diabase fibroradiée. Divers modes d'association de ces deux constituants sont possibles: fragments anguleux de diabase cimentés par des veinules chloritiques; fragments diabasiques associés à des lambeaux de chlorite adhérent à leur bord; variolites composées de sphérolites mal définis ou de groupes de sphérolites noyés dans une pâte chloritique (fig. 19, photo 25).

## Les roches non volcaniques des grès du Val d'Illez

Nous avons déjà décrit dans une autre publication (VUAGNAT, 1943 b) le matériel non volcanique des grès du Val d'Illez. Etant donné l'extension du domaine d'observation et le caractère très succinct de cette première énumération, il convient de la refaire sur des bases nouvelles, en la complétant.

Nous désirons, au préalable, attirer l'attention sur le caractère particulier de ces déterminations pétrographiques en plaque mince. En effet la diagnose doit ici s'appuyer uniquement sur l'observation microscopique d'un volume infime de la roche étudiée. Il n'est guère nécessaire d'insister sur le fait que, dans ces conditions, on ne peut établir qu'une diagnose souvent assez approximative et sujette à de multiples restrictions. L'incertitude est d'autant plus grande que le grain de la roche est plus grossier et que la structure est plus hétérogène. Les roches volcaniques microcristallines se prêteront bien à la détermination, tandis que les diagnoses de roches profondes grenues seront fréquemment sujettes à caution.

Nous aurons à revenir à plusieurs reprises sur cette incertitude fondamentale due tant à la nature du sédiment étudié (microbrèches) qu'à la méthode d'étude. La seule manière de confirmer les conclusions tirées de ces diagnoses incomplètes serait l'étude détaillée microscopique, chimique et au besoin radiocristallographique (roches à structure très fine) des galets provenant des quelques bancs conglomératiques mentionnés dans la seconde partie de ce travail. Cette recherche de longue haleine fournirait sans nul doute des résultats du plus haut intérêt. Le grave inconvénient que nous venons de signaler ne doit pas nous faire renoncer aux diagnoses microscopiques, mais doit nous engager à les interpréter prudemment.

On peut subdiviser le matériel non spilitique des grès du Val d'Illez en quatre grands groupes :

- a) Les roches porphyriques acides.
- b) Les roches grenues acides.
- c) Les roches métamorphiques.
- d) Les roches sédimentaires.

Nous verrons que, en raison même du caractère déficient des conditions d'observation, certains fragments de roche occupent des positions apparentes intermédiaires entre certains de ces groupes à première vue si distincts les uns des autres.

### § 1. Les roches porphyriques acides

Il s'agit de fragments de roches d'origine volcanique ou subvolcanique (dykes, filons) dont la composition est différente de celle des andésites et des spilites que nous avons décrites plus haut. En effet, on note presque toujours la présence de quartz et souvent celle d'un feldspath potassique. Les différences de structure nous permettront de distinguer diverses familles.

1° Porphyres quartzifères ou rhyolites. — On observe dans ces fragments assez nombreux des phénocristaux de quartz parfois idiomorphes, souvent partiellement résorbés. Parfois, on note en outre des phénocristaux de plagioclase acide, de feldspath potassique altéré et de grandes écailles de chlorite (fig. 11 g). La pâte felsitique très fine (photo 26) rappelle celle des spilites du même type de structure avec lesquelles il peut y avoir risque de confusion si le fragment est très petit. DE QUERVAIN (1928, p. 10) mentionne l'existence de roches dacitiques dans les grès de Taveyannaz. Maintenant que nous savons que le plagioclase caractéristique des éléments volcaniques de ces grès est de l'albite, il devient difficile de distinguer des fragments de dacites de certains débris de porphyres quartzifères ne contenant pas de feldspath potassique. Il faudrait pour trancher la question pouvoir isoler le fragment douteux et l'analyser.

2° Porphyres globulaires. — Les phénocristaux de quartz et de feldspath sont entourés d'une pâte fibroradiée sphérolitique rappelant celle des porphyres globulaires. La présence de quartz (malheureusement pas toujours déterminable) dans cette pâte permet, en l'absence de phénocristaux, de la différencier des diabases fibroradiées. La photo 27 donne un exemple de cette roche.

3° Microgranites. — Ces fragments sont constitués des mêmes minéraux que les précédents, ils en diffèrent toutefois par leur structure plus grossière. On peut distinguer deux variantes. Dans la première, la pâte est un agrégat granophyrique possédant une structure d'implication typique; dans la seconde, la pâte est microgrenue (photo 28). Ces roches paraissent occuper une position intermédiaire entre les porphyres quartzifères à pâte felsitique ou globulaire et les roches dont nous traiterons au paragraphe suivant. Remarquons qu'il n'est légitime de parler de microgranite que dans la mesure où les fragments contiennent suffisamment de phénocristaux pour permettre une diagnose sûre.

## § 2. Les roches acides grenues

Ces roches ont la composition minéralogique des granites. C'est en étudiant ce groupe de fragments dont le grain est relativement grossier qu'il convient d'être particulièrement prudent en donnant les diagnoses.

1° Aplites micrographiques. — On rencontre fréquemment des fragments où le quartz et le feldspath constituent une association possédant une structure d'implication graphique correspondant à ce que l'on nomme parfois structure micropegmatitique (photo 29). Lorsque le grain est fin on se rapproche de la structure granophyrique de la pâte de certains microgranites (voir ci-dessus). Il se pourrait qu'une partie de ces débris provienne d'associations myrmécitiques caractéristiques de certaines roches granitoïdes (voir p. 36).

2° Aplites. — Si nous réunissons dans cette famille tous les fragments composés de grains de quartz et de feldspath, elle devient la plus importante du groupe des roches éruptives acides. Il est cependant assez net qu'il faut la subdiviser en deux. D'une part, des aplites vraies où les plages généralement petites et régulières de quartz et de feldspath forment une association finement grenue (fig. 11 *h*) parfois en mosaïque. D'autre part, des fragments constitués de quelques grains de feldspath et de quartz, généralement plus gros que dans le cas précédent, provenant sans doute en grande partie de la destruction de granites.

En effet, on observe dans beaucoup de granites des parties où les éléments blancs sont complètement prédominants. Nous pensons que ces parties dont la taille (quelques dixièmes de millimètre, parfois quelques millimètres) est du même ordre que celle de beaucoup de fragments des microbrèches, ont mieux résisté à l'usure que les autres parties de la roche. Leurs restes sont probablement ces nombreux débris de pseudo-aplites.

La supposition que nous venons de faire n'est pas entièrement théorique. Lorsque la taille des fragments est suffisamment grande, on observe généralement quelques paillettes de mica.

3° Granites. — Les microbrèches grossières présentent, en plus des associations pseudo-aplitiques que nous venons de mentionner, des fragments franchement granitiques. Apparemment il semble exister plusieurs variétés de granites. Le feldspath peut être de l'albite, un feldspath potassique, orthose ou microcline ou une association de plusieurs feldspaths. Le minéral magnésien ou ferromagnésien est un mica: muscovite, biotite ou une association des deux.

Il n'est cependant pas certain que cette variété apparente corresponde à une variété réelle; la petite taille des fragments étudiés peut de nouveau nous induire en erreur. Supposons en effet un granite à orthose, albite, muscovite et biotite; sa désagrégation pourra fort bien donner des fragments où le seul feldspath sera de l'albite, d'autres où, au contraire, l'orthose seule sera représentée, d'autres encore où la muscovite aura disparu. Nous voyons bien que toutes ces variétés apparentes correspondent à une même roche mère et il serait faux de parler d'un granite albitique, d'un granite à orthose, d'un granite à biotite, etc.

Seule l'étude des galets des conglomérats nous permettra de porter un jugement définitif sur la nature de ces granites.

4° Plagioclasites. — On rencontre fréquemment dans les grès du Val d'Illiez des fragments dont l'origine reste incertaine. Ils sont constitués, sous le microscope, d'une mosaïque de plages isométriques, souvent assez grandes (0,2 à 2 mm. de diamètre) d'un plagioclase acide (fig. 22 *i*, photo 30). Ce minéral a généralement un aspect poussiéreux dû à d'innombrables inclusions (séricite); dans de très rares cas il

est clair et bien transparent. Les cristaux sont trapus, parfois maclés selon la loi de macle d'albite, beaucoup plus rarement selon celle de péricline ou d'acline. Les lamelles de macles peuvent être très peu distinctes.

La détermination de la teneur en anorthite du plagioclase est très difficile; on ne peut se servir de l'indice de réfraction à cause de la séricitisation; les directions cristallographiques de référence dans les sections optiquement orientées sont rares. Quelques mesures indiquent cependant de l'albite à 0-5 % d'An. Il semble donc s'agir dans certains cas de véritables albitites.

La roche qui a donné naissance à ces fragments était-elle aussi constituée uniquement de plagioclase, ou ne retrouvons-nous que des parties d'une roche plus complexe? Il y a là une question analogue à celle concernant l'origine des débris de pseudo-aplite.

Dans quelques cas de la chlorite s'associe en petite quantité au plagioclase. Nous verrons plus loin la signification possible de cette observation (p. 85).

5° Fragments de quartz polycristallins. — Sous leur forme la plus typique, ces débris sont constitués par l'association de cristaux de quartz limpide formant des plages allotriomorphes. Les contours de ces plages sont souvent indentés (photo 31). On peut rattacher à ce type diverses variétés différant tant par leur structure que par la présence de rares minéraux accessoires. Ainsi on observe une série de termes de passage entre des quartz normaux et des quartz ayant subi des déformations mécaniques de plus en plus intenses. Les plages présentent tout d'abord une extinction onduleuse, puis des stries de Böhm apparaissent de plus en plus nettes, donnant parfois naissance à une magnifique structure diaprée (photo 32); dans des stades plus avancés, la plage se subdivise en individus différemment orientés; dans certains termes extrêmes, la roche semble avoir subi une lamination, les plages forment des sections allongées (photo 33). Les minéraux accessoires qui peuvent dans quelques cas s'associer au quartz sont le feldspath et des écailles d'un minéral phylliteux (chlorite ou muscovite).

La vraie nature de ces fragments est difficile à déterminer sans ambiguïté. Nous avons généralement le choix entre plusieurs possibilités: débris de quartz filonien, amas de quartz écrasé tels qu'on en trouve dans la protogine, quartzites métamorphiques. Quelle que soit leur origine, ces fragments jouent un rôle de premier plan dans les grès du Val d'Iliez, ne serait-ce qu'en raison de leur abondance.

### § 3. Les roches métamorphiques

L'importance de ce groupe est restreinte; les débris qui en font partie ne sont ni fréquents, ni caractéristiques des grès du Val d'Iliez. Nous serons donc très bref dans leur énumération.

1° Gneiss. — Le principal critère qui permet de distinguer les fragments de gneiss de ceux de granites est l'orientation des minéraux lamellaires: muscovite ou séricite, biotite, chlorite. Cette orientation est réglée dans les premiers, quelconque dans les seconds. D'autre part, le grain des gneiss paraît un peu moins grossier que celui des granites et la structure plus nettement allotriomorphe. Fréquemment cependant ces critères ne sont pas déterminants et il subsiste un doute concernant la nature gneissique ou granitique de tel fragment.

2° Micaschistes. — On passe insensiblement des gneiss aux micaschistes (v. p. 36) lorsque la teneur en feldspath diminue. On rencontre aussi quelques débris de chloritoschistes passant à des quartzites chloritiques peut-être métamorphiques.

### § 4. Le matériel sédimentaire

Le matériel sédimentaire des grès du Val d'Iliez est varié et abondant; il est possible de le subdiviser en quatre parts:

- A. Les roches carbonatées.
- B. Les roches détritiques.
- C. Les roches schisteuses argileuses et marneuses.
- D. Les roches siliceuses.

### A. Les roches carbonatées

1° Les calcaires dolomitiques. — Ces roches forment une famille très homogène et importante. Ils sont formés de petites plages isométriques de carbonate dont la taille varie de quelques centièmes à quelques dixièmes de millimètres de diamètre lorsqu'on passe d'un fragment à l'autre. Dans la majorité des cas la structure est isogrenue (photo 34); elle peut cependant être hétérogrenue et parfois même porphyroïde (fig. 23 g). Ces fragments se reconnaissent souvent, à l'œil nu, à leur teinte jaune ocre due à l'altération superficielle. Il est naturellement malaisé d'affirmer que le carbonate est dans tous les cas de la dolomie. Nous verrons plus loin (p. 36) que l'on trouve des galets analogues d'allure dolomitique dans le conglomérat du Gruontal.

Dans quelques cas, on observe sous le microscope de vagues structures à grain plus fin que le reste de la roche; peut-être s'agit-il de traces d'organismes (algues?) ou d'oolites (photo 35).

2° Calcaires communs. — Certains fragments de calcaires ne possèdent pas la structure en mosaïque des calcaires dolomitiques. Ces roches sont très peu typiques; elles peuvent différer entre elles par la taille du grain et par la présence ou l'absence d'un voile de matière argileuse qui diminue la transparence des sections observées en plaque mince.

3° Calcaires à organismes. — Dans des cas malheureusement très rares on peut observer dans des fragments de calcaires du type 2 des restes généralement peu distincts d'organismes. Notons cependant que CH. DUCLOZ (1944, p. 17) a découvert un galet de calcaire présentant une faune priabonienne, plus particulièrement des Nummulites. Dans ce cas également c'est l'étude des galets des bancs conglomératiques qui permet d'espérer les plus beaux résultats.

4° Calcaires gréseux. — On rencontre parfois des fragments constitués d'une masse carbonatée à grain très fin où sont dispersés des grains de quartz. Lorsque la proportion de ce minéral augmente on passe insensiblement à certains fragments qu'il faut classer dans le second sous-groupe: celui des roches détritiques.

### B. Les roches détritiques à grain de taille moyenne

1° Grès calcaires. — C'est la famille la plus importante du sous-groupe en ce qui concerne la fréquence des fragments. La composition de ces roches est peu variable, l'élément détritique le plus important est le quartz.

2° Grès siliceux. — Le grain de ces roches est souvent plus fin que celui des grès ordinaires dont elles se distinguent par la présence de silice isotrope cryptocristalline ou amorphe dans le ciment. Ce dernier peut contenir en outre du carbonate, parfois en plages recristallisées. Notons dans quelques cas de fines lamelles de mica.

3° Quartzites. — Ces roches ont déjà été mentionnées dans le paragraphe 3. Il est souvent assez difficile de les distinguer de certains quartz polycristallins (voir plus haut p. 28); lorsque les plages arrondies de quartz forment une sorte de mosaïque isogrenue, le doute n'est guère possible; il en est de même lorsque de fines lamelles de chlorite constituent un élément accessoire (fig. 22 j).

### C. Les roches schisteuses

1° Marnes micacées schisteuses. — On trouve assez fréquemment dans les microbrèches du Val d'Illicz des débris généralement allongés et brunâtres de roche sédimentaire à grain fin. Le microscope permet de constater qu'il s'agit de roches schisteuses; on note de très petits grains de quartz, de fines paillettes d'une phyllite (séricite, peut-être illite), du carbonate (sans doute calcite), des granules opaques et un voile de matières argileuses, brunâtres, formant de vagues traînées et rendant parfois le fragment semi-opaque.

Nombres de ces débris rappellent les marnes micacées schisteuses (schistes marno-micacés) intercalées entre les bancs gréseux du Flysch et proviennent peut-être d'un remaniement subaquatique de

ces lits plus fins. Le fait que, malgré leur dureté assez faible, ces fragments ont cependant une taille plus grande que celle des autres débris plus résistants, appuierait cette hypothèse.

2° Roches siliceuses schisteuses. — Nous mettons dans cette famille des débris formés de très petits cristaux de quartz et de fines écailles d'un minéral phylliteux orientées dans une direction commune. Peut-être serait-il tout aussi exact de rattacher ces fragments au sous-groupe des roches siliceuses.

#### D. Les roches siliceuses

Les fragments de roches siliceuses jouent un rôle très important; ils sont caractéristiques des microbrèches polygéniques du Flysch nord-helvétique et permettent de tirer des conclusions intéressantes sur l'origine des éléments de ces microbrèches. Bien que moins fréquentes que les calcaires ou que les roches granitoïdes, ces roches siliceuses sont cependant représentées par quelques débris dans presque chaque plaque mince.

1° Radiolarites. — Ces roches assez rares constituent une famille du plus haut intérêt. Elles sont formées d'un agrégat felsitique extraordinairement fin de quartz contenant des taches arrondies plus claires dont le diamètre maximum moyen se situe autour de 0,06–0,12 millimètres. Ces taches ont généralement une structure différente de celle du fond, elles peuvent être remplies de silice fibroradiée (calcédonite), et leur bord possède parfois de petites dents (photo 36). Il s'agit sans nul doute de sections de radiolaires.

Divers minéraux accessoires peuvent s'associer à la masse de fond siliceuse; le plus important est un minéral opaque à reflet rougeâtre, sans doute de l'hématite, qui forme une très fine poussière donnant à certains grains de radiolarite la teinte rouge caractéristique des jaspes.

2° Cherts. — Les fragments les plus fréquents du sous-groupe des roches siliceuses sont constitués d'un agrégat felsitique très fin analogue à la masse de fond des radiolarites, mais sans traces d'organismes. On peut rattacher à cette famille des fragments cryptocristallins presque isotropes. L'interprétation de ces fragments est sujette à une certaine ambiguïté. L'hypothèse la plus simple consiste à les assimiler à des débris de cherts dépourvus de radiolaires, en donnant au mot chert le sens que lui donnent les auteurs de langue anglaise (PETTICORN, 1949, p. 320), qui est plus large que celui admis par L. CAYEUX (1929, p. 413). Nous croyons que cette hypothèse est la bonne dans la majorité des cas, mais il est impossible d'exclure a priori d'autres possibilités, certains fragments pourraient en effet provenir de quartzite ultrafin, ou de la pâte de spilites albito-chloritiques à structure felsitique, ou encore de la pâte de porphyres quartzifères. Peut-être parviendra-t-on à éliminer certaines de ces possibilités en faisant, au moyen d'objectifs à immersion, une étude détaillée de la pâte de ces diverses roches.

3° Cherts carbonatés. — Certains fragments très semblables à ceux de la famille précédente contiennent un peu de carbonate. Ce carbonate se présente généralement en petits rhomboèdres parfaitement idiomorphes, donnant de jolies sections en losanges (fig. 22 m, photo 38). Le carbonate peut prendre parfois une teinte brune qui semble indiquer qu'il s'agit d'ankérite limonitisée (photo 37). La genèse de ces cristaux est sans doute métasomatique; dans quelques cas on peut même se demander si elle n'est pas postérieure au dépôt du grès, car on trouve des rhomboèdres assez semblables dans le ciment de celui-ci.

4° Spongolites. — Les spongolites vraies analogues à celles des grès de Matt-Gruental (voir p. 37) sont extrêmement peu fréquentes dans les grès du Val d'Illicz. En revanche, il n'est pas rare de rencontrer des fragments brun-rougeâtres, peu transparents, formés d'une masse de fond quasi isotrope et de spicules peu nets carbonatés provenant peut-être d'éponges. Dans la suite, nous désignerons ces roches sous le nom de spongolites rousses de manière à les distinguer des spongolites typiques. La photo 39 reproduit un de ces débris.

Nous n'avons nullement la prétention d'avoir décrit tous les types de fragments que l'on peut trouver dans les grès du Val d'Illicz; il y a bien des cas rares, bien des variétés particulières que nous avons passés sous silence, car les niveaux microbréchiques de cette formation sont de vrais musées pétrographiques. La table VII résume ce chapitre et le précédent; l'astérisque indique les éléments les plus caractéristiques.

Table VII

Principaux types de roches en fragments dans les grès du Val d'Iliez

<p><i>Roches volcaniques basiques</i></p> <p>Spilites albito-chloritiques du type C*</p> <p>Diabases albito-chloritiques sphérolitiques fibroradiées*, arborescentes*, intersertales divergentes, intersertales.</p> <p>Chloritites* (matrice de pillows, serpentine?).</p> <p>Variolites.</p>
<p><i>Roches éruptives acides et roches métamorphiques</i></p> <p>Granites, microgranites, aplites, aplites micrographiques, porphyres quartzifères.</p> <p>Quartz polycristallins, quartz polycristallins écrasés ou laminés, associations indéterminées de quartz et de feldspath.</p> <p>Plagioclasites (albitites)*.</p> <p>Gneiss.</p>
<p><i>Roches sédimentaires</i></p> <p>Calcaires à grain fin, calcaires cristallins à structure en mosaïque (probablement dolomitiques).</p> <p>Cherts isotropes ou microcristallins (jaspes, etc.)*, cherts à rhomboèdres isolés de carbonate*, radiolarites s. str.*, spongolites rousses*.</p> <p>Quarzites souvent chloritiques, grès calcaires, grès calcaro-siliceux, schistes.</p>

Les espèces de roches particulièrement caractéristiques sont suivies d'un astérisque.

## Chapitre V

### Les grès du Val d'Iliez. Minéraux isolés; ciment; espèces de grès

#### § 1. Les débris de minéraux et le ciment

L'ensemble des fragments de roches constituant les niveaux microbréchiques des grès du Val d'Iliez nous frappe par son caractère varié et polygénique. En revanche, les minéraux qui forment ces roches sont très peu nombreux; une grande monotonie minéralogique s'oppose à la diversité pétrographique. Il découle de ce phénomène que l'image microscopique des microbrèches devient de moins en moins caractéristique lorsque la taille du grain diminue et que la roche se rapproche d'un grès ordinaire où la plupart des roches sont désagrégées en leurs minéraux constituants.

Les minéraux communs sont en suivant, grosso modo, un ordre de fréquence décroissante: les feldspaths, le quartz, puis les éléments phylliteux: chlorite, muscovite, biotite; enfin des carbonates: calcite et éventuellement dolomie. Nous pouvons ajouter à ces quatre groupes quelques minéraux accessoires ne jouant qu'un rôle effacé: en premier lieu la tourmaline, puis des minéraux opaques ou semi-opaques (amas leucoxéniques), de l'apatite, etc. Il est net qu'aucun des minéraux mentionnés ci-dessus n'est caractéristique de la formation, car chacun peut se rencontrer dans n'importe quel grès du Flysch un peu polygénique.

Les feldspaths méritent toutefois une mention supplémentaire. Un rapide examen microscopique permet généralement de distinguer trois espèces: albite (indice de réfraction à peu près égal à celui du

baume), microcline (indice inférieur à celui du baume, quadrillage caractéristique dû aux macles), «orthose» (indice inférieur à celui du baume sans macles polysynthétiques). Nous avons placé le mot orthose entre guillemets, car il se pourrait fort bien que certains individus soient en réalité du microcline non maclé, minéral plus commun qu'on ne pense en général; en l'absence de sections normales à l'indice  $n_p$ , il faut, pour trancher l'indétermination, faire appel aux méthodes de FÉDOROFF.

Un examen plus approfondi permet de voir qu'il existe plusieurs sortes d'albites: des plages criblées de minéraux d'altération du groupe de la séricite, peu ou pas maclées; de petites plages limpides présentant les lamelles polysynthétiques de la loi d'albite; des plages de taille variable, parfois idiomorphes, présentant souvent les macles d'albite et de Karlsbad, plus rarement celle de péricline et en outre farcies d'inclusions chloritiques en gouttelettes ou en hiéroglyphes.

Le premier type d'albite provient en grande part des curieuses plagioclases si fréquentes dans ces grès (voir p. 27); le second habitus correspond à celui de certaines albites de granites ou de gneiss; le troisième enfin est celui qui caractérise les phénocristaux des spilites albite-chloritiques. En l'absence de fragments de roches, un observateur averti pourra donc, dans une certaine mesure, reconnaître un grès du Val d'Illiez par la présence de ces albites d'origine volcanique. Au reste, ces fragments de plagioclases conservent souvent quelque maigre lambeau de chlorite de la pâte accolé à une de leurs faces; on observe même, parfois, dans cette chlorite de petits microlites de feldspath (fig. 22 g).

Si nous considérons l'allure du ciment, nous pouvons distinguer deux types de grès du Val d'Illiez. Dans le premier type les grains de roches ou de minéraux se touchent directement (liaison directe), du matériel plus fin trouve place entre les plus gros grains. Le ciment possède donc une composition analogue à celle des fragments à part une très faible proportion de carbonate. Notons que cette structure hétéroclastique peut, comme dans les grès de Taveyannaz, devenir porphyroclastique.

Dans le second type les grains ont en revanche tendance à être isolés et sont entourés d'un ciment de carbonate parfois recristallisé (liaison indirecte). Il est évident qu'on peut observer tous les termes intermédiaires entre un grès à liaison directe et un grès riche en ciment calcaire.

Sans entrer dans des questions fort complexes de lithogénèse on peut remarquer que le ciment calcaire semble en général primaire, c'est-à-dire contemporain du dépôt du grès; dans quelques cas cependant il prend une allure secondaire et métasomatique. Il peut être alors très abondant et se présenter sous forme de grandes plages largement recristallisées qui ont remplacé les autres éléments de la roche; ce phénomène est souvent lié à la présence d'un réseau de fines veinules carbonatées parcourant le sédiment. Il s'agit d'une manifestation qui ne possède généralement qu'une extension locale, mais qui peut compliquer l'interprétation des diagnostics.

## § 2. Les diverses espèces de grès du Val d'Illiez

Nous devons tenter de subdiviser les grès du Val d'Illiez en plusieurs espèces comme nous l'avons fait pour les grès de Taveyannaz. La granulométrie permet de distinguer les niveaux gréseux fins, les niveaux microbréchiques où les fragments de roches sont nombreux, mais de petite taille, et les niveaux conglomératiques. On pourrait de même faire appel à la teneur en ciment et opposer les grès riches en ciment à ceux qui en sont dépourvus.

De telles subdivisions ne serviraient cependant guère le but que nous nous sommes proposé: établir des subdivisions naturelles dans l'ensemble du Flysch nordhelvétique et acquérir par ce moyen des renseignements sur l'histoire géologique des Alpes au début de l'Oligocène. Les variations de composition qui nous intéressent sont donc celles qui ne sont pas le résultat de quelque caprice local de la sédimentation, mais qui se retrouvent sur tout le front alpin et qui sont une fonction régulière du temps. Diverses raisons dont nous parlerons dans la troisième partie donnent à penser que pour atteindre cette fin il faut considérer la composition pétrographique des microbrèches, nature et proportion des fragments de roches, plus particulièrement des fragments de roches volcaniques.

Ces considérations nous ont conduit à attacher une grande importance au rapport  $p$  de la proportion de fragments à faciès andésitique à la proportion de l'ensemble des éléments volcaniques: spilites

du type C et diabases (y compris chloritites). Ce rapport permet de subdiviser les grès du Val d'Iliez en deux espèces suivant qu'il est supérieur ou inférieur à 0,5; c'est-à-dire que nous plaçons dans la première espèce les grès où les fragments à faciès andésitique sont prédominants et dans la seconde ceux où les fragments de diabases l'emportent. Il importe de noter que, si le critère employé est naturel, la limite choisie est en revanche arbitraire, car les variations de composition sont continues.

Il existe un certain degré de corrélation entre la variation du rapport  $p$  et celle d'autres caractères. Comparés aux grès de la seconde espèce, ceux de la première sont en général plus riches en éléments volcaniques, présentent moins fréquemment un ciment carbonaté et ont une tendance à être moins polygéniques. L'examen à l'œil nu ne permet guère de saisir ces différences. Relevons néanmoins que les grès riches en spilites du type C sont souvent plus foncés que les grès où les diabases abondent; ces derniers montrent en outre plus volontiers des grains jaunâtres de calcaire dolomitique. Il s'agit là de distinctions très empiriques et grossières qui doivent généralement être confirmées par l'analyse microscopique (fig. 20 et 21).

Il existe, en plus des deux espèces dont il est question ci-dessus, trois variétés locales de grès du Val d'Iliez. Ces variétés se rencontrent dans une même région (Val d'Iliez et vallée du Rhône), nous en reparlerons dans la seconde partie. Mentionnons-les; ce sont:

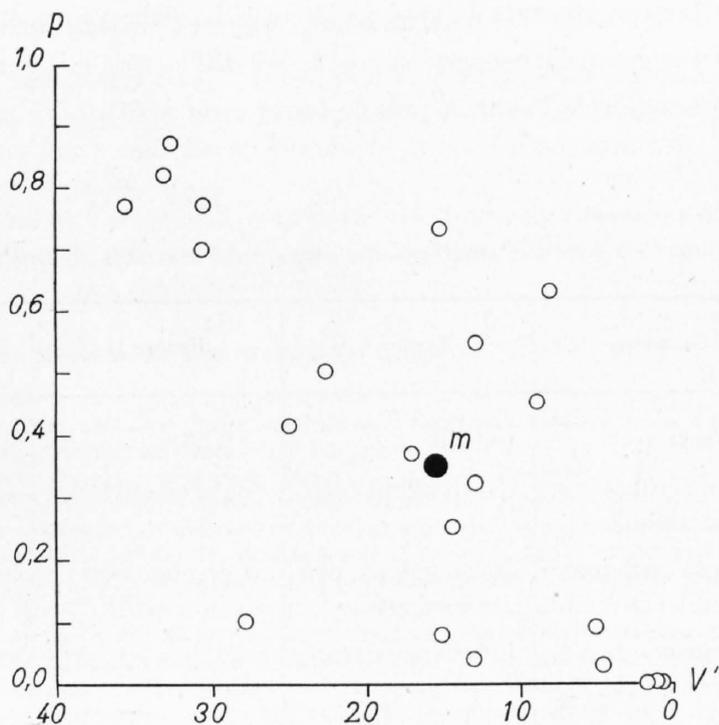


Fig. 20. Grès du Val d'Iliez. Corrélation entre la teneur en éléments volcaniques  $V'$  et le rapport  $p$  (quantité de spilites du type C/quantité de tous les fragments volcaniques).

Chaque cercle vide représente un spécimen de grès planimétré; le cercle noir ( $m$ ) correspond à la moyenne de tous les spécimens analysés (voir table XI, colonne 9). Les points représentatifs ont tendance à se grouper autour d'une ligne diagonale descendant vers la droite.

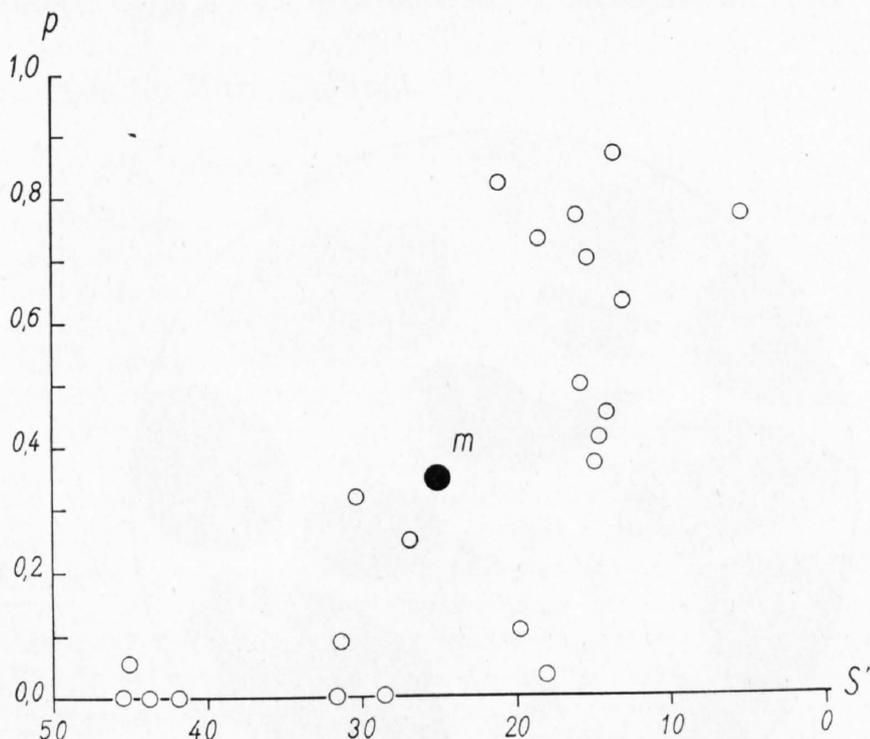


Fig. 21. Grès du Val d'Iliez. Corrélation entre la teneur en matériel sédimentaire  $S'$  et le rapport  $p$

Mêmes remarques que pour la figure précédente. Les points représentatifs ont tendance à se grouper près d'une courbe descendant vers la gauche.

- 1° Les conglomérats du type La Berte et La Pâle (voir p. 49).
- 2° Les grès de Massongex ou grès de Val d'Illeiz de CH. DUCLOZ (voir p. 50).
- 3° Les grès de Plambuit près de Lavey (voir p. 51).

Table VIII

Caractères des espèces et variétés des grès du Val d'Illeiz

Caractères	Espèce I	Espèce II	Variété « Plambuit »	Variété « grès de Massongex »
Rapport p	> 0,50	< 0,50	0,00	petit
Teneur en matériel volcanique	relativement forte	relativement faible	très faible	faible à très faible
Ciment carbonaté	quasi nul ou peu abondant	assez abondant	assez abondant	abondant
Fragments de calcaires et dolomies	Relativement rares	relativement fréquents	très abondants	abondants
Couleur du grès	gris assez foncé	gris plus clair	gris clair	gris assez clair
Divers			éclat un peu gras	micacé; grain relativement fin

Remarque: Les intégrations planimétriques dont les résultats sont donnés dans les colonnes 26-30 de la table X donnent des renseignements supplémentaires sur les grès de la carrière de Plambuit.

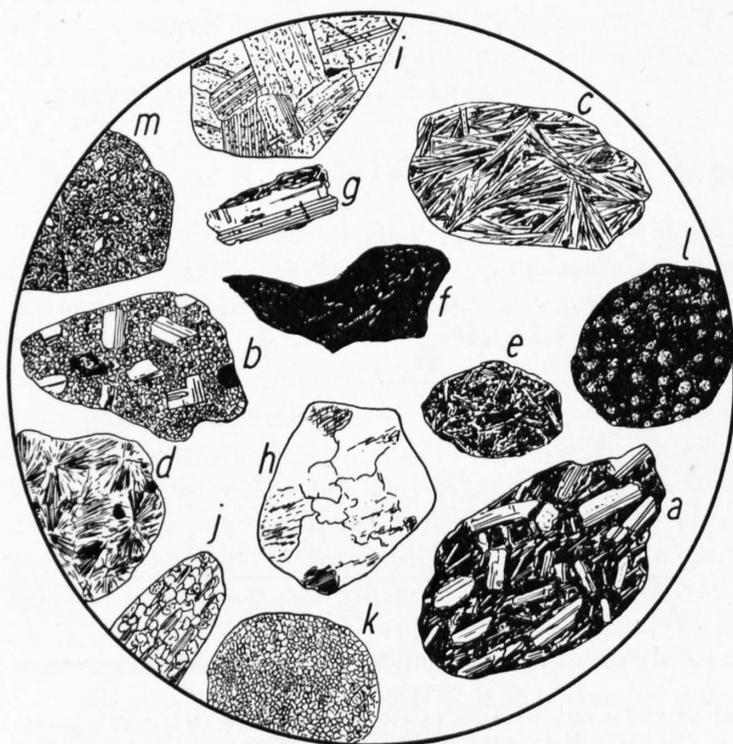


Fig. 22. Schéma micrographique d'un grès du Val d'Illeiz.

Cette figure, entièrement schématique, résume la composition des grès du Val d'Illeiz en représentant réunis les éléments caractéristiques de ces grès. Grossissement fictif: environ 8-10 x. Les fragments sont représentés avec l'allure qu'ils possèdent entre les nicols croisés.

- a = spillite albito-chloritique à structure hyalopilitique grossière fluidale;
- b = spillite felsitique fine avec restes chloritisés de hornblende (sections noires);
- c = diabase albito-chloritique à structure arborescente;
- d = diabase albito-chloritique à structure sphérolitique fibroradiée;
- e = diabase albito-chloritique à structure intersertale étoilée;
- f = chloritite (quasi isotrope); notez la forme très irrégulière;
- g = cristal d'albite maclé avec quelques inclusions chloritiques et un lambeau adhérent de pâte hyalopilitique (origine spillitique);
- h = agrégat de quartz polycristallin;
- i = plagioclase (albite);
- j = quartzite chloritique passant à un chloritoschiste;
- k = calcaire très finement grenu;
- l = radiolarite;
- m = chert avec quelques petits rhomboédres de carbonate.

### § 3. Tableau récapitulatif. Données quantitatives

On trouvera dans la table VIII un résumé des critères permettant de distinguer les espèces et variétés de grès du Val d'Illiez. Nous avons, d'autre part, réuni dans les tables X et XI les résultats d'intégrations planimétriques de plaques minces faites dans des spécimens de grès microbréchiques du type Val d'Illiez provenant de diverses parties de la Suisse.

Comme nous l'avons fait pour les grès de Taveyannaz, nous décrivons ci-dessous une plaque mince faite dans un spécimen de grès du Val d'Illiez typique (espèce II). Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de fragments observés pour les diverses catégories de roches.

#### Description d'une plaque mince d'un grès du Val d'Illiez

Plaque 10: Sur Crête, Val d'Illiez (Valais).

Aspect du spécimen: Microbrèche polygénique grise avec grains anguleux ou subanguleux blancs (quartz, matériel cristallin acide), verts (roches volcaniques, cherts), rouges (radiolarites, cherts), gris (calcaires).

La microphotographie n° 44 se rapporte à un spécimen de la même région. Intégration planimétrique 23 (table X).

Examen microscopique: Roches volcaniques des types suivants: spilites albito-chloritiques hyalopilitiques grossières (4), hyalopilitiques grossières pauvres en microlites (1); diabases sphérolitiques fibroradiées (4), arborescentes (1), intersertales divergentes (1), intersertales étoilées (1); chloritites (7). Roches éruptives acides et roches métamorphiques: agrégats de quartz et de feldspath (4), quartz polycristallins (4), quartz écrasé (1), roche siliceuse schisteuse (1), granite à muscovite (1), microgranite (1), porphyre quartzifère (1), gneiss calcitique (1), gneiss à biotite (1), micaschiste ou gneiss à biotite et chlorite (1), chloritoschiste (1), quartzite feldspathique à grain fin ou aplitite (1). Roches sédimentaires: calcaire commun (1), calcaire siliceux (1), calcaire fibroradié (1), calcaire à sections allongées de spicules d'éponges (?) (1), grès fins (2), grès à biotite (1), cherts (2), radiolarites (2), cherts à rhomboèdres de carbonate (2), spongolite rousse (1).

Débris de minéraux appartenant presque exclusivement aux espèces suivantes: quartz, feldspaths (albite et feldspaths potassiques), muscovite, chlorite.

Ciment: peu abondant, formé de petits grains de quartz et de feldspath liés par une quantité modérée de calcite. Les grains sont souvent en contact direct, en certains endroits ils sont toutefois séparés par un mince liséré de carbonate.

Diamètres apparents (en mm.) des fragments les plus grands des principales catégories de roches:  $3,4 \times 3,4$  (quartz polycristallin);  $4,2 \times 1,2$  (roche schisteuse);  $3,8 \times 2,0$  (calcaire);  $4,5 \times 2,4$  (spilite microlitique);  $1,9 \times 1,2$  (diabase).

## Chapitre VI

### Les grès de Matt-Gruontal

#### § 1. Généralités

Ce dernier groupe du Flysch nordhelvétique possède une extension plus restreinte que les deux précédents; il n'est pas représenté en Suisse occidentale. Nous pensons que, malgré cette restriction, il est logique d'en faire un groupe à part et de ne pas le considérer comme une variante des grès du Val d'Illiez. Son extension est en effet loin d'être négligeable puisqu'on le rencontre, avec des interruptions, il est vrai, de la rive gauche de la Reuss à la rive droite de la Sernf et qu'il caractérise des masses détritiques très puissantes. Il possède d'autre part une individualité pétrographique marquée.

Les grès que nous allons étudier sont exploités dans plusieurs carrières situées dans la vallée de la Reuss et dans celle de la Sernf, notamment dans la grande carrière de Matt. D'autre part, les célèbres conglomérats du Gruontal près de Fluelen représentent l'équivalent grossier de cette formation. On peut donc désigner cette dernière par le nom composé de Matt-Gruontal.

Les grès de Matt-Gruontal se présentent en bancs généralement plus puissants que ceux du Val d'Illiez. La roche fraîche est gris-clair avec grains rouges, verts et noirs disséminés dans la masse (aspect polygénique); lorsque l'altération atmosphérique l'a atteinte, elle prend une couleur jaune caractéristique due aux nombreux grains de calcaire dolomitique, sa texture devient en outre poreuse; dans les cas extrêmes, la couleur est brune. Notons que l'altération superficielle atteint souvent plusieurs décimètres de profondeur.

Nous allons successivement passer en revue les divers éléments de ces grès: fragments de roches des niveaux microbréchiques, débris de minéraux, ciment; puis nous tenterons de mettre en évidence les critères qui permettent de les distinguer des grès du Val d'Illiez.

## § 2. Les fragments de roches

La plupart de ces fragments se trouvent aussi dans les grès du Val d'Iliez et ont déjà été décrits au chapitre IV; nous nous contenterons donc de les mentionner en ajoutant quelques remarques.

### I. Les roches éruptives acides

Comme précédemment la grosseur du grain de ces fragments ne permet pas toujours une diagnose satisfaisante. On note:

- 1° Granites.
- 2° Aplites à structure micrographique.
- 3° Quartz en agrégats polycristallins avec parfois de splendides stries de Böhm.

### II. Les roches métamorphiques

Ce groupe prend un grand développement par rapport au très faible pourcentage de ces roches dans les grès du Val d'Iliez; on note:

- 1° Gneiss à microcline. — Cette roche assez caractéristique est formée par les minéraux blancs suivants: quartz, microcline (macles quadrillées) contenant de petits plages arrondies de quartz, albite. Les paillettes de mica donnent à la roche une texture parallèle peu prononcée. Dans d'autres débris, le feldspath semble être presque exclusivement de l'albite. Il est possible que les beaux bourgeons myrmécitiques que l'on trouve parfois dans ces grès proviennent de gneiss de ces types.
- 2° Micaschistes et quartzites à muscovite. — Les paillettes de mica sont souvent relativement grandes, suivant leur abondance on parlera de quartzite ou de micaschiste.
- 3° Quartzites chloritiques. — Ces roches ressemblent aux précédentes; les lamelles de muscovite sont remplacées par de petites écailles de chlorite à pléochroïsme marqué et basse biréfringence.

### III. Les roches sédimentaires

Ces roches appartiennent à des types variés qu'il est possible de réunir en sous-groupes:

**A. Roches carbonatées.** — Ces roches sont presque exclusivement représentées par les calcaires dolomitiques décrits à la page 29. Les fragments de ces roches, en grains relativement bien arrondis, sont très abondants; on en rencontre plusieurs dans chaque plaque mince. La structure généralement isogrenue révèle parfois de vagues restes d'organismes. Nous avons vu que ces roches prenaient une patine jaune ou rousse à l'altération. Sous le microscope on observe fréquemment que le bord des fragments est marqué par un liséré brunâtre.

Rattachons au groupe des calcaires divers fragments d'organismes manifestement remaniés, provenant sans doute de calcaires fossilifères; c'est ainsi qu'on rencontre assez fréquemment des restes d'Orthophragmines, de Nummulites, d'algues Mélobiésées, etc. On trouvera plus loin la signification stratigraphique de ces débris.

**B. Roches détritiques.** Ce sous-groupe ne joue pas un rôle de premier plan; il comprend les éléments suivants:

- 1° Grès à ciment calcaire.
- 2° Marnes schisteuses. Il est très probable que les débris de ces roches ne possèdent pas une origine analogue à celle des fragments d'autres roches. Dans la carrière de Matt on observe en effet des fragments schisteux de toutes tailles, les plus grands atteignant plusieurs décimètres de grand diamètre, bien que la taille des grains les plus gros de la microbrèche encaissante soit de l'ordre du centimètre. Il s'agit sans doute de lambeaux de roche semblable aux «Dachschiefer» intercalés entre les banes gréseux du Flysch; ces lambeaux ont été détachés et entraînés par remaniement lors de la sédimentation.

**C. Roches siliceuses.** Ce sous-groupe est sans contredit le plus intéressant de tous. Des types de roches très rares ou inexistant dans les grès de Taveyannaz et peu abondants dans les grès du Val d'Illicz prennent un grand développement dans les grès de Matt-Gruontal. On observe de nombreuses variétés de

- 1° Radiolarites à radiolaires siliceux ou carbonatés.
- 2° Cherts (jaspes, lydiennes, «hornstein»).
- 3° Cherts carbonatés à carbonate diffus ou rassemblé en petits rhomboédres.
- 4° Spongolites. Cette famille prend un développement étonnant. Les spicules présentent trois formes: des formes allongées vaguement rectangulaires correspondant à des sections axiales, des formes elliptiques correspondant à des sections obliques, des formes circulaires correspondant à des sections transverses (photo 40). Ces spicules sont souvent carbonatés, tandis que la masse encaissante est siliceuse. Des fragments rares mais fort intéressants et que l'on peut rattacher à ce groupe sont constitués de:
- 5° Sphérolites fibroradiés siliceux (photo 41). Le diamètre des globules peut atteindre 1 mm. Nous verrons plus loin qu'il s'agit sans doute de silex.

Cette énumération est très incomplète et très succincte; l'étude pétrographique de la formation devrait se faire à partir des niveaux conglomératiques de la vallée de la Reuss (Gruontal) où les galets atteignent fréquemment des diamètres de l'ordre du décimètre. Divers auteurs ont donné de brèves énumérations des principales sortes de galets (voir partie III, p. 87); il n'existe cependant aucune monographie sur ce sujet qui est presque vierge.

### § 3. Débris de minéraux. Ciment

Les minéraux isolés des grès de Matt-Gruontal ne sont guère plus variés que ceux des grès du Val d'Illicz; on retrouve le même nombre restreint d'espèces: quartz, divers feldspaths, muscovite, chlorite et biotite, carbonates. Les autres espèces ne jouent qu'un rôle très accessoire. Là aussi l'image microscopique perd beaucoup de son intérêt dès que le grain du sédiment devient fin et que les roches sont désagrégées en leurs minéraux constitutifs. Dans ce cas on peut cependant faire appel, dans une certaine mesure, à la présence des lamelles de muscovite relativement grandes et à celle de débris de jaspe

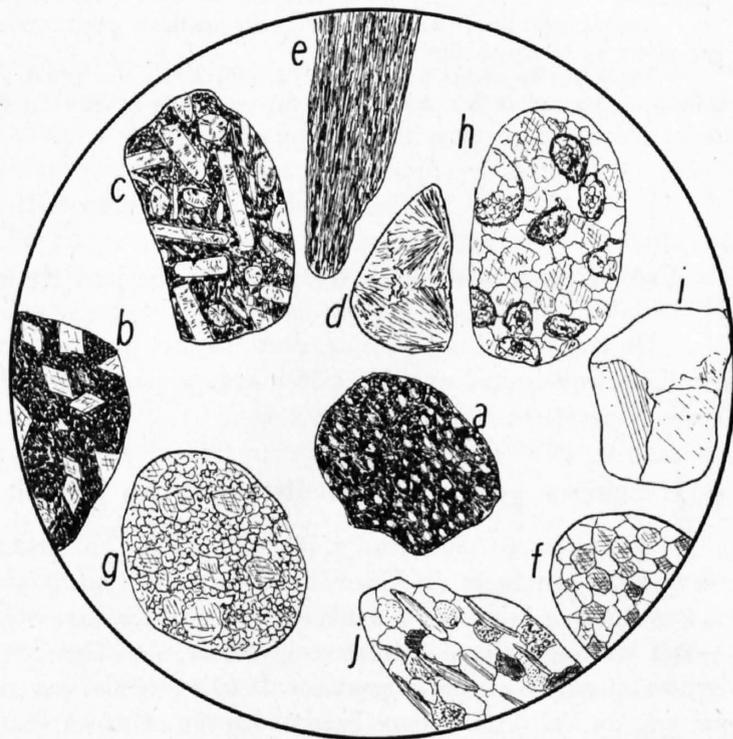


Fig. 23. Schéma micrographique d'un grès de Matt-Gruontal.

Cette figure, entièrement schématique, résume la composition des grès de Matt-Gruontal en représentant réunis les fragments caractéristiques de ces grès. Grossissement fictif: env. 8-10 x. Les fragments sont représentés avec l'aspect qu'ils possèdent entre les nicols croisés.

- a = radiolarite riche en radiolaires présentant des sections légèrement elliptiques;
- b = chert à rhomboédres de carbonate;
- c = spongolite (notez les formes des sections de spicules);
- d = sphérolites siliceux;
- e = schiste très fin;
- f = calcaire isogrenu très probablement dolomitique;
- g = calcaire porphyroblastique très probablement dolomitique;
- h = calcaire vaguement oolitique probablement dolomitique;
- i = agrégat de quartz et de feldspath provenant de la désagrégation d'un granite;
- j = gneiss à muscovite.

qui sont encore reconnaissables du fait de leur structure très fine; ces deux sortes de grains permettent parfois d'établir la diagnose.

Dans la majorité des spécimens de microbrèches les fragments de roches et de minéraux se touchent mutuellement; en l'absence des grains de chert, de radiolarite et surtout de calcaire dolomitique on pourrait parler d'arkose typique. Le ciment est donc peu abondant et représenté par de grandes plages de carbonate grossièrement recristallisé, isolées et assez rares.

On observe toutefois certains spécimens de grès fins où le ciment carbonaté est abondant. Ce fait nous amène à nous demander si la présence ou l'absence de ciment est fonction de la granulométrie, ou de causes locales, ou si ce caractère permet au contraire de séparer deux espèces bien distinctes de grès de Matt-Gruontal. Cette dernière hypothèse nous paraît moins vraisemblable que les précédentes; toutefois seules des recherches détaillées permettraient de faire la lumière sur ce point.

#### § 4. Données quantitatives

On trouvera dans la table X les résultats de l'intégration planimétrique de quelques plaques minces faites dans des spécimens microbréchiques des grès de Matt-Gruontal. Les valeurs moyennes caractérisant le groupe peuvent se lire dans la table XI.

Nous donnons ci-dessous la diagnose détaillée d'une plaque mince d'un spécimen provenant de la carrière de Matt.

##### Description d'une plaque mince d'un grès microbréchique du type Matt-Gruontal

Plaque 755: Carrière de Matt, Sernftal (Glaris).

Aspect du spécimen: Microbrèche polygénique riche en grains gris (calcaires) et blancs (matériel cristallin) pris dans un ciment gris pâle.

La microphotographie n° 45 représente un grès très semblable provenant de la vallée de la Reuss. Intégration planimétrique du spécimen 755: colonne 50, table X.

Examen microscopique: Roches éruptives acides et roches métamorphiques: quartz polycristallins (9), quartz polycristallins écrasés (2), agrégats de quartz et de feldspath (aprites probables) (6), gneiss (3), gneiss à muscovite (3), mica-schiste à muscovite (1). Roches sédimentaires: calcaires très probablement dolomitiques (plus de 14 grains), calcaires à grain fin avec parfois restes d'organismes indéterminables (9), calcaire fibroradié (1), calcaire gréseux (1); cherts divers, parfois totalement isotropes (8), chert carbonaté (1), spongolite calcaire (1), spongolite siliceuse (3), radiolarites (4), quartzite (1), roches schisteuses semi-opaques (2).

Débris de minéraux appartenant presque exclusivement aux espèces suivantes: quartz, feldspath (plusieurs espèces), muscovite.

Ciment: grès fin calcaire formé de petits grains de quartz généralement entourés d'un peu de calcite recristallisée, par places se touchant directement.

Diamètres apparents (en mm.) des fragments les plus grands des principales catégories de roches:  $4,0 \times 2,8$  (calcaire probablement dolomitique);  $4,7 \times 2,8$  (radiolarite);  $5,4 \times 1,1$  (roche schisteuse);  $3,1 \times 2,2$  (quartzite).

### Chapitre VII

## Vue d'ensemble sur les trois groupes de grès du Flysch nordhelvétique

On trouvera réunis dans ce court chapitre quelques considérations générales sur les grès du Flysch nordhelvétique, ainsi que des tables synoptiques et des diagrammes résumant la première partie de cette publication.

### § 1. Critères permettant de distinguer les grès de Taveyannaz des grès du Val d'Illiez

Nous verrons plus loin (p. 76) qu'il existe en certains endroits un passage graduel des grès de Taveyannaz aux grès du Val d'Illiez. La distinction de ces deux groupes n'est cependant pas difficile à faire lorsque le grain est suffisamment grossier. Le critère déterminant est la présence ou l'absence, parmi les fragments de roches volcaniques, de débris de diabases arborescentes, intersertales divergentes ou sphérolitiques fibroradiées. Dans le premier cas (rapport  $p$  plus petit que l'unité) on diagnostiquera un grès du Val d'Illiez, dans le second (rapport  $p = 1$ ) un grès de Taveyannaz. Nous avons vu d'autre

part que les grès du Val d'Illiez sont très nettement moins riches en éléments volcaniques et plus polygéniques que les grès de Taveyannaz.

Remarquons qu'il convient de faire preuve d'une certaine souplesse en employant ces critères et d'éviter d'établir une diagnose en se servant d'un seul spécimen et, à plus forte raison, d'une seule plaque mince. Ainsi, nous rangerons encore dans les grès de Taveyannaz certains spécimens riches en éléments volcaniques, bien qu'on y puisse trouver çà et là un fragment diabasique; nous laisserons en revanche dans les grès du Val d'Illiez certains grès nettement polygéniques bien qu'on n'observe pas de fragments de diabases dans chaque plaque mince étudiée.

## § 2. Critères permettant de distinguer les grès de Matt-Gruontal de ceux du Val d'Illiez

Il est à craindre que le chapitre VI n'ait donné l'impression que les grès de Matt-Gruontal sont presque identiques aux grès du Val d'Illiez. En réalité il n'en est rien et ces deux formations sont passablement différentes l'une de l'autre. L'étude régionale nous montrera en outre qu'il n'est pas certain qu'il existe des types intermédiaires.

Les critères suivants permettent de distinguer les grès des deux groupes:

### A. Absence de certains éléments dans les grès de Matt-Gruontal

On ne trouve en effet dans ces grès ni diabases albito-chloritiques, ni chloritites, ni spilites du type C: les roches volcaniques ou subvolcaniques caractéristiques des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illiez font donc systématiquement défaut. Remarquons qu'on rencontre de très rares fragments de roches volcaniques, mais il s'agit de roches différentes de celles que nous venons d'énumérer qui semble plutôt se rattacher à la famille des porphyres quartzifères.

### B. Différences quantitatives

Le critère A est très utile, mais il a les défauts de tous les critères négatifs. Il serait commode de posséder un critère analogue, mais positif, c'est-à-dire consistant en la présence dans les grès de Matt-Gruontal de certaines roches absentes dans les autres groupes du Flysch nordhelvétique. Tel n'est malheureusement pas le cas si on excepte les sphérolites siliceux qui sont trop rares pour revêtir un intérêt pratique.

Nous sommes donc forcés d'avoir recours à des différences quantitatives dans la composition des grès des deux groupes. Certaines roches rares dans les grès du Val d'Illiez, en particulier les spongolites silico-calcaires, les radiolarites vraies (avec sections de radiolaires) et les micaschistes à muscovite, sont beaucoup plus fréquentes dans les grès de Matt-Gruontal. Il n'est guère de plaque mince faite dans un échantillon de ces grès qui ne montre un ou plusieurs fragments de ces roches.

On remarque d'autre part que certains fragments qui, sans être rares, sont peu abondants dans les grès du Val d'Illiez, deviennent en quelque sorte les éléments caractéristiques des grès de Matt-Gruontal; nous voulons parler de l'ensemble des roches siliceuses (cherts, radiolarites, etc.) et des calcaires dolomitiques.

Il est possible et même probable qu'une étude approfondie des niveaux conglomératiques révélerait que certaines roches sont propres aux grès de Matt-Gruontal; il pourrait même s'agir de roches susceptibles d'être rencontrées dans d'autres grès du Flysch, mais ayant un faciès différent dans ceux de Matt-Gruontal.

### C. Autres critères

Certains critères macroscopiques complètent ceux qui ne peuvent être employés qu'en plaque mince et permettent parfois de donner une diagnose sur le terrain déjà. Ce sont la couleur claire, souvent jaunâtre (altération), des grès de Matt-Gruontal et la plus grande épaisseur des niveaux gréseux. Les grès du Val d'Illiez sont gris, souvent assez foncé, la taille de leur grain varie relativement rapidement d'un point à l'autre et les intercalations schisteuses sont très fréquentes.

### § 3. Tableaux synoptiques. Diagrammes

La table IX donne une vue d'ensemble sur les caractères principaux des trois groupes de grès du Flysch nordhelvétique. Les tables X et XI contiennent les résultats d'une cinquantaine d'intégrations planimétriques classées de la manière suivante: grès de Taveyannaz II, grès de Taveyannaz IV, grès du Val d'Illiez, grès de Matt-Gruontal; à l'intérieur de chaque catégorie nous avons adopté un ordre géographique (la succession va d'Ouest en Est).

Nous avons montré ailleurs (VUAGNAT, 1948) combien il était difficile d'être objectif lors de l'intégration planimétrique des microbrèches et microconglomérats. Il est donc nécessaire que nous donnions des indications sur la manière dont nous nous y sommes pris pour effectuer les mesures dont les résultats sont publiés ci-après.

Table IX

Critères distinctifs des divers types de grès du Flysch nordhelvétique

Grès de Taveyannaz			Grès du Val d'Illiez	Grès de Matt-Gruontal
Espèce II	Espèce III	Espèce IV		
Teneur en éléments volcanique > 50% Pas de «diabases» Non polygénique Ciment carbonaté rare Couleur: vert, gris foncé, parfois moucheté			Teneur en él. volcaniques < 50% Présence de «diabases» Polygénique Ciment carbonaté parfois assez abondant Couleur: gris	Absence d'éléments volcaniques basiques (andésites, spilites, diabases, chloritites) Polygénique Richesse en calcaires dolomitiques, roches siliceuses (cherts, radiolarites, spongolites!) et gneiss Ciment carbonaté parfois abondant Couleur: gris clair (frais), jaune pâle à jaune-brun (altéré)
Augites et hornblendes fraîches	Augites et hornblendes altérées Richesse en minéraux secondaires calciques	Pas de minéraux secondaires calciques		

Remarque: «diabases» = diabases s. str. + chloritites.

**Cas des grès de Taveyannaz II.** Ont été intégrés séparément: les éléments volcaniques (fragments andésitiques et spilitiques, débris d'albite qui en proviennent) non compris les augites et hornblendes: «Sp»; les augites et hornblendes isolées ou dans des fragments de roches: Fm; le quartz en grains isolés ou dans les roches éruptives acides: Q; les feldspaths d'origine non spilitique ou andésitique, en grains isolés ou dans les roches éruptives acides: F; le carbonate: Cc; le ciment formé des parties les plus fines de la roche et ne comprenant pas les grandes plages de carbonate: Cim.

Le symbole V\* indique la somme de tous les éléments volcaniques y compris les augites et hornblendes. Les trois lettres V, A, S ont la signification suivante: V = V\* (total des éléments volcaniques), A = Q + F (somme des éléments éruptifs acides), S = carbonate (y compris rares roches sédimentaires), V + A + S = 100. Les trois lettres V', A', S' ont une signification semblable, mais le ciment a été pris en considération; nous avons évalué très approximativement sa composition en matériel d'origine volcanique basique, d'origine éruptif acide et d'origine sédimentaire.

**Cas des grès de Taveyannaz IV.** Mêmes conventions que dans le cas précédent avec, en plus, Sed = roches sédimentaires. Notez que Fm est toujours nul puisque ces grès ne contiennent ni augite, ni hornblende fraîches.

**Cas des grès du Val d'Illiez.** Mêmes conventions que ci-dessus pour Q et F. «Sp» = fragments de spilites albito-chloritiques porphyriques et fragments d'albite qui en proviennent; D = fragments de diabases et de chloritites; Sed = roches sédimentaires autres que les roches siliceuses; J = roches sédimentaires siliceuses (cherts, radiolarites, spongolites); Cim = ciment (parties fines) et carbonate formant ciment.

V\* se rapporte à la somme de tous les éléments volcaniques. Le rapport  $p$  est le quotient de la proportion de spilites albito-chloritiques du type C (porphyriques) par la proportion de l'ensemble des éléments volcaniques (V\*). V, A et S ainsi que V', A' et S' ont une signification analogue à celle qu'ils possèdent dans le cas des grès de Taveyannaz.

**Cas des grès de Matt-Gruontal.** Aucune convention nouvelle. Notez que «Sp», D, V\*, V, V' sont nuls.

L'intégration planimétrique a fourni des résultats bruts d'intégration ayant une précision apparente de la première décimale. Les valeurs dérivées (V\*, V, A, S, V', A', S',  $p$ ) ont été calculées à partir de ces résultats bruts. Ensuite toutes les valeurs ont été arrondies au nombre entier le plus proche. La rubrique L indique la longueur (en mm.) traversée au cours de l'intégration. Nous avons renoncé à indiquer pour chaque plaque mince la taille du grain, car les grains possédaient toutes les tailles entre un maximum et une valeur presque nulle (caractère des grauwackes). A de rares exceptions près les échantillons choisis appartenaient à la même classe granulométrique (microbrèche), dans chaque plaque on trouvait plusieurs grains dont le diamètre apparent dépassait 1 mm.

Table X

Résultats des intégrations planimétriques

	1 987	2 T. 39	3 8980	4 2516	5 2397	6 1288	7 2179	8 4249	9 2203	10 2370
«Sp»	86	50	29	64	81	87	73	88	70	33
Fm	4	6	8	9	2	2	4	1	7	
D										
Q	2	13	3	3	5	7	6	7	9	10
F	2	5	1	2	3	2	2	2	7	6
Sed										
J										
Cc	2	1	1	3	0	1	4	1	2	1
Cim	5	26	58	18	8	1	11	0	4	50
V*	89	56	37	74	84	90	77	89	78	33
p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V	93	76	89	93	91	90	87	89	81	65
A	5	23	10	6	9	8	8	9	17	33
S	2	1	2	0	0	1	5	1	2	2
V'	94	72	81	83	89	90	86	89	81	70
A'	5	22	11	10	9	8	8	9	17	29
S'	2	6	8	8	2	2	6	1	2	1
L	313	383	274	339	296	214	383	343	347	330

	11 967 <sub>1</sub>	12 967 <sub>2</sub>	13 2552	14 2442	15 2375	16 794	17 4172	18 4182	19 2155	20 2692
«Sp»	48	53	74	58	69	71	85	52	48	41
Fm										
D										
Q	12	11	6	13	13	9	7	16	12	6
F	10	5	2	9	6	4	2	6	8	2
Sed	2	2			5	2		4	2	2
J										
Ce	5	3	3	0	3	2	2	2		8
Cim	23	26	15	20	4	10	3	19	31	41
V*										
p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V	62	72	87	72	72	80	88	65	70	70
A	29	21	10	28	20	15	10	27	28	15
S	9	8	4	0	8	6	2	8	2	16
V'	55	62	85	68	71	76	87	59	67	55
A'	30	24	10	32	20	16	10	28	26	22
S'	14	14	5	0	8	8	2	13	8	23
L	190	346	269	338	396	422	293	225	238	125
	21 2699	22 Illiez	23 10	24 4497	25 4736 <sub>L</sub>	26 2607	27 2612	28 2613 <sub>1</sub>	29 2613 <sub>2</sub>	30 2615
«Sp»	40		6	3	2	0	0	0	0	0
Fm										
D			5	8	22	1	2	1	1	1
Q	8		34	25	16	39	27	30	25	34
F	2		20	24	31	26	20	22	18	26
Sed	2		8	8	7	8	21	22	7	11
J			5	6	4	1	2	4	2	1
Ce	8									
Cim	40		22	26	19	26	29	20	46	26
V*			11	11	25	1	2	1	1	1
p	1,0		0,55	0,25	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V	67	19	14	15	30	1	2	2	2	1
A	17	60	70	66	57	86	67	65	81	82
S	16	20	17	19	13	12	31	33	17	16
V'	53	15	13	14	28	1	2	1	1	1
A'	23	55	59	58	52	71	53	57	55	67
S'	23	30	29	27	20	29	46	42	44	32
L	144		294	324	450	330	349	246	285	334

	31 2050	32 2052	33 1375	34 2093	35 2060-3	36 2086-7	37 2119	38 2349	39 1118	40 1320	
«Sp»	1	0	0	0	3	9	4	19	20	26	
Fm											
D	11	10	3	3	4	3	2	6	6	4	
Q	20	22	30	26	34	24	28	27	26	31	
F	27	27	32	26	34	31	34	20	27	20	
Sed	6	8	5	10	2	2	2	3	1	6	
J	4	5	1	1	2	2	2	1	1	2	
Cc											
Cim	31	28	28	34	20	29	28	23	19	12	
V*	12	10	3	4	7	12	6	25	26	30	
p	0,08	0,04	0,03	0,09	0,45	0,73	0,63	0,77	0,77	0,87	
V	17	14	4	5	9	17	9	32	32	34	
A	68	68	86	78	86	78	86	62	65	58	
S	15	18	9	17	5	6	5	5	2	8	
V'	15	13	5	5	9	15	8	30	36	33	
A'	50	31	77	64	77	66	79	54	59	54	
S'	35	56	18	31	14	18	13	16	5	13	
L	326	314	230	385	2012	634	412	394	261	218	
	41 4149	42 1280	43 1271	44 2217	45 2142	46 2195	47 774	48 4111	49 1312	50 755	51 2227
«Sp»	16	8	3	18	10	4					
Fm											
D	4	12	6	8	9	7					
Q	20	31	29	28	24	32	36	38	50	34	
F	18	25	23	21	36	25	20	18	26	19	
Sed	7	4	4	3	3	3	20	31	17	17	
J	0	6	1	1	3		8	1	3	7	
Cc											
Cim	36	14	34	21	15	29	15	13	5	22	
V*	20	20	9	25	19	11					
p	0,82	0,41	0,32	0,7	0,5	0,37					
V	30	24	14	32	22	15					
A	58	65	78	62	70	80	67	63	80	68	
S	12	12	8	6	7	5	33	37	20	32	
V'	33	25	13	30	13	16					
A'	46	61	57	54	62	69	67	59	77	64	
S'	21	14	30	15	16	15	33	41	23	36	
L	328	278	292	230	297	188	345	355	284	380	

Table X. Légende

Abréviations des colonnes de gauche, voir texte p. 40.

Les planimétries ont été groupées ainsi: grès de Taveyannaz II, grès de Taveyannaz III, grès de Taveyannaz IV, grès du Val d'Illicz, grès de Matt-Gruontal. A l'intérieur de chaque groupe la succession est géographique et va d'Ouest en Est.

Nature et origine des spécimens planimétrés:

1. Plaque 987. Grès de Taveyannaz II *a*. Rochers du Van s/Taveyannaz (Vaud).
2. Plaque T. 39 (collection DE QUERVAIN). Grès de Taveyannaz II. Cours supérieur de la Raspille sous le Wildstrubel (Valais).
3. Plaque 8980. Grès de Taveyannaz II («tuf augitique»). Route de Guttet s/Loèche-Ville (Valais).
4. Plaque 2516. Grès de Taveyannaz II. Au-dessus d'Oeschinen-Alp, Kandertal (Berne).
5. Plaque 2397. Grès de Taveyannaz II. Chemin Längenbalm-Arnialp s/Meiringen (Berne).
6. Plaque 1288. Grès de Taveyannaz II. Au-dessus d'Ober-Lammerbach, Schächental (Uri).
7. Plaque 2179. Grès de Taveyannaz II. Muttensee (Glaris).
8. Plaque 4249. Grès de Taveyannaz II. Durnachtal s/Linthal (Glaris).
9. Plaque 2203. Grès de Taveyannaz II. Au-dessus de Restiberg s/Linthal (Glaris).
10. Plaque 2370. Grès de Taveyannaz III. Au-dessus du Trübsee s/Engelberg (Unterwald).
11. Plaque 967<sub>1</sub>. Grès de Taveyannaz IV. Au-dessous de Chaux Ronde de Taveyannaz, vallée de l'Avançon d'Anzeindaz (Vaud).
12. Plaque 967<sub>2</sub>. Grès de Taveyannaz IV. Même lieu que 967<sub>1</sub>.
13. Plaque 2552. Grès de Taveyannaz IV. Versant gauche de la vallée de la Lizerne (Valais).
14. Plaque 2442. Grès de Taveyannaz IV. Schwarze Fluh s/Griesalp, Kiental (Berne).
15. Plaque 2375. Grès de Taveyannaz IV. Arête de la Rotheegg s/Engelberg (Unterwald).
16. Plaque 794. Grès de Taveyannaz IV. Au-dessus d'Oberfeld, Riedertal (Uri).
17. Plaque 4172. Grès de Taveyannaz IV. Peu au-dessus des schistes à Globigérines, Appengrubrun, vallée de la Linth, (Glaris).
18. Plaque 4182. Grès de Taveyannaz IV. Appengrubrun, haut de la série du Flysch.
19. Plaque 2155. Grès de Taveyannaz IV. Giebel, Durnachtal s/Linthal (Glaris).
20. Plaque 2692. Grès de Taveyannaz IV. Ragol, Taminatal (St-Gall).
21. Plaque 2699. Grès de Taveyannaz IV. Pfäfersbad, Taminatal (St-Gall).
22. Illicz. Moyennes des résultats de plusieurs intégrations planimétriques déjà publiées (VUAGNAT, 1943 *b*). Spécimens provenant de la région du Val d'Illicz (Valais).
23. Plaque 10. Grès du Val d'Illicz. Sur Crête, Val d'Illicz (Valais).
24. Plaque 4497. Grès du Val d'Illicz. Les Orgières, Mex s/St-Maurice (Valais).
25. Plaque 4736<sub>L</sub> (collection M. LUGEON). Grès du Val d'Illicz. Route des Giettes s/McInthey (Valais).
26. Plaque 2607. Grès du Val d'Illicz. Carrière de Plambuit près Lavey-village (Vaud).
27. Plaque 2612. Grès du Val d'Illicz. Carrière de Plambuit.
28. Plaque 2613<sub>1</sub>. Grès du Val d'Illicz. Carrière de Plambuit.
29. Plaque 2613<sub>2</sub>. Grès du Val d'Illicz. Carrière de Plambuit.
30. Plaque 2615. Grès du Val d'Illicz. Carrière de Plambuit.
31. Plaque 2050. Grès du Val d'Illicz. Sentier En Nervaux-Drausine, face W de la Croix de Javerne (Vaud).
32. Plaque 2052. Grès du Val d'Illicz. Sentier En Nervaux-Drausine.
33. Plaque 1375. Grès du Val d'Illicz. Route Morcles-Rionde (Vaud). Base de la série du Flysch.
34. Plaque 2093. Grès du Val d'Illicz. Route Morcles-Rionde (Vaud). Sommet de la série du Flysch.
35. Plaques 2060-63. Grès du Val d'Illicz. Sommet de la série du Flysch helvétique, face W de la Croix de Javerne au N de Drausine (Vaud). Moyennes de 6 intégrations planimétriques.
36. Plaques 2086-87. Grès du Val d'Illicz. Sommet de la série du Flysch helvétique, environ 300 m. au S du sommet de la Croix de Javerne (Vaud). Moyennes de 2 intégrations planimétriques.
37. Plaque 2119. Grès du Val d'Illicz. Flysch situé au S de Rionde (Vaud).
38. Plaque 2349. Grès du Val d'Illicz. Sulzbach (cours inférieur), Engelberg (Unterwald).
39. Plaque 1118. Grès du Val d'Illicz. FÜRrenalp s/Engelberg (Unterwald).
40. Plaque 1320. Grès du Val d'Illicz. Crête dominant le versant droit du Riedertal, Schächental (Uri).
41. Plaque 4149. Grès du Val d'Illicz. Sulztal, Schächental (Uri).
42. Plaque 1280. Grès du Val d'Illicz. Auf der Fluh s/Unterschächen (Uri).
43. Plaque 1271. Grès du Val d'Illicz. Frittert, Schächental (Uri).
44. Plaque 2217. Grès du Val d'Illicz. En dessous de Kalbertross s/Diesbach, vallée de la Linth (Glaris).
45. Plaque 2142. Grès du Val d'Illicz. Versant gauche de la vallée du Diesbach.
46. Plaque 2195. Grès du Val d'Illicz. En dessous de l'Unter Kühbodenalp, Sernftal (Glaris).
47. Plaque 774. Grès de Matt-Gruontal. Seedorf (Uri).
48. Plaque 4111. Grès de Matt-Gruontal. Débouché du Gruontal s/Fluelen (Uri).
49. Plaque 1312. Grès de Matt-Gruontal. En dessus de la chapelle Mariahilfe, Riedertal, Schächental (Uri).
50. Plaque 755. Grès de Matt-Gruontal. Carrière de pavés située au N de Matt, Sernftal (Glaris).
51. Plaque 2227. Grès de Matt-Gruontal. Rive droite du Krauchbach s/Matt (Glaris).

Table XI

Valeurs moyennes, maxima et minima correspondant aux divers postes des intégrations planimétriques

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
«Sp»	88	70	29	33	85	58	40	26	6	0			
Fm	0	5	1										
D								22	6	1			
Q	13	6	2	10	16	10	6	39	28	16	50	39	34
F	7	3	2	6	10	5	2	36	26	18	26	21	18
Sed					5	2	0	21	7	1	31	19	7
J								6	2	0	8	5	1
Cc	4	2	0	1	8	3	0						
Cim	58	15	0	50	41	21	3	46	26	12	30	17	5
V*	90	75	37					30	12	1			
p	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,87	0,35	0,0			
V	93	88	76	65	88	73	62	34	16	1			
A	23	10	5	33	29	20	10	86	71	57	84	72	63
S	5	2	0	2	16	7	0	31	12	2	37	28	16
V'	94	85	72	70	87	67	53	36	15	1			
A'	22	11	5	29	32	22	10	77	59	31	77	67	59
S'	8	4	1	1	23	11	0	56	25	5	41	33	23

Table XI. Légende

Cette table donne les valeurs moyennes, les maxima et les minima des divers postes de la table X pour les divers groupes et espèces de grès du Flysch nordhelvétique.

Les abréviations de la colonne de gauche ont le même sens que celles de la table X. Les chiffres en tête des autres colonnes ont la signification suivante:

- 1 = valeurs maxima des divers postes pour les grès de Tavayannaz II.
- 2 = valeurs moyennes des divers postes (grès de Tavayannaz II).
- 3 = valeurs minima des divers postes (grès de Tavayannaz II).
- 4 = valeurs des divers postes pour le seul spécimen de grès de Tavayannaz III planimétré (données à titre indicatif).
- 5 = valeurs maxima des divers postes pour les grès de Tavayannaz IV.
- 6 = valeurs moyennes des divers postes (grès de Tavayannaz IV).
- 7 = valeurs minima des divers postes (grès de Tavayannaz IV).
- 8 = valeurs maxima des divers postes pour les grès du Val d'Illicz.
- 9 = valeurs moyennes des divers postes (grès du Val d'Illicz).
- 10 = valeurs minima des divers postes (grès du Val d'Illicz).
- 11 = valeurs maxima des divers postes pour les grès de Matt-Gruontal.
- 12 = valeurs moyennes des divers postes (grès de Matt-Gruontal).
- 13 = valeurs minima des divers postes (grès de Matt-Gruontal).

Les données planimétriques précédentes ont permis d'établir deux diagrammes donnant une vue d'ensemble sur la composition des microbrèches des divers niveaux du Flysch nordhelvétique.

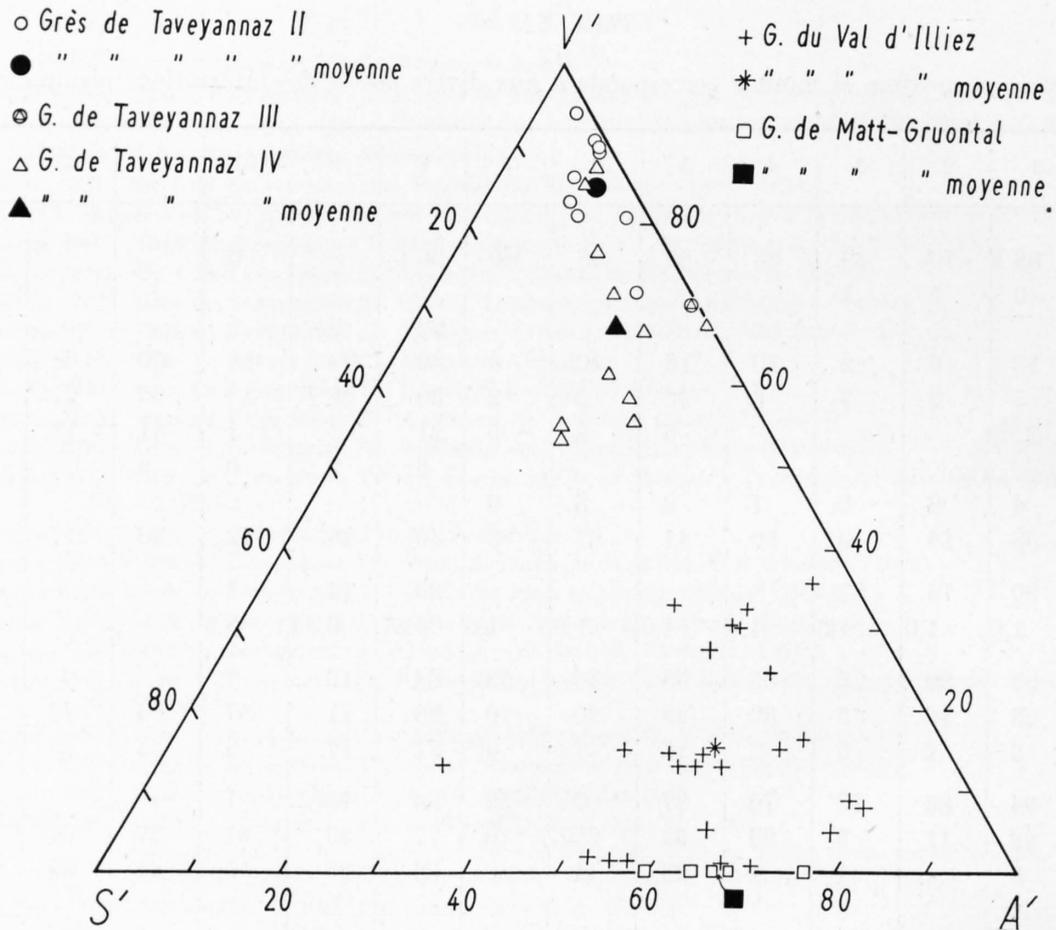


Fig. 24. Grès du Flysch nordhelvétique. Triangle donnant la composition des grès planimétrés.

$V'$  = teneur totale en matériel volcanique;  
 $A'$  = teneur totale en matériel éruptif acide;  
 $S'$  = teneur totale en matériel sédimentaire (voir p. 40). On constate une évolution: les points représentatifs des roches les plus anciennes sont près du sommet  $V'$ ; ceux des roches les plus jeunes près de la ligne de base  $A'-S'$  ou sur cette dernière.

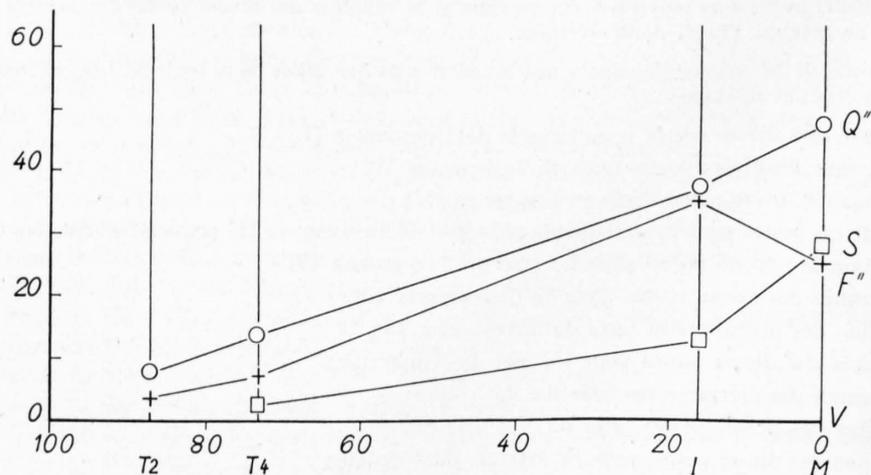


Fig. 25. Diagramme de variation des grès du Flysch nordhelvétique.

Ce diagramme donne la teneur en quartz  $Q''$ , en feldspaths d'origine non volcanique  $F''$ , en roches sédimentaires  $S$  en fonctions de la teneur en roches volcaniques.  $Q'' + F'' + S + V = 100$ .

$T_2$  = composition moyenne des grès de Taveyannaz II;  
 $T_4$  = composition moyenne des grès de Taveyannaz IV;  
 $I$  = composition moyenne des grès du Val d'Illiez;  
 $M$  = composition moyenne des grès de Matt-Gruontal.

## DEUXIÈME PARTIE

### Description régionale

Nous passerons rapidement en revue dans cette seconde partie les principales régions de la Suisse où affleurent les formations du Flysch nordhelvétique. Il ne s'agira toutefois nullement de donner une description monographique et exhaustive de ces affleurements. Dans la plupart de ces régions, ce Flysch n'a été, jusqu'à maintenant, considéré qu'en bloc; les grandes taches jaunes unies de nos cartes géologiques trahissent cet état de fait. Il n'a pas été possible dans ces conditions d'étudier systématiquement ces masses de Flysch; il a fallu faire des cheminements en suivant des routes, des sentiers ou des torrents; examiner certaines coupes classiques à la lumière de faits nouveaux; en un mot procéder à l'exploration pétrographique du terrain.

En publiant sous une forme résumée ces observations, nous espérons aider ceux qui auront à faire des études détaillées dans l'une ou l'autre des régions riches en Flysch nordhelvétique. Peut-être pourront-ils, en nous lisant, éviter un long travail d'approche en profitant des connaissances acquises par l'étude de régions voisines de la leur et entrevoir plus clairement quels sont les problèmes les plus importants sur lesquels ils doivent faire porter le gros de leur effort de recherche.

L'ensemble du Flysch nordhelvétique n'affleure pas d'une manière continue de la frontière franco-suisse au Rhin. On peut grouper les affleurements en régions naturelles, sans qu'il entre dans cette opération une part trop grande d'arbitraire (voir esquisse fig. 26).

On trouvera pour chaque région importante: une introduction (limites géographiques, cartes géologiques et publications consultées, traits géologiques principaux et rappel historique); un compte rendu résumé de nos observations <sup>1)</sup>; des conclusions indiquant en particulier quels sont les principaux problèmes qui restent en suspens. Un index alphabétique des noms géographiques placé en appendice permet de trouver plus facilement les lieux peu connus en s'aidant du quadrillage kilométrique de la carte Siegfried.

#### Chapitre VIII

### Les grès du Val d'Iliez en Suisse occidentale

#### § 1. Le Flysch des Dents du Midi

**Publications consultées:** SCHNETZLER, 1863; FAVRE, 1867; GAGNEBIN, 1925; DE LOYS, 1928; GAGNEBIN, 1932, 1934 *a*, 1934 *b*, 1934 *d*; VONDERSCHMITT, 1935; COLLET et LILLIE, 1938; COLLET et LOMBARD, 1939; LILLIE, 1939; LOMBARD, 1939; DUCLOZ, 1940; COLLET et GYSIN, 1941; COLLET, 1942; DUCLOZ, 1942, 1944; VUAGNAT, 1943; SCHROEDER, 1944; COLLET, SCHROEDER et PICTET, 1946; SCHROEDER et DUCLOZ, en préparation.

**Cartes géologiques consultées:** LUGEON, 1895-1896; GAGNEBIN, 1934 *c*.

**Limites géographiques:** Cette sous-région comprend le Val d'Iliez et ses vallées latérales (Val de Morgins, etc.); le versant occidental de la vallée du Rhône au-dessus de St-Maurice (pentes descendant de la Dent de Valayre, de la Cime de l'Est et de Gagnerie sur Chouex, Vérossaz et Mex); le lambeau de Flysch de Salanfe situé entre la nappe de Morcles et l'Autochtone au Nord du col d'Emaney.

**Historique:** Le Flysch des Dents du Midi remplit un grand synclinal de raccord complexe entre la nappe de Morcles et l'Autochtone. Nous devons à A. FAVRE (1867/II) des remarques pertinentes sur

<sup>1)</sup> Un texte plus complet, déposé avec notre collection des spécimens de grès du Flysch, est à la disposition de ceux qui désireraient le consulter.

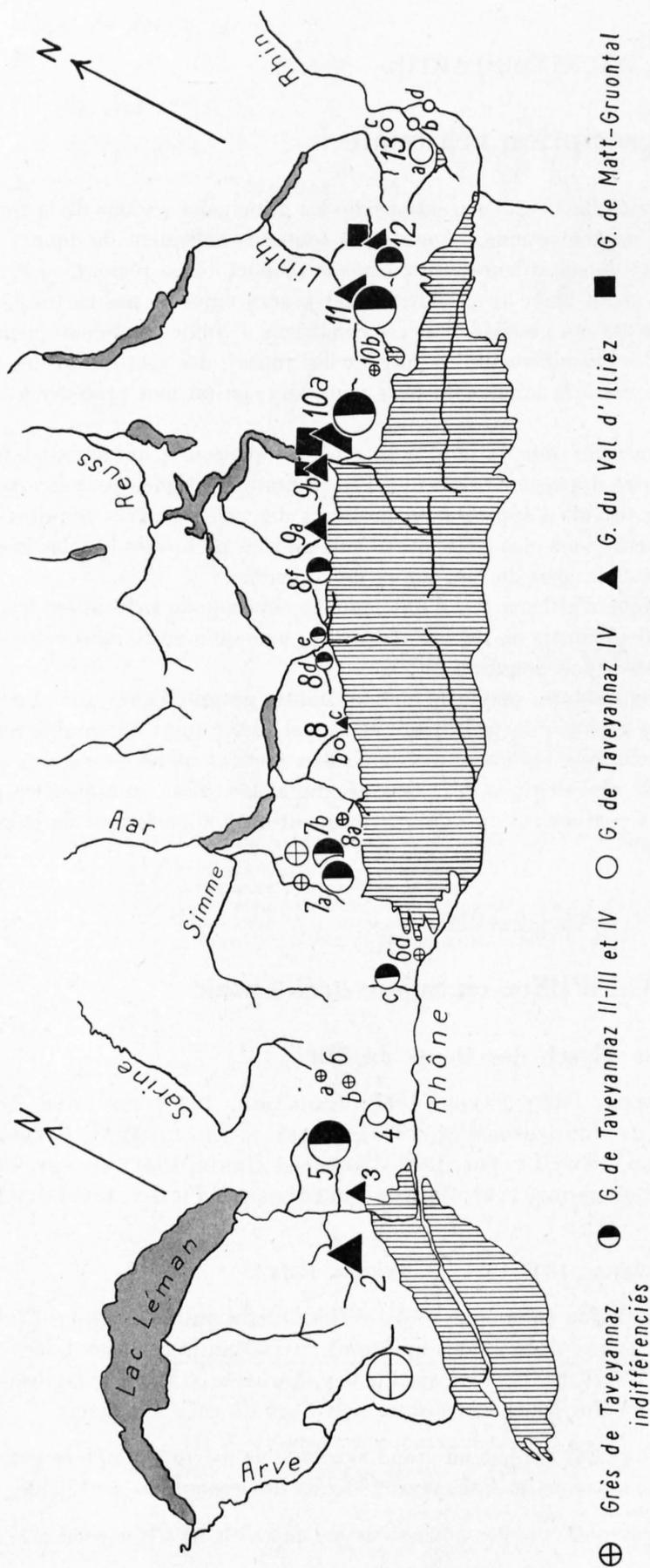


Fig. 26. Principales masses de grès et microbrèches du Flysch nordhelvétique.

Les signes représentatifs sont très approximativement d'une taille proportionnelle à l'importance de la masse correspondante. Les grès de Taveyannaz indifférenciés appartiennent toujours en partie aux espèces II-III. Signification des chiffres accompagnant les symboles et désignant les diverses régions:

- |  |  |
|--|--|
| <p>1 = Haute-Savoie, région entre Arve et Giffre.<br/>         2 = Flysch des Dents du Midi.<br/>         3 = Flysch du sous-bassement de la Dent de Morcles.<br/>         4 = Vallée de la Lizerne.<br/>         5 = Région Rochers du Van-Taveyannaz-Creux de Champs.<br/>         6 = Région entre Lizerne et Kander. <i>a</i> = alentours de Gsteig et Val d'Olden, <i>b</i> = alentours du Col du Sanetsch, <i>c</i> = région Raspille-Varnerkunne-Zayetzahorn, <i>d</i> = «tuf augttique» de Loeche.<br/>         7 = Région du Kiental-Kandertal. <i>a</i> = Kandertal, <i>b</i> = Kiental.</p> | <p>8 = Région Schenfuruge-Trübsee. <i>a</i> = Schental, <i>b</i> = pentes situées sous le Hörnli de Grindelwald, <i>c</i> = Hohturnen (Mettenberg), <i>d</i> = région comprise entre Grindelwald et Meiringen, <i>e</i> = région comprise entre Lauterbrunnen et le Jochpass, <i>f</i> = Jochpass-Trübsee.<br/>         9 = Région Engelberg-Reuss. <i>a</i> = Environs d'Engelberg, <i>b</i> = versant gauche de la vallée de la Reuss.<br/>         10 = Schächental et régions voisines. <i>a</i> = Schächental et Gruontal, <i>b</i> = Clarides.<br/>         11 = Vallée de la Linth.<br/>         12 = Vallée de la Sernf.<br/>         13 = Oberland St-Gallois et vallée du Rhin. <i>a</i> = Alp Vindelci (Graue Hörner), <i>b</i> = basse Tamina (Ragol-Pfäfersbad), <i>c</i> = environs de Vilters, <i>d</i> = environs de Mastrils.</p> |
|--|--|

Aires hachurées = Massifs cristallins hercyniens.

ce Flysch. Cet auteur note avec une perspicacité que ses successeurs n'ont malheureusement pas toujours possédée l'existence de trois types de grès: *a*) des grès gris ou colorés, micacés, se trouvant aux alentours de Troistorrents (nos «grès de Massongex» et la Molasse) (FAVRE, 1867/II, p. 128); *b*) des grès que l'auteur distingue mal des précédents, mais qu'il nomme cependant grès de Taviglianaz; ces grès affleurent dans les pentes descendant de la Dent du Midi, notamment en dessus de Vérossaz (nos grès du Val d'Illiez) (FAVRE, 1867 II, p. 133, 288); *c*) des grès grossiers et des poudingues de couleur claire formant la Dent de Valerette et ressemblant aux grès de Boège et aux grès du sommet des Voirons (nos grès ultrahelvétiques) (FAVRE, 1867/II, p. 287).

DE LOYS (1928), dans sa monographie sur les Dents du Midi, subdivise le Flysch en trois zones de faciès distincts: une zone inférieure schisteuse, une zone intermédiaire gréseuse, une nouvelle zone schisteuse située en dessous du Nummulitique de la nappe. L'ensemble de la formation posséderait une structure synclinale.

Plus récemment, L. VONDERSCHMITT (1935) trouve de mauvais Cardiidés et Cyrénidés, associés à des écailles de Meletta, dans les marnes schisteuses de Morgins situées entre le Flysch et la Molasse. Il signale d'autres couches à écailles de Meletta et restes de plantes au col de Bretelay (frontière franco-suisse). Ces trouvailles mettent en relief les rapports existant entre le Flysch et la Molasse du Val d'Illiez d'une part et la Molasse subalpine d'autre part.

Le problème du Flysch du Val d'Illiez rebondit en 1939, lorsque A. LILLIE (1939) découvre dans la face ouest de la Dent de Valayre et sur la crête de la Croix de l'Aiguille des roches qu'il attribue aux grès de Taveyannaz. Peu après COLLET et GYSIN (1941) démontrent que les grès du soubassement des Dents du Midi s'étendent jusqu'au col d'Emaney et présentent une composition particulière (fragments de «porphyrites arborescentes»). Cette courte note a été à l'origine de deux études plus étendues de M. VUAGNAT (1943) et CH. DUCLOZ (1944) qui permettent de définir la nature des grès du Val d'Illiez. Notons encore que W. BRÜCKNER (1946) a publié diverses observations sur le Val d'Illiez dans un opuscule traitant du Flysch nordhelvétique. Enfin pour ce qui est de la Molasse et de ses rapports avec le Flysch, on pourra consulter la monographie de DUCLOZ et SCHROEDER qui est actuellement en préparation. L'existence de ces divers travaux récents nous permettra d'être bref.

## § 2. Le Flysch des Dents du Midi. Résumé des observations et conclusions

Les résultats acquis dans les travaux mentionnés ci-dessus et diverses observations personnelles récentes ont permis d'établir les points suivants:

1° En montant de la Vièze sous Troistorrents jusqu'au Col des Dardeus au pied de la Cime de l'Est nous rencontrons la succession suivante: grès gris en bancs assez épais, Molasse rouge et verte, récurrence des grès gris et première zone schisto-gréseuse, niveau microbréchiq. et par places conglomératique, seconde zone schisto-gréseuse, second niveau grossier microbréchiq. (cote 1800 m. environ), alternance de microbrèches, grès et lits schisteux d'allure exotique (partie sommitale de la Dent de Valayre), puissante série schisteuse (Pointe des Dardeus), pseudo-mylonites situées sous le Nummulitique de la nappe (Col des Dardeus).

2° Les deux premiers niveaux microbréchiq. appartiennent aux grès du Val d'Illiez typiques. On retrouve ces grès sur le versant droit de la vallée (Sur Crête, [plaque 10], sous la Croix de Culet et sous la Croix de l'Aiguille). Leur faciès est souvent très grossier dans la partie supérieure du Val d'Illiez (conglomérats de la Poya et surtout de la Berte, entre les Cols de Cou et de Bretelay). Il est difficile de suivre les deux bancs grossiers susmentionnés dans les bassins du Mauvoisin et du St-Barthélemy, au-dessus de St-Maurice, à cause du foisonnement d'énormes masses schisteuses. Toutefois on observe peu au-dessus de Mex de très belles microbrèches (plaque 4497) du type Val d'Illiez. Ce Flysch se retrouve beaucoup plus au Sud; il forme une bande de 43 m. d'épaisseur en dessus du Col d'Emaney, sur l'arête de la Tour Saillère (COLLET, 1942, p. 106).

3° Les grès gris situés au-dessous de la Molasse sont toujours relativement fins; ils appartiennent à la partie supérieure du Flysch autochtone et contiennent encore des débris de diabases arborescentes en

petit nombre. On peut les considérer comme une variété des grès du Val d'Illiez, variété que nous nommons provisoirement «grès de Massongex», en raison de l'existence d'une grande carrière aux Ilettes près de Massongex où ces grès sont exploités. DUCLOZ (1944, p. 113) désigne ces roches sous le nom de «grès de Val d'Illiez», parce qu'ils affleurent aussi près du village de ce nom.

4° L'examen de la coupe Vièze-Dardeus démontre l'existence de grès d'allure exotique dans la partie sommitale de la Dent de Valayre. On sait depuis FAVRE qu'il s'agit de grès du Flysch ultrahelvétique. Ce terrain forme un grand lambeau s'étendant de la pointe de Valerette à la pointe de Soy et pénétrant profondément dans le Flysch helvétique (DUCLOZ, 1944, p. 42); il remplit en outre deux petits replis synclinaux visibles dans le Nant du Crétien (aux environs de la cote 960) ainsi que dans le Nant du Sépay entre 870 et 1080 m. (DUCLOZ, 1944, p. 20-21). Ce dernier lambeau affleure aussi au bord de la nouvelle route des Giettes; c'est cet affleurement qui a livré à AUG. LOMBARD (1939) une faunule d'âge éocène.

La composition de ces grès du Flysch ultrahelvétique oscille entre deux termes extrêmes: des grès-arkoses passant aux conglomérats de Valerette, des grès très riches en ciment calcaire, souvent fossilifères; dans les deux cas l'absence de roches volcaniques basiques, en particulier de diabases arborescentes, permet, sous le microscope, de ne pas confondre ces roches avec les grès du Flysch nordhelvétique.

5° Les divers problèmes structuraux que nous pose la masse de Flysch des Dents du Midi peuvent se ramener aux trois points suivants:

- a) Relations entre le Flysch et son substratum. Il semble bien que le grand charriage du Flysch sur son substratum, admis par DUCLOZ (1944) et plus encore par BRÜCKNER (1946), n'existe pas, ou du moins n'a pas l'ampleur que ces auteurs lui prêtent. Nous rejoignons ici les vues de LUGEON.
- b) Relations entre le Flysch et le Nummulitique de la nappe de Morcles. Ces relations dépendent essentiellement de l'interprétation que l'on donne des lentilles granitiques et calcaires jalonnant la limite Flysch-Nummulitique. Si ces lentilles sont des écailles tectoniques situées sur le plan de chevauchement de la nappe, cette dernière est complètement séparée du Flysch (DE LOYS, 1928; DUCLOZ, 1944); si, en revanche, il s'agit de paquets glissés dans la mer du Flysch, comme LUGEON (1947) et SCHROEDER (1946) l'admettent, alors la nappe et une partie du Flysch sont solidaires. Cette seconde interprétation des faits paraît être plus près de la réalité que la première; en particulier, elle explique la similitude frappante entre les «mylonites» et les éléments des brèches qui les accompagnent.
- c) Structure interne de la masse du Flysch. DUCLOZ (1944, profils) considère que la masse du Flysch est formée d'un empilement d'écailles plus ou moins isoclinales avec quelques replis. LUGEON (1947, p. 112) s'est élevé contre cette interprétation trop hardie qui paraît fondée sur l'existence des trains de lentilles calcaires de Rossetan-Bonavau et sur les variations de pendage observées dans le Flysch. Le premier argument perd évidemment toute valeur si ces lentilles sont d'origine sédimentaire (LUGEON, 1947; SCHROEDER, 1946). Le second argument nous paraît peu sûr du fait que la schistosité très développée masque souvent la vraie stratification. L'étude du Flysch du soubassement de la Dent de Morcles nous donnera des renseignements plus satisfaisants sur la structure interne de cette formation.

Divers problèmes nous paraissent devoir retenir plus particulièrement l'attention des géologues qui reprendront l'étude de ce Flysch:

- a) L'étude détaillée des galets contenus dans les conglomérats de la Berte, de la Poya et de la Pâle.
- b) L'emploi des méthodes d'analyse pétrographique quantitatives qui ont commencé à donner de bons résultats dans l'étude du Flysch de la Dent de Morcles (voir p. 51).
- c) Les trois grands problèmes tectoniques concernant la structure du Flysch.

### § 3. Le Flysch compris entre la nappe de Morcles et l'Autochtone sur rive droite du Rhône

**Publications consultées:** RENEVIER, 1890; LUGEON, 1930, 1934 b; LUGEON et ARGAND, 1937; LUGEON et GAGNEBIN, 1937; LUGEON, 1940 b; VUAGNAT, 1944 a; LUGEON, 1947; LUGEON et VUAGNAT, 1948; LUGEON, 1950.

**Cartes géologiques consultées,** LUGEON, 1937, 1940 *a*.

**Limites géographiques:** Cette sous-région comprend les éléments suivants: 1° Le Flysch compris entre la partie supérieure de la Dent de Morcles et le soubassement autochtone: puissante masse s'étendant du Six Trembloz au Sud jusqu'à Valentine près de Bex au Nord à laquelle il convient de rattacher le Flysch de la Croix et du vallon de Javerne et celui de la petite fenêtre du Val de Nant. 2° Le Flysch autochtone des collines de Chiètres, entre Bex et St-Maurice. 3° Le Flysch du front de la nappe de Morcles formant une bande qui s'amincit et disparaît vers le NW au-devant de la chaîne de l'Argentine.

**Grands traits géologiques. Historique:** Cette région constitue un grand synclinal de raccord complexe entre la nappe de Morcles et l'Autochtone; synclinal compliqué au Sud par des écailles provenant du soubassement, au Nord par les éléments ultrahelvétiques contre lesquels le Flysch est venu buter.

Longtemps ce Flysch n'a pas fait l'objet d'études particulières. E. RENEVIER en parle brièvement dans sa monographie sur les Hautes Alpes vaudoises (1890, p. 447). M. LUGEON ne l'a pas subdivisé; il le figure par une teinte jaune unique sur les deux cartes (1937) et (1940 *a*), bien que, sur les minutes de la feuille Saxon-Morcles, il ait distingué les grès des couches schisteuses. La majeure partie des observations résumées ci-dessous ont fait l'objet d'une publication en commun avec LUGEON (1948) et d'une courte note préliminaire (1944).

**Résumé des observations. Conclusions:** Nous résumerons ainsi l'état de nos connaissances sur le Flysch de cette sous-région:

1° En montant de Morcles à la pseudo-mylonite située en dessus de Rionde, on constate la succession suivante: Autochtone, lits schisto-gréseux peu puissants, premier niveau grossiers (bancs microbréchiques) (plaques 2050, 2052, 1375), série médiane schisteuse avec rares lits gréseux, second niveau microbréchique grossier (plaques 2060-2063, 2086/87, 2093) (près des baraquements de Rionde), puissante série schisteuse supérieure, pseudo-mylonites. Les microbrèches ont tous les éléments caractéristiques des grès du Val d'Illiez.

2° De multiples intégrations planimétriques ont démontré que le second niveau grossier représente une duplication tectonique du premier et est formé de grès ayant une origine plus méridionale. La masse du Flysch a répondu d'une manière très plastique aux efforts tectoniques; on observe de nombreux plis à court rayon de courbure descendant en cascade sur le versant septentrional de l'Autochtone; l'écaille de Malm parautochtone située au Sud de Rionde s'est plantée dans le Flysch comme une écharde rigide dans une masse plastique.

3° Le Flysch du front de la nappe est peu épais; il est dépourvu de niveaux grossiers. Quelques fragments de diabases arborescentes permettent cependant de le rattacher au groupe des grès du Val d'Illiez.

4° Les affleurements les plus septentrionaux de grès du Val d'Illiez appartiennent à des variétés particulières. A la carrière de Plambuit (NE de Lavey-village) on trouve des grès et microbrèches souvent grossières extrêmement pauvres en matériel volcanique, mais très riches, en revanche, en fragments de calcaires grenus probablement dolomitiques et en fragments de roches éruptives acides (plaques 2607 à 2615). Les grès du Flysch autochtone des collines de Chiètres, qui affleurent bien dans une petite paroi située à l'extrémité nord du massif, rappellent beaucoup les «grès de Massongex», que l'on trouve juste sous la Molasse du Val d'Illiez.

En laissant de côté la question si importante de la nature et du mode de mise en place des pseudo-mylonites de Rionde (LUGEON, 1947), les tâches les plus importantes que nous propose le Flysch de cette sous-région sont:

- a) L'étude des relations tectoniques exactes entre les deux niveaux grossiers de la coupe Morcles-Rionde (structure synclinale ou duplication par chevauchement).
- b) L'étude de la constitution et de la signification des deux zones schisteuses, en particulier de la zone supérieure.

- c) L'étude des relations existant entre les grès de Plambuit, ceux des collines de Chiètres et les «grès de Massongex».
- d) L'étude détaillée du Flysch helvétique de la partie nord du vallon de Javerne et de la fenêtre du Val de Nant.

## Chapitre IX

### Les grès de Taveyannaz en Suisse occidentale

#### § 1. Le Flysch de la vallée de la Lizerne

**Publications consultées:** LUGEON, 1914; BONNARD, 1926.

**Cartes géologiques consultées:** LUGEON, 1910; BONNARD, 1927; LUGEON, 1940 *a*.

**Limites géographiques:** Le Flysch de cette région constitue une masse importante située sur le flanc gauche de la vallée de la Lizerne ainsi que trois petites masses bien visibles sur la carte géologique de LUGEON (1940 *a*) dans la partie moyenne et supérieure de la vallée: à Montbas, dans le synclinal de Derbon et dans celui de Tête à Jean-Tsanperron. Les deux derniers endroits se trouvent sur rive droite de la Lizerne.

**Traits géologiques principaux. Historique:** Le Flysch de la vallée de la Lizerne remplit soit le synclinal de raccord entre la nappe des Diablerets et la nappe de Moreles, soit des synclinaux séparant des digitations de cette nappe; il représente ainsi les couches les plus jeunes de la couverture du dos de cet élément tectonique.

LUGEON (1914, p. 103) a noté la présence de bancs de grès gris, souvent massifs. Il assimile ces grès aux grès de Taveyannaz, tout en notant avec perspicacité qu'il semble s'agir ici d'une variété particulière de cette formation, variété caractérisée par l'absence des faciès verts et mouchetés. BONNARD a confirmé les observations de LUGEON; il a figuré sur sa carte (1927) en Flysch schisto-gréseux deux des trois petites masses mentionnées ci-dessus. Il a en outre découvert dans le Flysch une Nummulite, mais son texte ne permet pas de savoir si cette trouvaille a été faite dans les grès de Taveyannaz (1926, p. 15).

**Résumé des observations. Conclusions:** Nous avons, au cours de deux excursions, échantillonné les niveaux grossiers du Flysch de la vallée de la Lizerne. L'examen des plaques minces faites dans ces spécimens a permis d'arriver aux conclusions suivantes:

1° Le chemin muletier conduisant de la Chapelle Bernard à Tsanperron et à Montbas sur le versant gauche de la vallée permet de couper toute la série du Flysch, constitué par d'innombrables alternances de grès dépassant rarement 1 m. d'épaisseur et de couches schisteuses du type «Dachschiefer». L'examen microscopique prouve que l'on est en présence de grès de Taveyannaz de l'espèce IV, riches en spilites du type C dépourvues de hornblendes et augites fraîches. On note une séricitisation très marquée des plagioclases ainsi qu'un écrasement marqué de la roche se traduisant par un étirement et une orientation parallèle, une «Regelung», des fragments (plaque 2552).

2° Deux spécimens compliquent l'idée que l'on peut se faire du synclinal de raccord. L'un, récolté à l'extrême base de la série est un grès fin quartzo-carbonaté séricitique ne contenant pas d'éléments volcaniques, qu'il convient peut-être de rattacher encore au Nummulitique. L'autre, beaucoup plus troublant, provient de la partie supérieure du Flysch et se trouve intercalé dans des grès de Taveyannaz. Il s'agit aussi d'un grès dépourvu de fragments volcaniques, riche en revanche en quartz et en muscovite, qui rappelle certains grès du Flysch ultrahelvétique. On est probablement en présence d'une lame exotique compliquant singulièrement la structure de la masse du Flysch.

3° Nos efforts pour trouver des niveaux grossiers dans le Flysch remplissant les petits synclinaux du dos de la nappe de Moreles ont été infructueux. Toutefois, il nous faut mentionner un spécimen récolté au bord du sentier passant à l'Aveine (versant droit de la vallée) dans une mauvaise tête de banc gréseux (peut-être un rocher ayant glissé de plus haut). Il s'agit d'une microbrèche contenant, outre des fragments de spilites du type C, de rares grains de chloritites et de diabases, donc d'une roche intermédiaire entre un grès de Taveyannaz IV et un grès du Val d'Illiez.

Les quelques observations relatées ci-dessus indiquent clairement que les tâches les plus urgentes en ce qui concerne l'investigation du Flysch de la vallée de la Lizerne sont d'une part l'étude des éléments exotiques, peut-être ultrahelvétiques, du synclinal de raccord; d'autre part l'exploration très systématique des autres petites masses de Flysch. La découverte de niveaux microbréchiques dans ces masses permettrait peut-être d'observer le passage des grès de Taveyannaz aux grès du Val d'Illiez situés sur le front de la nappe de Moreles (voir p. 51).

## § 2. Le Flysch helvétique des Diablerets. Vue générale

**Publications consultées:** RENEVIER, 1877, 1890; LUGEON, 1923, 1934 *a*, 1940 *b*; M. FURRER, 1949.

**Carte géologique consultée:** LUGEON, 1940 *a*.

**Limites géographiques:** Le Flysch de cette région forme une masse d'un seul tenant qui s'étend du Cirque de Creux de Champs (au S du village des Diablerets) à la crête des Rochers du Van située entre la vallée de l'Avançon d'Anzeindaz et l'Alpe de Taveyannaz où les grès de Taveyannaz ont été définis.

**Traits géologiques principaux. Historique:** Le Flysch de la nappe des Diablerets est accumulé devant les digitations frontales de cet élément tectonique. Les multiples replis, en complète dysharmonie avec le soubassement, qui se voient sur le flanc sud des Rochers du Van, donnent à penser que la tectonique du Flysch est complexe. Les structures sont encore compliquées par la proximité immédiate des Préalpes internes, contre lesquelles la nappe est venue buter. Le problème de la distinction entre le Flysch helvétique et les divers Flysch ultrahelvétiques se pose donc aussi dans cette région.

Nombreux sont les auteurs qui mentionnent plus ou moins brièvement les grès de l'Alpe de Taveyannaz et des Rochers du Van (RENEVIER, 1877, 1890; SCHMIDT, 1888; DUPARC et RITTER, 1895); aucun d'entre eux ne nous donne cependant une description tant soit peu détaillée du Flysch de la région. Nous disposons heureusement de l'admirable carte géologique, récente et précise, levée par LUGEON (1940 *a*). Cette carte distingue au moyen de figurés différents les grès de Taveyannaz, le Flysch helvétique indifférencié et les divers Flysch ultrahelvétiques. Cette distinction nous a permis de revoir facilement de nombreux affleurements de Flysch à la lumière des connaissances nouvelles acquises grâce à l'analyse micrographique.

## § 3. Résumé des observations. Conclusions

1° Nous obtenons une bonne coupe dans le flanc méridional des Rochers du Van en remontant le torrent d'Abefêt (qui se jette dans l'Avançon d'Anzeindaz environ 1 km. en aval de Solalex), puis en suivant un ravin situé un peu à l'Ouest et aboutissant sous Chauv Ronde de Taveyannaz. En tenant compte du fait que l'on traverse un anticlinal couché, on note la succession stratigraphique suivante de la base au sommet de la série:

- a) Marnes schisteuses à Globigérines.
- b) Mince zone de grès de Taveyannaz IV d'une variété aberrante anormalement riche en séricite.
- c) Grès de Taveyannaz de l'espèce II.
- d) Grès de Taveyannaz de l'espèce IV normale.

Le passage des grès de Taveyannaz IV aux grès de Taveyannaz II s'observe bien, en position renversée, à l'altitude de 1600 m. environ, au-dessus d'un sentier mal marqué traversant le torrent d'Abefêt.

Ce passage semble correspondre à la limite entre grès de Taveyannaz et Flysch indifférencié marquée sur la carte de LUGEON (1940 a). Notons en outre que l'on rencontre vers l'altitude de 1540 m. environ, en plein dans les grès de Taveyannaz IV normaux, une roche microbréchiqne riche en fragments calcaires et en ciment carbonaté et dépourvue d'éléments volcaniques. Sans doute s'agit-il de Flysch ultrahelvétique. Il conviendrait d'examiner de près les relations de cet élément avec les grès de Taveyannaz encaissants. On retrouve, au-dessus des marnes schisteuses à Globigérines, des grès de Taveyannaz, notamment des grès de l'espèce IV en dessous de Chaux Ronde (plaque 969).

2° La constitution de la crête des Rochers du Van est assez complexe. Chaux Ronde de Taveyannaz est formée de grès et microbrèches du Flysch ultrahelvétique qui forment aussi l'extrême début de la crête en question. On rencontre ensuite des grès de Taveyannaz appartenant aux espèces II, III ou IV selon les points et présentant par places un faciès microbréchiqne très grossier (plaque 987). Cette série est interrompue par une intercalation exotique située dans la petite selle à l'Est du point 2091 où la carte LUGEON (1940 a) indique du Flysch indifférencié. Il s'agit de lits schisteux soyeux et surtout de grès microbréchiqnes complètement dépourvus de spilites ou d'andésites, contenant comme éléments caractéristiques des grains de glauconie, de grandes paillettes de muscovite, des fragments de Lithothamnium et quelques Nummulites. Cette intercalation est certainement ultrahelvétique, elle semble former un synclinal couché que l'on aperçoit en descendant quelque peu sur le versant méridional de l'arête; il est probable qu'elle se prolonge vers le Nord-Est, car, en descendant de la pointe du Coin à Taveyannaz, on traverse un banc de grès gris à éclat gras, dépourvu d'éléments volcaniques qui, par divers caractères, rappelle les grès du Flysch ultrahelvétique.

3° La barre rocheuse descendant de la pointe de l'Arpille vers le NNE, au-dessus des chalets des Rayes, est en grès de Taveyannaz de l'espèce II très typiques. Des galets finement conglomératiques, n'appartenant certainement pas au Flysch nordhelvétique, se rencontrent dans le lit du torrent de Culand, peu au-dessus de la cote 1600; ces éléments suggèrent l'existence d'une zone ultrahelvétique dans le fond du cirque de Culand.

4° La crête de Préserman, entre la pointe et le col de ce nom, est formée de bancs massifs de grès de Taveyannaz appartenant à la sous-espèce II b. Le Flysch indifférencié indiqué (LUGEON, 1940 a) au Col de Préserman contient des bancs peu puissants de grès très durs, à éclat gras et couleur variant du gris au jaune pâle suivant le degré d'altération. L'examen microscopique de ces roches, dépourvues de fragments volcaniques, permet de les attribuer au Flysch ultrahelvétique. On retrouve du reste des terrains analogues dans un ravin descendant du col vers le NE en un point où ce ravin est franchi par un sentier venant du chalet de Préserman; ils sont associés à des lits schisteux soyeux et à des niveaux de calcaires spathiques riches en microorganismes (Nummulites, Orthophragmines, Textulaires, Miliolides, Mélobiésées, etc.) et avoisinent des grès de Taveyannaz de l'espèce IV. C'est sans doute dans ces couches ultrahelvétiques que M. FURRER (1949, p. 126) a découvert des spécimens de grès à Nummulites. La base de l'arête qui monte du Col de Préserman à la Borna est constituée par des grès de Taveyannaz mouchetés. Les bancs inférieurs très massifs appartiennent à l'espèce III, plus haut apparaissent hornblendes et augites.

5° Nous n'avons rien de particulier à relater sur les grès de Taveyannaz affleurant dans le fond du cirque de Creux de Champs et qui appartiennent, tantôt à l'espèce II, tantôt à l'espèce IV. Il faut en revanche noter que le cours inférieur du ruisseau de Luex Puetcenet, qui descend dans les pentes abruptes formant l'aile nord-est du cirque, entaille un Flysch schisteux coupé de petits bancs gréseux parfois microbréchiqnes. Il s'agit à nouveau de grès dépourvus de débris d'andésites et de spilites, totalement différents des grès de Taveyannaz que le ruisseau traverse dans son cours supérieur. On est en présence d'une nouvelle intercalation ultrahelvétique.

Les observations rapportées ci-dessus démontrent que trois tâches importantes solliciteront les géologues désireux de reprendre l'étude du Flysch de cette région:

- a) Etudier très soigneusement les superbes microbrèches grossières des grès de Taveyannaz II, telles les microbrèches du troisième rocher du Van et celles de la barre des Rayes.

- b) Rechercher et étudier systématiquement de bonnes coupes stratigraphiques aux fins de confirmer et d'affiner les observations faites dans le torrent d'Abefêt.
- c) Suivre en direction les divers lambeaux attribués au Flysch ultrahelvétique afin de voir s'il existe une bande continue allant des Rochers du Van à Creux de Champs ou plusieurs bandes qui se relaient. Tenter de rattacher ce Flysch à l'un ou l'autre des Flysch des Préalpes internes distingués par LUGEON.

#### § 4. Les grès de Taveyannaz dans l'ensellement des Hautes Alpes calcaires entre Lizerne et Kander

**Publications consultées:** STUDER, 1853; RENEVIER, 1865; LUGEON, 1914; WINTERHALTER, 1933; LUGEON, 1934 c; VON TAVEL, 1936; H. FURRER, 1938; H. FURRER et HÜGI, 1949.

**Carte géologique consultée:** LUGEON, 1910.

**Limites géographiques:** Le Flysch helvétique compris entre la Lizerne et la Kander forme plusieurs masses d'extension limitée, séparées les unes des autres. On connaît:

1° Le Flysch situé sur la rive gauche de la Lizerne dont nous avons déjà parlé au § 1 de ce chapitre.

2° Trois affleurements situés aux alentours du Col du Sanetsch: Sex Rouge, La Vielle, Tsanfleuron (LUGEON, 1914, p. 113).

3° Le petit affleurement de la fenêtre d'Olden, situé à l'altitude de 1910 m. environ sur rive droite de l'Oldenbach (LUGEON, 1914, p. 130).

4° Deux affleurements situés en amont de Gsteig, au-dessous de Auf der Burg (LUGEON, 1914, p. 182).

5° Une assez grande masse s'étendant de la Raspille jusqu'au Zayettazhorn et à la Croix des Chasseurs (Jägerkreuz) en passant par la Varnerkumme (LUGEON, 1914, p. 120).

6° Divers affleurements situés au-dessus de Loèche-Ville (LUGEON, 1914, p. 63).

**Traits géologiques principaux. Historique:** Les «tufs augitiques» de Loèche pourraient peut-être appartenir à l'Autochtone le plus méridional; le Flysch de la vallée de la Lizerne se trouve, comme on le sait, sur le dos de la nappe de Morcles. Les autres affleurements font partie de la couverture de la nappe des Diablerets.

Les grès de Taveyannaz de cette région sont connus depuis longtemps, B. STUDER (1853, p. 113, 152) en parle déjà. LUGEON décrit brièvement les affleurements susmentionnés dans son imposante monographie sur les Hautes Alpes calcaires. Il signale en particulier l'existence, immédiatement en dessus du Malm autochtone, de plusieurs affleurements d'un curieux tuf augitique situé au Nord-Est de Loèche-Ville (LUGEON, 1914, p. 63). DE QUERVAIN (1928, p. 64) mentionne très brièvement quelques affleurements; il note que l'épaisseur des grès de Taveyannaz atteint 100 m. à la Varnerkumme. En 1933, R. U. WINTERHALTER (1933, p. 318) donne une diagnose pétrographique des «tufs augitiques» de Loèche et démontre qu'il s'agit de grès de Taveyannaz. Très récemment, H. FURRER et TH. HÜGI (1949) ont découvert des dykes volcaniques dans la région de Trubeln. Ces filons qui coupent le calcaire nummulitique ne paraissent cependant rien avoir de commun avec les grès de Taveyannaz, car ils sont formés de roches différentes des andésites et spilites rencontrées en fragments dans les grès du Flysch. Au surplus nous verrons plus loin (chapitre XVI) qu'il n'est guère possible d'imaginer que les cheminées qui ont fourni le matériel volcanique du Flysch se trouvent dans le soubassement de ce dernier<sup>1)</sup>.

**Résumé des observations. Conclusions:** Nous n'avons pas voué une attention spéciale au Flysch de cette région en raison de l'étendue limitée et du manque de variété des masses de Flysch, aussi nous bornerons-nous à relater les observations suivantes:

1° Les grès de Taveyannaz sous des faciès assez typiques représentent le Flysch nordhelvétique de l'ensellement des Hautes Alpes calcaires. Les grès du Val d'Illiez sont absents.

<sup>1)</sup> Une étude plus poussée de ces filons vient de paraître sous la plume de H. FURRER et TH. HÜGI: Telemagnatischer Gang im Nummulitenkalk bei Trubeln westlich Leukerbad (Kanton Wallis). *Eclogae geol. Hel.*, 45, no. 1, p. 41. (1952).

2° L'étude de la coupe de la Raspille et des observations complémentaires faites à la Varnerkumme donnent la succession suivante de bas en haut:

- a) Marnes schisteuses à Globigérines.
- b) Grès de Taveyannaz II *a* (plaque T. 39).
- c) Grès de Taveyannaz II *b*, III ou IV (variété séricitique).
- d) Série des «grès quartzeux».

3° LUGEON (1914, p. 126) a déjà relevé l'existence de la série des grès quartzeux; cet auteur se demande s'il s'agit d'intercalations dans les marnes schisteuses à Globigérines, mais préfère finalement voir dans cette série une variation latérale du faciès des grès de Taveyannaz. Ces roches portent les marques d'un écrasement intense; les niveaux microbréchiques sont riches en fragments de roches éruptives acides (granites, aplites parfois graphiques, microgranites, porphyres quartzifères) mêlés à quelques débris de calcaires et de quartzites; on remarque de grandes paillettes de muscovite. Le ciment est un mélange de carbonate et de séricite. Sommes-nous en présence d'un passage, unique en son genre, des grès de Taveyannaz à un Flysch plus interne ou simplement d'intercalations tectoniques de Flysch ultrahelvétique? Nous ne sommes pas encore en mesure de trancher ce dilemme.

4° Le «tuf augitique» situé au Nord-Est de Loèche-Ville est, comme l'a révélé WINTERHALTER, un grès de Taveyannaz appartenant en grande partie à une variété de l'espèce II très riche en augites et hornblendes fraîches. Les spécimens portent en général les traces d'un laminage intense (plaque 8980).

Ainsi deux problèmes semblent devoir retenir plus particulièrement l'attention des futurs chercheurs:

- a) L'étude soignée de l'ensemble des affleurements situés au Nord-Est de Loèche-Ville, de manière à élucider la question de la curieuse position des grès de Taveyannaz juste sur le Malm autochtone. Les glissements de terrain nombreux dans cette région, le laminage marqué des couches exigent une grande prudence dans l'interprétation tectonique des observations.
- b) L'étude des alentours de la Varnerkumme de manière à trouver quelles sont les relations exactes entre les grès quartzeux et les grès de Taveyannaz.

## Chapitre X

### Le Flysch nordhelvétique dans le canton de Berne, entre le Kandertal et le Titlis

#### § I. Les grès de Taveyannaz du Kandertal et du Kiental. Introduction

**Publications consultées:** TRIBOLET, 1874; MOESCH, 1894; GERBER, 1905; TROESCH, 1908; ADRIAN, 1914 *a*; KREBS, 1925 *a*; ADRIAN et GÜNZLER-SEIFFERT, 1934.

**Cartes géologiques consultées:** ADRIAN, 1914 *b*; KREBS, 1925 *b*; GÜNZLER-SEIFFERT, 1933.

**Limites géographiques:** Le Flysch nordhelvétique de cette région forme diverses masses assez mal individualisées, que l'on trouve: sur rive gauche de la Kander entre Kandersteg et Frutigen; au Nord de l'Oeschinensee (notamment dans les hauts de la Birre); sur les deux versants du Kiental en dessous du village du même nom; dans le triangle situé entre Griesalp, le Col du Hohtürli et Bundalp; au Dürrenberg entre Griesalp et la Sefinenfurgge.

**Traits géologiques principaux. Historique:** La région Kandertal-Kiental appartient principalement aux trois grandes unités tectoniques des Hautes Alpes calcaires bernoises: Doldenhorn-Decke, Gellihorn-Decke, Wildhorn-Decke; on y trouve en outre des lambeaux de terrains ultrahelvétiques. Les grès de Taveyannaz appartiennent, avec quelques exceptions douteuses (KREBS, 1925, p. 46), à la Gellihorn-Decke. Dans certains cas, le complexe des grès de Taveyannaz est encore en liaison stratigraphique avec les couches

plus anciennes de cette nappe; dans d'autres, on est en présence d'une masse détachée et entraînée en avant sous des éléments supérieurs. Dans des cas extrêmes, comme H. ADRIAN (1914 a) l'a démontré, les grès de Taveyannaz ont formé un vrai «mélange» tectonique avec d'autres terrains, mélange présentant une certaine analogie avec le Wildflysch.

Divers auteurs ont publié de bonnes descriptions des grès de Taveyannaz de cette région dans des chapitres faisant partie de monographies plus générales. En 1874 déjà, M. TRIBOLET remarque le faciès particulier des grès grossiers de la Rafliwald sur le versant gauche de la vallée, en aval de Kiental. ADRIAN décrit en 1914 des passées conglomératiques dans les grès du Burggraben, ravin situé près de la Rafliwald, qui contiennent des galets granitiques atteignant 10 cm. de diamètre. Le même auteur signale aussi l'existence d'une variété grossière de grès de Taveyannaz dans les éboulis qui dominent le chalet de Heuberg (ADRIAN, 1914 a, p. 255-257). Ces faciès grossiers nous rappellent que le complexe des grès de Taveyannaz est transgressif dans la région qui nous occupe et repose sur des terrains allant du Malm au Priabonien. ADRIAN (1914 a, p. 272) insiste sur le fait que cette transgression ne doit pas être confondue avec la transgression du Nummulitique sur l'Hauterivien.

Nous noterons pour terminer que J. KREBS (1925, p. 53) parle d'«echter Taveyannazsandstein» (grès vert moucheté à grain souvent fin) et d'«unechter Taveyannazsandstein» (grès grossier riche en quartz).

## § 2. Les grès de Taveyannaz du Kandertal et du Kiental

### Résumé des observations. Conclusions

1° En montant d'Ober-Oeschinen à Oeschinen-Schafberg on traverse le Flysch de la Gellihorn-Decke qui présente la succession suivante:

- a) Série schisto-gréseuse contenant des bancs de grès peu épais à éléments quartzeux et ciment calcaire. Un spécimen récolté à l'extrême base de la série est un grès de Taveyannaz IV peu typique, plus haut, nous ne rencontrons plus de fragments de spilites, en revanche, les débris de calcaires et de roches granitoïdes sont abondants.
- b) Série schisto-gréseuse contenant des grès de Taveyannaz appartenant à une variété de l'espèce IV caractérisée par l'abondance des grands plagioclases fortement séricitisés.
- c) Bancs massifs de grès de Taveyannaz grossiers, verts, appartenant à l'espèce II («echte Varietät» de KREBS) (plaque 2516).
- d) Alternances de lits schisteux et de grès verdâtres ou faiblement mouchetés appartenant tout d'abord à l'espèce II, puis, au-dessus, aux espèces II b et III.

2° Les conglomérats signalés par ADRIAN au-dessus de Heuberg se trouvent aussi en éboulis dans un ravin où se perd le sentier qui descend des chalets de Heuberg à Im Läger. Dans les deux cas il s'agit de roches appartenant à l'espèce II des grès de Taveyannaz (augites et hornblendes fraîches), mais anormalement riches en fragments de roches non volcaniques telles que granites, roches aplitiques, quartz polycristallins, calcaires, grès grossiers à ciment calcaire, microbrèches polygéniques, jaspes. On note aussi, dans les conglomérats de l'éboulis situé en dessus d'Im Läger, des débris d'algues Mélobiésées et quelques grains de glauconie.

3° Une série d'observations faites dans le Haut Kiental, tant dans la région de la Schwarze Fluh qu'au Dürrenberg, au-dessus des chalets de Hübeln, nous conduisent à admettre, de la base au sommet du Flysch, la succession suivante:

- a) Grès de Taveyannaz IV appartenant à la variété séricitique.
- b) Grès de Taveyannaz II en bancs souvent massifs verts ou mouchetés. Les augites qui prédominent nettement à la base sont, plus haut, en partie remplacées par les hornblendes.
- c) Grès de Taveyannaz gris appartenant à l'espèce IV (plaque 2442). Ces grès contiennent des grains blancs épars (quartz et roches granitoïdes); ils ne contiennent plus ni augites ni hornblendes fraîches; dans quelques rares cas on observe de petits fragments de diabases arborescentes. Il semble s'agir des «unechte Taveyannazsandsteine» de KREBS.

On notera que cette série est analogue dans ses grandes lignes avec celle relevée au-dessus d'Ober-Oeschinen.

4° La région du Burggraben, en aval de Kiental, paraît caractérisée par l'abondance des grès de Taveyannaz appartenant à l'espèce III, verdâtres et souvent très mouchetés. Ces grès contiennent des veinules et des plages éparses d'un minéral bien cristallisé, incolore, qui a les caractères optiques de la prehnite. Il est probable que c'est ce minéral que E. GERBER (1905) a pris pour de la topaze; les propriétés optiques des deux minéraux sont en effet assez semblables (WINCHELL, 1945, p. 198).

5° Les passées conglomératiques signalées par ADRIAN dans le Burggraben un peu en dessus de 1100 m. sont riches en galets de roches granitiques: granites, parfois à microcline et biotite, microgranites; on note aussi des galets plus foncés de grès ou de roches schisteuses. Le ciment de ces éléments est un grès de Taveyannaz dépourvu d'éléments ferromagnésiens frais, sans doute un grès de l'espèce III.

Le développement de nos connaissances concernant le Flysch nordhelvétique de la région Kiental-Kandertal paraît pouvoir se faire dans trois directions principales:

- a) Vérifier et affiner la succession stratigraphique que nous avons proposée ci-dessus. A cette fin il conviendrait d'étudier qualitativement et quantitativement diverses coupes; la région dominant l'Oeschinensee (Oeschinen-Schafberg) nous paraît devoir se prêter particulièrement bien à des investigations de ce genre.
- b) Etudier à fond la composition des divers niveaux conglomératiques mentionnés ci-dessus. Cette tâche revêt une importance particulière du fait que ces niveaux sont déjà riches en galets non volcaniques bien qu'ils appartiennent cependant aux grès de Taveyannaz II. Peut-être avons-nous là l'exemple unique en Suisse d'un passage à des formations plus internes sudhelvétiques ou ultrahelvétiques?
- c) Rechercher et étudier d'éventuels niveaux gréseux ou microbréchiques dans le Flysch de la Doldenhorn-Decke affleurant dans le haut Kiental, notamment au Dürrenschaftberg.

### § 3. Le Flysch nordhelvétique entre la Sefinenfurgge et la Grande Scheidegg

Le Flysch helvétique disparaît presque complètement entre la Sefinenfurgge et le Laubersgrat au-dessus d'Engelberg. Les affleurements sont en général petits; les roches peu variées et la complexité de la tectonique telle qu'il n'est guère possible d'établir une stratigraphie satisfaisante. Nous donnons ci-dessous tout d'abord les références bibliographiques concernant l'ensemble de cette zone, puis le résumé de quelques observations ayant trait à sa moitié occidentale.

**Publications consultées:** BALTZER, 1880; MOESCH, 1894; ARBENZ, 1907; HELGERS, 1909; BOUSSAC, 1910; ARBENZ et MÜLLER, 1920; STAUFFER, 1920; LOUIS, 1924; SCABELL, 1926; COLLET et PARÉJAS, 1931; PARÉJAS, 1931; ARBENZ, 1934 *b*; ADRIAN et GÜNZLER-SEIFFERT, 1934; GÜNZLER-SEIFFERT, 1934, 1938; MÜLLER, 1938, 1941.

**Cartes géologiques consultées:** ARBENZ, 1911; COLLET et PARÉJAS, 1928; GÜNZLER-SEIFFERT, 1933, 1938.

**Principaux traits géologiques. Historique:** Le Flysch nordhelvétique de ce secteur appartient soit à l'Autochtone, soit à une nappe helvétique extrêmement laminée, en général la Gellihorn-Decke. KREBS (1925, p. 18) donne une coupe dans le Flysch autochtone observée à Grundbalm près des chalets de Thal dans le Sefinental; il s'agit d'une série essentiellement schisteuse avec quelques intercalations calcaires ou quartzitiques. H. STAUFFER (1920, p. 14) a publié un profil à travers les grès de Taveyannaz que l'on trouve au Brünli sur le versant gauche du Sefinental. Ces grès représenteraient soit la couverture de la Doldenhorn-Decke, soit une involution du Flysch de la Gellihorn-Decke; peut-être aussi ces deux éléments tectoniques n'en forment-ils plus qu'un dans ces parages (STAUFFER, 1920, p. 13). L. W. COLLET et E. PARÉJAS (1931) signalent à deux reprises du Flysch dans leur monographie: un Flysch autochtone très schisteux remplissant des replis synclinaux situés sous le Schwarz Mönch et un Flysch argileux et gréseux affleurant dans les pentes abruptes situées sous le Hörnli, au-dessus de

Grindelwald (COLLET et PARÉJAS, 1931, p. 38 et 19). Selon K. LOUIS (1924, p. 34), ce Flysch ne serait pas véritablement autochtone, mais se placerait tectoniquement en dessus des trois écailles parautochtones de Schüssellauen.

On remarque sur la feuille Grindelwald (GÜNZLER-SEIFFERT, 1938) dans le flanc nord-ouest du Mettenberg, aux Hohturnen, un figuré jaune avec points bruns représentant le Flysch autochtone. Plusieurs auteurs ont signalé une certaine ressemblance entre ce Flysch et celui du complexe «Dachschiefer-Alt Dorfersandstein» (SCABELL, 1926, p. 35; MÜLLER, 1938, p. 55). W. SCABELL (1926, p. 35) a relevé de bas en haut la coupe suivante dans cette formation: grès et schistes gréseux à patine brune; schistes argileux; banc de grès gris à patine rousse; calcaires infiltrés. L'auteur note une vague analogie entre les grès à patine rousse et les grès de Taveyannaz.

**Résumé des observations:** Deux points retiendront notre attention:

1° Les grès du Flysch affleurant sous le Hörnli sont, comme l'ont supposé COLLET et PARÉJAS, des grès de Taveyannaz. Le spécimen que nous avons examiné appartient à l'espèce IV avec éléments ferromagnésiens chloritisés. Il est de ce fait très improbable qu'ils appartiennent à la couverture de l'Autochtone.

2° Les grès bruns du Flysch des Hohturnen contiennent des fragments, peu nombreux, il est vrai, de diabases intersertales divergentes, arborescentes ou fibroradiées et de très rares débris de spilites microlitiques. Ces éléments permettent, malgré le grain généralement très fin, de reconnaître des grès du Val d'Iliez. Ces roches ont subi un écrasement plus ou moins marqué qui leur a donné une texture schisteuse, il est d'autre part probable que leur teinte brune provient de la présence de petits rhomboèdres brunâtres d'ankérite altérée. Ainsi il semble que comme en Suisse occidentale, le Flysch autochtone est caractérisé là aussi par la présence de grès du Val d'Iliez.

#### § 4. Les grès de Taveyannaz entre la Grande Scheidegg et le Laubersgrat

**Traits géologiques principaux. Historique:** Les grès du Flysch helvétique de ce secteur appartiennent entièrement au groupe des grès de Taveyannaz. En 1880, A. BALTZER a déjà décrit certains des affleurements de ce Flysch. Plus récemment P. ARBENZ (1907, 1920) et F. MÜLLER (1938, 1941) nous ont fait connaître la tectonique compliquée de cette zone d'écailles comprise entre l'Autochtone et la nappe du Wildhorn. On aurait, selon ces auteurs, les correspondances suivantes (table XII) de l'Oberland bernois au Schächental.

Table XII

Correspondances tectoniques entre l'Oberland bernois, la région du Titlis et le Schächental d'après MÜLLER et ARBENZ (1938)

Oberland bernois	Région du Titlis	Schächental
Tertiaire de la Scheidegg	Lentille Weissberg-Gitschen	Griesstock-Decke
Ecaille du Läsistock	Zone du Wildflysch	Zone du Wildflysch
	Grès de Taveyannaz (Jochstock)	Grès de Taveyannaz
Autochtone écaillé	Ecaille de la Rothegg	«Nappe» des Hoh-Faulen } Autochtone
Autochtone basal	Autochtone écaillé	
	Autochtone s. str.	

MÜLLER remarque que la présence des grès de Taveyannaz est liée à la présence de l'écaille du Läsistock, bien que les grès soient séparés de cette écaille par un plan de chevauchement passant dans une bande schisteuse.

**Résumé des observations. Conclusions:** L'étude de cette région tourmentée nous a livré des observations qu'il est difficile, sinon impossible, de réunir en un tout cohérent:

1° Les grès de Taveyannaz que l'on rencontre de part et d'autre de la vallée de l'Aar en amont de Meiringen, soit aux alentours de la chute du Reichenbach, soit entre Langenbalm et Arnialp, appartiennent surtout aux espèces II (plaque 2397) et III, quoique les grès de l'espèce IV ne soient pas totalement absents.

2° En montant l'arête de la Rothegg, au-dessus du Laubersgrat, on rencontre tout d'abord, en dessus du Malm charrié, une puissante série de Flysch schisteux dans laquelle apparaissent plus haut des bancs de grès verdâtres que la carte d'ARBENZ (1911) figure comme grès d'Altdorf. Il s'agit en réalité de grès de Taveyannaz de l'espèce IV (plaque 2375); bien distincts des grès d'Altdorf de la vallée d'Engelberg. Au reste n'oublions pas que le Flysch de la Rothegg est séparé de l'Autochtone par une écaille d'Oehrlkalk et de quartzites nummulitiques (MÜLLER, 1938, p. 54).

Ce n'est que plus bas, dans les barres rocheuses affleurant au Sud-Est du Trübsee que l'on trouve des grès de Taveyannaz appartenant aux espèces II ou III (plaque 2370).

La tâche la plus intéressante que nous offre cette zone de Flysch s'étendant de la Sefinenfurgge jusqu'au-dessus d'Engelberg consisterait, à notre avis, à rechercher dans le Flysch autochtone des niveaux détritiques suffisamment grossiers pour pouvoir confirmer les observations faites sur les spécimens du Flysch des Hohturnen.

## Chapitre XI

# Le Flysch nordhelvétique entre Engelberg et la Reuss

## § 1. Introduction

**Publications consultées:** MOESCH, 1894; LUTHER, 1907; VAN DER PLOEG, 1912 *a*; ARBENZ, 1913, 1920; DE QUERVAIN, 1928; ARBENZ, 1934 *a*, 1934 *b*; ARBENZ, SCHUMACHER et LEUPOLD, 1938; ANDEREGG, 1940; VUAGNAT, 1944 *d*.

**Cartes géologiques consultées:** VAN DER PLOEG, 1912 *b*; BUXTORF, 1916; ARBENZ, 1918.

**Limites géographiques:** Le Flysch helvétique de cette région forme une masse puissante et interrompue qui débute au Geissberg (au Sud-Est d'Engelberg), passe en se rétrécissant au Surenenpass et débouche dans la vallée de la Reuss où elle s'élargit considérablement. Au niveau du fond de la vallée le Flysch s'étend en effet d'Attinghausen jusqu'à un point situé au Nord de Bolzbach sur l'Urnersee.

**Traits géologiques principaux. Historique:** L'intérêt de cette région provient de la réapparition du Flysch autochtone qui, plus à l'Est, dans le Schächental, va prendre un développement énorme. Ce Flysch est compris entre le soubassement autochtone au Sud et les nappes helvétiques au Nord.

La lithologie du Flysch d'Engelberg est connue dans ses grandes lignes depuis assez longtemps; ce sont surtout les travaux de ARN. HEIM, de P. ARBENZ et de J. BOUSSAC qui nous l'ont révélée. Le premier de ces auteurs donne une bonne coupe de la partie basale du complexe, à la FÜRrenalp, entre Engelberg et le Surenenpass (ARN. HEIM, 1908, p. 90). J. BOUSSAC a publié, dans sa magnifique monographie sur le Nummulitique alpin, trois coupes observées dans cette région: la première est celle de la FÜRrenalp, la seconde celle du Stierenbach et la troisième celle du Schlossberg, lieu situé peu à l'Ouest du Surenenpass (BOUSSAC, 1912, p. 364-369).

Il existe un accord général entre ces géologues pour admettre, de la base au sommet du Tertiaire, la succession suivante:

- a) Nummulitique (grès, couches schisteuses).
- b) Marnes schisteuses à Globigérines.
- c) Série schisto-gréseuse riche en bancs de grès rappelant les grès de Taveyannaz.
- d) Complexe schisteux où prédominent les couches du type «Dachschiefer».
- e) Grès et lits schisteux nummulitiques d'allure exotique.
- f) Ecaille du Weissberg.

Le Flysch nordhelvétique est représenté par les termes *c* et *d*. Notons qu'ARBENZ parle tantôt de Flysch parautochtone (1934 *a*, profil), tantôt de Flysch autochtone (1934 *a*, p. 774). Les éventuels grès de Taveyannaz du terme *c* sont peu caractéristiques, ils contiennent de gros grains de quartz blanc et, parfois, des fragments de gneiss (BOUSSAC, 1912, p. 364). C'est dans les «Dachschiefer» de la partie supérieure du complexe qu'est ouverte une ancienne carrière d'ardoises où l'on a trouvé des restes de poissons.

Les roches du terme *e* appartiennent au Wildflysch. Un fait particulièrement digne d'intérêt est la découverte par P. ARBENZ, W. LEUPOLD et J. SCHUMACHER (1938) de grès de Taveyannaz caractéristiques associés à cette bande de Wildflysch dans la région du Surenenpass. Au surplus, ARBENZ avait déjà mentionné l'existence de grès de Taveyannaz typiques aux environs d'Engelberg (ARN. HEIM, 1908, p. 89, note infra-paginale).

Les auteurs ne nous disent que fort peu de choses du Flysch qui affleure entre la crête des Surenen et la Reuss. Le document le plus récent qui nous fournisse des renseignements à ce sujet est la carte d'ARBENZ (1918); cette carte nous montre que le Flysch helvétique est lardé par trois lambeaux de Flysch ultrahelvétique (Nussfruttli, Laucheren, Giebelstöcke). P. VAN DER PLOEG (1912 *a*) reprend en grande partie les observations de ARN. HEIM (1908, p. 90) et distingue une série inférieure de grès ressemblant à des grès de Taveyannaz («Taveyannazartige») et une série supérieure de grès d'Altdorf. Cette dernière formation prolonge vers l'Ouest celle qui forme le Gruonberg au-dessus d'Altdorf et se continue jusqu'à l'Angistock en passant sous les Giebelstöcke. Récemment, H. ANDEREGG a décrit le Flysch du soubassement de la Gitschen-Decke dans la région de l'Isental. La partie inférieure de ce Flysch appartient au complexe des «Dachschiefer-Altdorfersandsteine» et contient des bancs grossièrement conglomératiques identiques à ceux du Gruontal<sup>1)</sup>.

## § 2. Le Flysch nordhelvétique entre Engelberg et la Reuss

### Résumé des observations. Conclusions

L'étude microscopique d'une série de spécimens récoltés dans les niveaux grossiers du Flysch permet de faire les constatations suivantes:

1° L'ensemble des grès du Flysch nordhelvétique de la région d'Engelberg appartient au groupe des grès du Val d'Illiez (microbrèches polygéniques à diabases arborescentes). La lentille de grès de Taveyannaz découverte au Surenenpass par ARBENZ, LEUPOLD et SCHUMACHER fait toutefois exception à cette règle.

2° Les microbrèches du type Val d'Illiez appartiennent pour la plupart à l'espèce I (éléments volcaniques assez abondants, prédominance des fragments de spilites du type C sur ceux de diabases); c'est en particulier le cas dans la partie basale du Geissberg (plaque 2349), à la Fürenalp (plaque 1118), au-dessus de l'Ebnetalp, à Turm environ 1 km. à l'Ouest du Surenenpass.

<sup>1)</sup> Dans un travail récent (Die Flysch- und Parautochthonzone des oberen Engelbergertales. Mitt. Naturf. Ges. Bern [N. F.] 7, 1949), dont nous n'avons eu connaissance que pendant la publication de ce mémoire, J. SCHUMACHER admet pour le Flysch de la région d'Engelberg une structure en écailles complexe. C'est ainsi qu'au-dessus du Flysch autochtone, on trouve une première série d'écailles à faciès grès d'Altdorf et «Dachschiefer», surmontées, dans le versant droit de la vallée, par de minces écailles à faciès grès de Taveyannaz et «Dachschiefer». Des ensembles d'écailles d'origine plus méridionale couronnent le tout.

3° Aux alentours du Surenenpass, il semble exister deux espèces de grès: au col même des grès de l'espèce I analogues à ceux de la FÜRRENALP, mais à grain plus fin; peu en dessous de l'EGGENMÄNNLI (arête Surenenpass-Schlossberg) des grès de l'espèce II. Les grès de cette série se retrouvent sur le versant occidental de la crête, environ 100 m. en dessous du col; ils sont caractérisés par la grande rareté des fragments de spilites du type C, par l'abondance du calcaire (en débris et dans le ciment) ainsi que par la présence d'un pigment brunâtre, probablement de la limonite provenant de l'altération de sidérose ou d'ankérite.

4° Deux Flysch helvétiques bien différents affleurent sur rive gauche de la Reuss. Au Sud nous trouvons des grès du Val d'ILLIEZ (série inférieure de VAN DER PLOEG); les spécimens récoltés au-dessus d'ATTINGHAUSEN appartiennent à l'espèce II. Au Nord, à partir de SEEDORF, nous rencontrons des grès microbréchiques (plaque 774) dépourvus de fragments de roches volcaniques basiques, très riches en carbonate, appartenant au groupe des grès de Matt-Gruontal inconnus en Suisse occidentale; il s'agit là de la série supérieure de VAN DER PLOEG. C'est dans la partie la plus septentrionale de ce complexe qu'ANDEREGG a signalé les conglomérats grossiers que nous avons mentionnés ci-dessus.

On trouvera ci-après mention des endroits dont l'étude systématique nous paraît susceptible d'aider à résoudre les problèmes que nous pose le Flysch de cette région:

- a) Le Geissberg. L'exploration minutieuse de ces pentes abruptes montrerait peut-être comment s'effectue le passage des grès de Taveyannaz (Rothegg) aux grès du Val d'Illiez (Sulzbach).
- b) Le sommet du Flysch helvétique, juste en dessous du Wildflysch. On pourrait peut-être établir que la lentille de grès de Taveyannaz du Surenenpass (ARBENZ, SCHUMACHER et LEUPOLD, 1938) n'est pas un témoin isolé, mais fait partie d'un train de lentilles chevauchant le complexe des grès du Val d'Illiez.
- c) La crête du Surenenpass. Son étude permettrait de préciser les relations existant entre les deux espèces de grès du Val d'Illiez.
- d) Le versant gauche de la vallée de la Reuss. L'étude du Flysch de ce versant permettrait sans doute de découvrir les relations exactes existant entre le groupe des grès du Val d'Illiez et le groupe des grès de Matt-Gruontal. Il conviendrait en particulier d'examiner le rôle joué par les lambeaux de Flysch ultrahelvétique lardant le Flysch helvétique; peut-être séparent-ils les deux séries?

## Chapitre XII

### Le Flysch nordhelvétique du Schächental

#### § 1. Introduction

Cette région est probablement la plus intéressante de la Suisse en ce qui concerne l'étude du Flysch nordhelvétique. En effet, les trois grands groupes pétrographiques de grès définis au chapitre I s'y trouvent réunis en masses importantes contenant par endroits des niveaux à grain grossier.

**Publications consultées:** ALB. HEIM, 1891; SARASIN, 1892; W. STAUB, 1911 *a*; BUXTORF, 1912; VON SCHUMACHER, 1928; BRÜCKNER, 1933 *a*, 1933 *b*; OBERHOLZER, 1933, 1934 *a*; JENNY, 1934; BRÜCKNER, 1937, 1943, 1945.

**Cartes géologiques consultées:** W. STAUB, 1911 *b*; BUXTORF, 1916; OBERHOLZER, 1942.

**Limites géographiques:** Le Flysch nordhelvétique du Schächental forme une énorme masse s'étendant du soubassement de la Windgälle au Sud jusqu'à Sulzegg sur rive droite de l'Urnersee au Nord et de Flüelen à l'Ouest jusqu'au Col du Klausen à l'Est. Cette masse atteint la vallée de la Reuss à l'altitude de 440 m. (Flüelen) et culmine à plus de 3100 m. dans le massif des Scheerhorn. Une petite masse isolée se trouve dans la partie sommitale des Clarides entre le Schächental et la vallée de la Linth.

**Traits géologiques principaux. Historique:** Il est heureux que cette région si importante ait été l'objet d'excellentes études et de bons levés de carte géologiques tout particulièrement en ce qui concerne le Flysch. Nous pensons aux publications de ALB. HEIM (1891, p. 35), ARN. HEIM (1908, p. 87), W. STAUB (1911 *a*), DE QUERVAIN (1928, p. 66), J. JENNY (1934) et W. BRÜCKNER (1933 *b*, 1937, 1943). Ce dernier auteur s'est tout spécialement intéressé au Flysch nordhelvétique. Etant donné qu'il a intégré les idées de ses prédécesseurs dans ses travaux récents, il est indispensable que nous tentions de résumer brièvement ses vues.

On trouve dans le Schächental les unités tectoniques suivantes: Autochtone, Parautochtone (Hoh Faulen-Decke), Griesstock-Decke, Kammlistock-Decke, Axen-Decke auxquelles il faut ajouter du Flysch ultra- ou sudhelvétique (Wildflysch et «Blattengratschichten») pris en involution sous des éléments tectoniques inférieurs, principalement sous la Griesstock-Decke.

Le Flysch nordhelvétique se rencontre dans l'Autochtone, dans le Parautochtone et, très réduit, dans la Griesstock-Decke. Il comprend deux termes lithologiques: des couches schisteuses («Dachschiefer») et des grès parfois microbréchiques ou même conglomératiques. En fondant sa stratigraphie, peut-être un peu audacieusement, sur l'existence de bandes schisteuses séparant des séries plus gréseuses, BRÜCKNER subdivise ce complexe de la manière suivante (voir table XIII).

Table XIII

Stratigraphie du Flysch helvétique du Schächental d'après BRÜCKNER (1937, 1946)

Groupes de grès	Subdivisions	Teneur moyenne en quartz
Grès d'Altdorf supérieurs		
Grès d'Altdorf inférieurs . . . . .	{ Bancs de grès très grossiers . . . . .	23
	{ Grès gris et schistes . . . . .	13-12
Grès de Taveyannaz . . . . .	{ Schistes ardoisiers supérieurs . . . . .	8,5
	{ Grès de Taveyannaz supérieurs . . . . .	
	{ Schistes ardoisiers moyens . . . . .	7
	{ Grès de Taveyannaz moyens . . . . .	
	{ Schistes ardoisiers inférieurs . . . . .	
{ Grès de Taveyannaz inférieurs . . . . .	4	

Remarque: Schistes ardoisiers = Dachschiefer.

L'épaisseur totale du complexe atteindrait 2000 m. environ. BRÜCKNER estime à 1000 m. la puissance des grès de Taveyannaz (y compris les «Dachschiefer» intercalés) et à 400 m. celle des grès d'Altdorf inférieurs. Selon d'autres auteurs les grès d'Altdorf supérieurs qui forment le Gruenberg, atteignent et dépassent même 600 m. d'épaisseur. BRÜCKNER remarque toutefois avec raison que cette énorme puissance totale est en quelque sorte virtuelle du fait qu'on ne peut jamais l'observer dans une seule et même coupe. En effet, le complexe possède une structure imbriquée. Si on le déroule, on voit que les parties méridionales ne contiennent pas les bancs supérieurs qui apparaissent et prennent progressivement de l'importance lorsqu'on se dirige vers les parties septentrionales. Dans ces parties, en revanche, une lacune se forme à la base du Flysch par disparition des bancs inférieurs. C'est ainsi que les grès de Taveyannaz inférieurs caractérisent la Griesstock-Decke et le flanc normal de l'élément parautochtone; les grès de Taveyannaz supérieurs et les grès d'Altdorf l'Autochtone.

BRÜCKNER a eu le mérite de démontrer que la stratigraphie établie à partir d'observations sur le terrain est confirmée grosso modo par des différences de composition pétrographique entre les princi-

paux niveaux. Lorsqu'on monte dans la série, on voit la proportion des grains de quartz, presque nulle au début, augmenter graduellement; cette variation traduit une augmentation de la quantité du matériel éruptif acide aux dépens de celle du matériel volcanique; en outre elle se marque macroscopiquement par un changement de la teinte des grès qui passe du vert au gris foncé, puis au gris clair. Ces observations ont été confirmées par nos mesures quantitatives (cf. fig. 27).

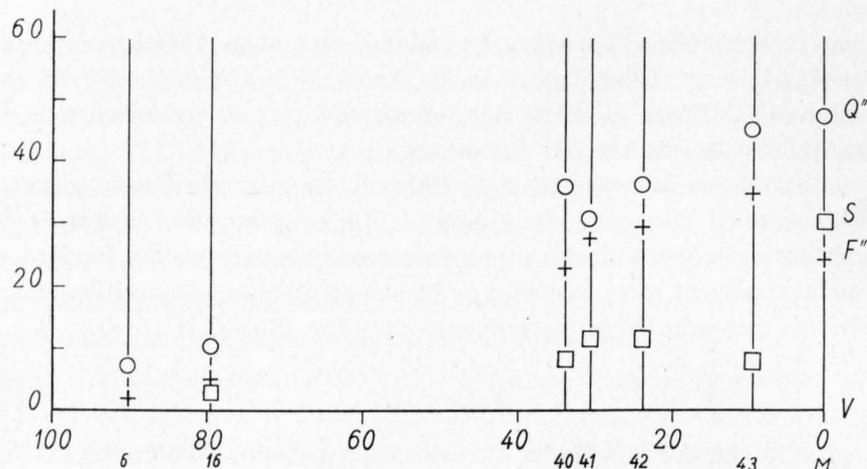


Fig. 27. Diagramme de variation des grès du Flysch nordhelvétique du Schächental. Mêmes remarques que pour la figure 25. Les chiffres de la ligne inférieure correspondent aux numéros des colonnes de la table X. *M* = moyenne des trois spécimens de grès de Matt-Gruental (colonnes 47, 48, 49).

Le soubassement du Flysch est généralement constitué par les marnes schisteuses à Globigérines (Stadschiefer des auteurs de langue allemande) ou parfois par le Nummulitique s. str. La limite entre le Flysch et son substratum est souvent compliquée par des accidents d'ordre tant tectonique que stratigraphique. Ces derniers proviennent d'une émergence qui se manifesta entre le dépôt des marnes schisteuses à Globigérines et le dépôt des grès de Taveyannaz. En effet, ce mouvement engendra l'érosion des marnes et la formation d'un conglomérat, soit dans la partie supérieure de cette formation, soit à l'extrême base des grès (BRÜCKNER, 1937, p. 163). En deux points (au pied ouest des Sattelhörner et au Sud du Schwarzstöckli), on observe même un véritable conglomérat de base avec éléments de Malm, de Valanginien et de calcaire à *N. complanata* cimentés par un grès de Taveyannaz contenant quelques grains de quartz.

Enfin BRÜCKNER (1943) distingue, dans un essai de reconstitution paléotectonique, trois phases tectoniques principales suivies d'une quatrième moins importante, à laquelle il attribue la formation des failles nombreuses dans la région.

## § 2. Résumé des observations. Conclusions

Nous sommes allé à plusieurs reprises dans le Schächental. L'étude du matériel récolté lors de ces occasions et la révision de nombreuses plaques minces faisant partie de la collection DE QUERVAIN nous ont permis de mettre en évidence les points suivants :

1° L'examen des plaques minces de la collection DE QUERVAIN révèle que les grès de Taveyannaz des Clarides appartiennent principalement à l'espèce II. De curieux spécimens très riches en minéraux calciques secondaires, notamment en épidote, correspondent probablement à des grès transformés par dynamométamorphisme.

2° Une coupe faite au travers des grès de Taveyannaz de la Griesstock-Decke au-dessus de Windeggen, près du cours supérieur du torrent du Seelital, montre que des grès de l'espèce IV se chargent vers le haut en produits d'altération calciques et passent ainsi à des grès de l'espèce III.

3° Les grès de Taveyannaz inférieurs de BRÜCKNER appartiennent, en partie tout au moins, à l'espèce II. C'est ce que dévoile l'examen de deux spécimens très riches en éléments volcaniques récoltés par DE QUERVAIN au Gross-Scheerhorn.

4° Une excursion, faite en commun avec BRÜCKNER, d'Unterschächen au sommet du Wespen, en passant par Ober-Lammerbach, nous a révélé les correspondances suivantes:

- a) Les grès de Taveyannaz moyens de BRÜCKNER appartiennent à l'espèce II (sous-espèces II a et II b) (plaque 1288); leur extrême sommet contient quelques niveaux de l'espèce IV.
- b) L'intercalation détritique grossière située dans la bande moyenne de «Dachschiefer» appartient aussi à l'espèce II.
- c) Les grès de Taveyannaz supérieurs (BRÜCKNER) formant la partie sommitale du Wespen, excepté l'extrême pointe, sont l'équivalent de nos grès de Taveyannaz IV. La teneur en éléments volcaniques paraît diminuer de bas en haut. Nous avons encore noté à la base de rares débris d'augite, tandis que la plaque mince faite dans l'échantillon récolté le plus haut contient un fragment de diabase sphérolitique fibroradiée.

Les grès de Taveyannaz supérieurs se retrouvent dans le flanc renversé de l'anticlinal de Balm-Trogen dont le cœur est formé de «Stadschiefer». Il s'agit à nouveau de l'espèce IV, bien qu'une haute teneur en éléments volcaniques et la présence de quelques augites indiquent que l'on n'est pas loin de l'espèce II.

5° Les couches basales des grès d'Altdorf inférieurs affleurent à Fluh sur le versant droit du Brunnital, au débouché de ce vallon dans la vallée principale. L'examen microscopique révèle sans ambiguïté que l'on est en présence de grès du Val d'Illiez. Les niveaux microbréchiques, très polygéniques, contiennent des fragments de spilites albito-chloritiques du type C, de diabases et de chloritites (plaque 1280).

6° BRÜCKNER attribue à la partie supérieure des grès d'Altdorf inférieurs les grès du Frittertäl (plaque 1271) et du Seelital (versant droit du Haut Schächental). L'examen microscopique révèle à nouveau qu'il s'agit de grès et microbrèches du Val d'Illiez typiques; ces roches contiennent un peu moins d'éléments volcaniques et sont beaucoup plus riches en ciment carbonaté que les grès de Fluh. On note la présence de fragments de spongolites rousses semblables à ceux des grès de la vallée d'Engelberg et d'Attinghausen.

7° Le Sulzbach se jette dans la Schächen en face de Spiringen. En remontant le long du flanc droit de cette petite vallée, de Holzboden à Auf der Rüti, on traverse successivement trois bancs de grès qui appartiennent tous trois au groupe des grès du Val d'Illiez. Plus au Sud, près de la tête droite du pont traversant le Sulzbach à la hauteur de l'agglomération de Sulztal, on observe un banc de grès et microbrèches gris. Il s'agit d'un fort bel exemple de grès du Val d'Illiez de l'espèce I ayant subi un certain écrasement se traduisant par un étirement des fragments dans une direction (plaque 4149).

8° DE QUERVAIN considère (1928, p. 67) que le Riedertal est un des seuls endroits de la Suisse où l'on peut voir les grès de Taveyannaz passer verticalement et transversalement en direction du Nord à des couches plus jeunes: le complexe des grès d'Altdorf. Ce passage est bien effectivement réalisé, car voici ce qu'on observe:

- a) Le Flysch des Hoh Faulen contient des bancs de grès de Taveyannaz de l'espèce II, dans lesquels DE QUERVAIN (1928, p. 38) a récolté de curieux galets de spilites dont il donne une analyse.
- b) La pyramide du Fätsch, qui domine le versant droit du Riedertal, est entaillée dans le flanc normal de la Hoh Faulen-Decke. Elle n'est pas en grès d'Altdorf comme l'a représenté W. STAUB sur sa carte (1911 b), mais en grès de Taveyannaz des espèces II et III; seul l'extrême sommet est constitué de grès de l'espèce IV.
- c) Les bancs de grès gris foncé situés en dessus d'Oberfeld dans le fond du Riedertal appartiennent soit à l'Autochtone, soit au flanc renversé de la Hoh Faulen-Decke (JENNY, 1934, p. 136). Il s'agit de grès de Taveyannaz typiques de l'espèce IV (plaque 794).

- d) La crête séparant le Riedertal du Wilerlital est formée de grès du type Val d'Illiez (plaque 1320). Certains spécimens encore riches en fragments de spilites microlitiques ou felsitiques ont un caractère intermédiaire entre les grès de Taveyannaz IV et les grès du Val d'Illiez. Le passage d'un groupe à l'autre paraît s'effectuer entre Weidthal et Wängi.
- e) En montant de la chapelle de Riedertal à Vierschrot (versant droit du bas Riedertal), on traverse des bancs de grès grossiers, par places conglomératiques, de teinte jaune. Ces grès ne contiennent pas de fragments de roches volcaniques basiques; ils ont tous les caractères des grès du groupe Matt-Gruontal (plaque 1312). Il est probable que cette série remplit le cœur d'un repli synclinal, car entre Trudelingen et Brügg, en amont de St. Loretto, la Schächen coule sur des bancs de grès du Val d'Illiez de l'espèce II (prédominance des fragments de diabases sur ceux de spilites du type C). Il doit y avoir passage des grès du Val d'Illiez aux grès de Matt-Gruontal dans la Trudelingerwald; cependant nous n'avons pu mettre en évidence ce passage d'une façon certaine, car les affleurements sont rares et le faciès fin.

9° Le Flysch nordhelvétique constitue une masse énorme entre le Schächental et le Gruontal (Eggberge, Grumberge, Gruonwald). Cette masse formée par les grès d'Altdorf des auteurs ainsi que par leurs intercalations schisteuses contient dans le Gruontal de célèbres passées grossièrement conglomératiques étudiées par ALB. HEIM (1891, p. 36/37), C. SARASIN (1892) et J. BOUSSAC (1912, p. 372). Le ciment microbréchique de ces conglomérats ne contient pas de fragments d'andésites, de spilites microlitiques ou de diabases; il a la composition pétrographique des grès de Matt (plaque 4111). On retrouve des grès semblables dans une carrière située peu en dessus de la plaine de la Reuss, à mi-chemin entre Altdorf et Flüelen.

10° Le cours du Holdenbach, torrent se jetant dans la Schächen en face du hameau de St. Loretto, donne une bonne coupe dans la partie supérieure du Flysch nordhelvétique. On note la succession suivante:

- a) De la cote 805 m. à la cote 1180 m. environ: complexe de grès du Val d'Illiez de l'espèce II et de lits schisteux présentant des plis à court rayon de courbure.
- b) A l'altitude 1180 m. environ: quartzites à éclat gras. Il s'agit sans doute d'une intercalation tectonique de Flysch sudhelvétique.
- c) Au-dessus, après une lacune dans les affleurements (alluvions), bancs de grès grossiers, microbrèches, conglomérats fins de teinte jaune, très altérés. Le microscope révèle qu'on est en présence de grès du type Matt-Gruontal. Ce nouveau complexe forme le sommet de la montagne; on ne retrouve les grès de Taveyannaz que dans la moraine de la Gruonmattegg.

Ainsi nous voyons que cette coupe du Holdenbach ne permet pas d'observer le passage graduel et complet des grès du Val d'Illiez aux grès de Matt-Gruontal et cela à cause d'une complication d'origine tectonique.

Etant donné l'importance du Schächental en ce qui concerne l'étude du Flysch nordhelvétique suisse et les résultats déjà acquis dans cette région, il nous semble qu'il conviendrait de s'attaquer sans tarder aux tâches suivantes:

- a) L'étude approfondie des parties les plus internes du complexe des grès de Taveyannaz, soit dans la région s'étendant du Burg au soubassement de la Kleine Windgälle, soit dans la Griesstock-Decke.
- b) Des investigations sur le terrain (coupes détaillées, levés de carte à grande échelle) accompagnées de l'étude en plaques minces qualitative et quantitative de la composition des niveaux grossiers dans le but de résoudre définitivement le problème des relations entre les grès du Val d'Illiez et les grès de Matt-Gruontal. Il conviendrait dans ce but d'examiner soigneusement les petits ravins parallèles au Holdenbach et situés à l'Ouest de ce torrent.
- c) L'étude pétrographique complète des galets contenus dans les conglomérats du Gruontal.
- d) L'étude de la limite supérieure du Flysch nordhelvétique sur le versant droit du Schächental afin de voir s'il n'existe pas des lambeaux de grès de Taveyannaz pincés entre les grès d'Altdorf et le Wildflysch ou pris en lentilles dans ce dernier. Ces lambeaux seraient la prolongation vers l'Est de la bande de grès de Taveyannaz Jochpass-Surenepass.

## Le Flysch nordhelvétique entre le Klausenpass et le Rhin

### § 1. Le Flysch nordhelvétique dans les Alpes glaronnaises

**Publications consultées:** ALB. HEIM, 1891; ARN. HEIM, 1908, 1909; OBERHOLZER, 1933, 1934 *a*, 1934 *b*; WEBER, 1934 *a*, 1934 *b*; LEUPOLD, 1942.

**Cartes géologiques consultées:** OBERHOLZER, 1942; HELBLING, 1948.

**Limites géographiques:** Après une courte interruption dans les environs du Klausenpass, le Flysch nordhelvétique prend une extension saisissante dans le canton de Glaris; cette formation se rencontre sans discontinuité du Kistenstöckli au Sud jusqu'à Schwanden au Nord; avec quelques lacunes, des Clarides à l'Ouest au Krauchtal à l'Est. Enfin ce pays de Flysch ne le cède guère au Schächental en ce qui concerne les dénivellations: il y a plus de 2500 m. de différence entre l'altitude du Muttenstock (3092 m.) et l'altitude de la fenêtre de la Lochseite (540 m.). Ce sont principalement les deux profondes coupures dues à la Linth et à la Sernf qui permettent d'étudier ce complexe.

**Traits géologiques principaux. Historique:** Nos connaissances sur la géologie des Alpes glaronnaises sont réunies dans une œuvre unique: le magnifique mémoire de J. OBERHOLZER (1933) qui nous servira de base pour cette introduction. Ce travail nous apprend que le Flysch nordhelvétique constitue les couches les plus jeunes de la couverture des plis autochtones et parautochtones et qu'il supporte la nappe helvétique inférieure, la Mürtshendecke, par l'intermédiaire d'une zone de Flysch ultrahelvétique ou sudhelvétique (couches de Blattengrat et Wildflysch).

OBERHOLZER (1933, p. 416) distingue trois sortes de roches dans le Flysch nordhelvétique:

*a)* Les grès de Taveyannaz, complexe relativement peu épais (200–300 m.), où les bancs gréseux alternent avec les lits schisteux. Ce complexe est divisé par l'auteur, d'une manière malheureusement pas très nette, en «echte Taveyannazsandsteine» (grès verts et mouchetés) et «unechte Taveyannazsandsteine» (grès verdâtres non mouchetés).

*b)* Les «grès du Flysch», assimilables aux grès d'Altdorf de la vallée de la Reuss. Ce sont des grès gris, souvent riches en quartz, modérément calcaires, qui prennent une teinte brune lorsqu'ils sont altérés et qui sont exploités pour la fabrication de pavés (NIGGLI, GRUBENMANN et JEANNET, 1915, p. 63–65; OBERHOLZER, 1933, p. 422).

*c)* Les schistes ardoisiers ou «Dachschiefer» exploités en plusieurs points de la région, qui contiennent des restes de poissons décrits par A. WETTSTEIN (1886).

La tectonique de cette masse schisto-gréseuse et les relations existant entre les trois groupes de roches susmentionnés ne sont pas claires. Les grès de Taveyannaz, confinés dans la partie méridionale de la région, ont une tectonique fort compliquée; ils paraissent former de multiples anticlinaux couchés, indépendants de la structure du soubassement et séparés les uns des autres par des zones marneuses correspondant sans doute aux marnes schisteuses à Globigérines. Les grès d'Altdorf constituent peut-être une sorte de nappe du Flysch, d'origine plus méridionale que les grès de Taveyannaz et qui aurait chevauché ces derniers (OBERHOLZER, 1933, p. 184). Quant aux «Dachschiefer», il est possible qu'une partie d'entre eux, en particulier ceux des environs d'Elm, forment le sommet du complexe du Flysch; il est cependant impossible d'affirmer qu'ils appartiennent tous au même niveau. OBERHOLZER admet encore que la tectonique de la partie moyenne et septentrionale du Flysch est aussi compliquée que celle de la partie méridionale; elle est en outre plus difficile à élucider parce que les affleurements sont rares. Rien ne serait plus faux que d'imaginer le soubassement de Flysch de la Mürtshen-Decke comme une bande représentant la couverture non disloquée de l'Autochtone qui plongerait faiblement vers le Nord.

La carte géologique des Alpes glaronnaises (OBERHOLZER, 1942) distingue au moyen de figurés différents les grès de Taveyannaz et les grès du Flysch s. str. La limite entre ces deux formations passe

approximativement selon la ligne Obbord-Bächikamm-Richetlipass-Erbsalp. Nous tâcherons de voir à quoi correspond cette limite et si elle est sanctionnée par des différences de composition pétrographique.

## § 2. La vallée de la Linth. Résumé des observations

Nous avons exploré le Flysch de la vallée de la Linth en faisant plusieurs coupes de part et d'autre de la vallée, tant au Sud qu'au Nord de Linthal. L'analyse micrographique du matériel récolté permet de constater les faits suivants:

1° Deux groupes de grès sont représentés dans le Flysch nordhelvétique de la vallée de la Linth: le groupe des grès de Taveyannaz et celui des grès du Val d'Illiez. Le groupe des grès de Matt-Gruontal paraît faire défaut.

2° L'examen de la partie méridionale de la masse du Flysch révèle que:

- a) Le Muttentstock est entièrement formé de grès de Taveyannaz de l'espèce IV, se rapprochant par endroits de l'espèce III (présence d'épidote). Les grès IV commencent, en particulier, immédiatement au-dessus des marnes schisteuses à Globigérines sur l'arête sud-ouest du Nüschenstock.
- b) Les grès de Taveyannaz affleurant entre le Muttensee et un petit lac situé plus au Nord (sous le «i» de Rüchi) ont une allure peu commune. Ils possèdent une structure rubanée due à l'alternance de zones «normales» (grès fin à quartz, plagioclase, mica, épidote, ciment carbonaté) et de zones anormalement riches en épidote-pistacite. Ces roches proviennent sans doute, par épi-métamorphisme ou par diagénèse, de grès de Taveyannaz des espèces II ou III.
- c) Les bancs puissants que l'on rencontre au Nord du lac mentionné ci-dessus contiennent de superbes niveaux microbréchiques de l'espèce II (plaque 2179), riches en débris d'augites et de hornblendes. C'est dans ces bancs que DE QUERVAIN a trouvé des galets isolés dont la taille, qui peut atteindre près de 10 cm. de diamètre, est hors de proportion avec la taille des grains du grès encaissant. Beaucoup de ces «galets» possèdent une structure concentrique et semblent être des sortes de concrétions formées autour d'un fragment de roche central qui est, lui, un vrai galet. On rencontre des structures analogues dans certains grès de Taveyannaz du Champsaur (Hautes Alpes) (VUAGNAT, 1949 a).

3° DE QUERVAIN (1928, p. 65) note qu'à la base du Kammerstock les grès de Taveyannaz passent vers le haut à des «grès du Flysch» ordinaires. Cette interprétation est reprise par OBERHOLZER (1942) dans sa carte. En remontant le cours du ravin dit Appengrubrunn, on constate la succession suivante:

- a) Marnes schisteuses à Globigérines.
- b) Grès de Taveyannaz de l'espèce IV (plaque 4172).
- c) Grès de Taveyannaz appartenant aux espèces III et II b.
- d) Grès de Taveyannaz de l'espèce IV devenant de moins en moins riches en éléments volcaniques à mesure que l'on s'élève dans la série et passant à
- e) Grès intermédiaires entre des grès de Taveyannaz IV (plaque 4182) et des grès du Val d'Illiez (rares fragments de diabases et de chloritites).

Cette coupe nous montre certainement un passage du groupe des grès de Taveyannaz au groupe des grès du Val d'Illiez (grès du Flysch des auteurs); cependant la présence d'une tête anticlinale couchée nous empêche d'y voir une série normale allant des marnes schisteuses à Globigérines au sommet du Flysch autochtone. Peut-être y a-t-il deux séries?

4° Le Kilchenstock, au-dessus de Linthal, possède une structure tectonique complexe dont l'étude est rendue quasi impossible du fait des grands glissements qui se sont produits et se produisent encore dans ces parages. Cette montagne n'est pas en «grès du Flysch» comme le dit OBERHOLZER (1933, p. 417), mais bien en grès de Taveyannaz appartenant aux espèces IV, III ou II b (rares minéraux ferromagnésiens non chloritisés). La limite entre grès de Taveyannaz et «grès du Flysch» marquée sur la carte (OBERHOLZER, 1942) et passant par le petit col qui sépare le Bächikamm proprement dit de l'arête nord du

Vorstegstock ne correspond pas ici à un changement de composition. Ce n'est que passablement plus haut sur cette dernière arête, vers 2300–2350 m. environ, que l'on observe un changement de couleur des grès de Taveyannaz: les grès de l'espèce IV passent vers le haut à des grès de l'espèce III.

Les grès du Flysch dans lequel est entaillé le Durnachtal appartiennent, en grande partie tout au moins, à l'espèce III des grès de Taveyannaz. Il s'agit cependant d'une variété un peu particulière de cette espèce caractérisée par une teneur souvent pas très élevée des éléments volcaniques et par l'abondance d'un minéral secondaire difficilement déterminable, très probablement la prehnite.

5° Les niveaux détritiques grossiers caractéristiques de la partie septentrionale du Flysch et méritant véritablement l'appellation de «grès du Flysch» (Flyschsandstein) ou de grès d'Altdorf ont la composition des grès du Val d'Illiez: fragments de roches variées, en particulier de diabases et de chloritites.

6° Les grès du Val d'Illiez n'apparaissent, à de rares exceptions près, qu'en aval de Linthal. Le passage d'un groupe à l'autre s'effectue de la manière suivante. Les grès de Taveyannaz IV (plaque 2155) acquièrent certains traits des grès du Val d'Illiez, puis passent graduellement à ces derniers qui, eux-mêmes, n'ont pas une composition constante (plaque 2142). Ils s'appauvrissent en matériel volcanique, s'enrichissent en carbonate et deviennent de plus en plus polygéniques; la proportion des fragments de diabases et chloritites augmente aux dépens de la proportion de spilites à faciès andésitiques. Cette évolution s'observe lorsqu'on chemine dans deux directions: a) du Sud au Nord (du Durnachtal au Diestal sur rive droite; de l'Appengrubrunn à l'Untere Bodenrunn sur rive gauche); b) de bas en haut dans la vallée du Diesbach, par exemple en dessous de Kalbertross (plaque 2217).

7° Diverses irrégularités compliquent la règle que nous venons d'énoncer. C'est ainsi qu'on note sous le Saasberg, dans la formation indiquée sur la carte (OBERHOLZER, 1942) en Flysch ultrahelvétique, des grès grossiers verdâtres appartenant à l'espèce IV des grès de Taveyannaz et surmontant une série de grès du Val d'Illiez, dans laquelle apparaît en un point une curieuse récurrence de grès de Taveyannaz II (plaque 2203).

### § 3. La vallée de la Sernf. Résumé des observations. Conclusions

Les conditions d'étude sont moins bonnes dans la vallée de la Sernf que dans celle de la Linth. Ce phénomène tient à deux circonstances: d'une part, la coupure d'érosion n'est pas assez profonde pour atteindre le soubassement autochtone du Flysch; d'autre part, la tectonique du Flysch nordhelvétique est compliquée du fait du grand développement pris par le Wildflysch et les couches de Blattengrat; ces dernières en particulier sont intimement liées au Flysch autochtone. Les observations que nous résumons ci-dessous confirment celles faites dans la grande vallée voisine:

1° Une partie du Flysch du Haut Sernftal, indiqué sur la carte d'OBERHOLZER (1942) comme appartenant au groupe des grès d'Altdorf, contient en réalité des grès de Taveyannaz typiques, appartenant aux espèces II et IV.

2° Le passage des grès de Taveyannaz aux grès du Val d'Illiez («Flyschsandstein» des auteurs) s'effectue dans le secteur compris entre Elm et Matt. Nous trouvons en effet dans ces parages des grès de Taveyannaz IV pauvres en éléments volcaniques, des grès intermédiaires entre les grès de Taveyannaz et les grès du Val d'Illiez, des grès du Val d'Illiez typiques avec beaux fragments de diabases arborescentes, sphérolitiques fibroradiées ou intersertales divergentes et de chloritites (plaque 2195). L'existence de ces divers types de roches est attestée par des spécimens récoltés des deux côtés de la vallée, principalement dans la Kühbodenrunn (versant gauche) et dans la Sulzrunn (versant droit).

3° On peut supposer, à titre d'hypothèse de travail déjà étayée par quelques observations, qu'il existe dans le secteur en question au moins une série principale dont la base est encore en grès de Taveyannaz, mais le sommet déjà en grès du Val d'Illiez. Cette série doit naturellement être replissée et compliquée par divers accidents tectoniques.

4° Les niveaux gréseux de la série mentionnée à l'alinéa précédent présentent certaines caractéristiques locales: grande richesse en carbonate de chaux due peut-être à une métasomatose postérieure au

dépôt du sédiment; structure porphyroclastique souvent très prononcée; texture schisteuse fréquente même dans les grès assez grossiers.

5° Des grès souvent microbréchiques apparaissent au Nord du Krauchthal; ils sont complètement dépourvus de fragments de roches volcaniques basiques (andésites, spilites, diabases) et nous ont servi à définir le type pétrographique des grès de Matt-Gruontal. Ces grès sont exploités en carrière entre Matt et Engi Hinterdorf sur le versant droit du Sernftal; les microbrèches sont parfois très grossières (plaque 755). Les relations entre les grès du Val d'Illiez et les grès de Matt-Gruontal ne sont pas très claires, car l'étude de la zone de contact est rendue difficile, tant par le faciès assez fin qui y règne, que par des involutions de Wildflysch et de «Blattengratschichten». Une chose est cependant certaine: les grès de Matt-Gruontal se trouvent déjà sur rive droite du Krauchbach, peu en amont de Matt (plaque 2227).

Groupons les conclusions auxquelles nous conduisent les observations relatées dans ce paragraphe et dans le paragraphe précédent: Le Flysch nordhelvétique des Alpes glaronnaises appartient aux trois groupes des grès de Taveyannaz, des grès du Val d'Illiez et des grès de Matt-Gruontal. Les grès de Taveyannaz, marqués sur la carte d'OBERHOLZER (1942) comme tels ou comme «grès du Flysch», se trouvent dans la moitié méridionale de la région. Les espèces II, III et IV sont représentées, avec prédominance des grès riches en produits d'altération calciques (espèce III, sous-espèce II *b*). Les grès du Val d'Illiez («grès du Flysch» d'OBERHOLZER) se placent au Nord des grès de Taveyannaz dans les deux vallées de la Sernf et de la Linth; il y a passage graduel d'un groupe à l'autre. Les grès de Matt-Gruontal («grès du Flysch» d'OBERHOLZER) se placent à leur tour au Nord des grès du Val d'Illiez, mais seulement dans le Sernftal; ils paraissent absents dans la vallée de la Linth. On n'a pas encore observé le passage graduel entre les deux derniers groupes, bien que les parties septentrionales des grès du Val d'Illiez possèdent une composition pétrographique se rapprochant de celle des grès de Matt-Gruontal.

L'étude du Flysch nordhelvétique glaronnais est indispensable si nous voulons résoudre les grands problèmes intéressant l'ensemble de cette formation. Il nous semble que ce travail d'investigation devrait, au début du moins, se concentrer sur les points suivants:

*a*) Etude des relations existant entre les grès de Taveyannaz de l'espèce II et ceux de l'espèce IV. La région comprise entre le Muttensee et le Kistenpass se prêterait bien à de telles recherches.

*b*) Etude des éléments grossiers contenus dans les grès de Taveyannaz affleurant au Nord du Muttensee de manière à voir dans quelle mesure ces éléments sont de vrais galets ou au contraire de curieuses concrétions en relation probable avec le faciès moucheté des grès.

*c*) Etude du Flysch de la vallée du Diesbach, du cirque de Kalbertross et des hautes parois qui le dominant; cette contrée est particulièrement riche en microbrèches du type Val d'Illiez de composition variable.

*d*) Elaboration de coupes détaillées dans tous les petits ravins débouchant soit dans la vallée de la Linth en aval de Linthal, soit dans le Sernftal entre Elm et Matt.

*e*) Etude approfondie du Flysch du Sernftal en aval de Matt afin de mieux connaître le complexe des grès de Matt et ses relations avec les «Dachschiefer» d'Engi. Une fois ces résultats acquis, il conviendrait de faire des levés très détaillés dans les alentours de Matt pour mettre éventuellement en évidence le passage des grès du Val d'Illiez aux grès de Matt.

*f*) Etude de la zone sommitale du Flysch nordhelvétique et de la bande de Wildflysch qui se trouve au-dessus, de manière à voir s'il n'existe pas des lentilles de grès de Taveyannaz entraînées tectoniquement sous la nappe helvétique et chevauchant le complexe autochtone des grès d'Altdorf (grès du Val d'Illiez, grès de Matt). Divers arguments rendent probable une telle hypothèse: présence de grès de Taveyannaz IV très riches en matériel volcanique sous le Saasberg (voir p. 69), existence de grès de Taveyannaz en position analogue au Surenenpass et dans le Haut Schächental (grès de Taveyannaz de la Griesstock-Decke), réapparition des grès de Taveyannaz typiques beaucoup plus au Nord, dans le sous-bassement de la chaîne des Wageten.

## § 4. Les grès de Taveyannaz de l'Oberland saint-gallois et de la vallée du Rhin

### Introduction

**Publications consultées:** PIPEROFF, 1897; TOLWINSKI, 1910; BLUMENTHAL, 1912; LEUPOLD, 1937, 1938, 1942.

**Cartes géologiques consultées:** OBERHOLZER, 1920; HELBLING, 1948.

**Limites géographiques:** Le Flysch nordhelvétique n'a qu'une extension restreinte en Suisse orientale. Il forme des masses isolées au milieu de Flysch d'origine plus interne. OBERHOLZER (1933) mentionne quelques affleurements dans le Weisstannental; d'autres se trouvent plus à l'Est, entre Mels et Ragaz, aux environs de Vilters. Les masses les plus importantes sont situées dans la vallée de la Tamina: au-dessus de Vindels dans le versant oriental du Monteluna; dans le Zanuztobel, ravin se jetant dans la Tamina sur rive gauche; entre Ragol et Vadura sur rive droite de cette rivière. Le lambeau le plus oriental de Flysch nordhelvétique affleure au-dessus de Mastrils dans la vallée du Rhin.

**Traits géologiques principaux. Rappel historique:** La géologie des Hautes Alpes situées entre la Sernf et le Rhin est compliquée. Un des traits les plus marquants de cette région est l'énorme extension prise par le Flysch. Il s'agit surtout de Flysch d'origine interne sudhelvétique ou peut-être pennique étroitement lié au Flysch nordhelvétique comme on peut s'en rendre compte déjà dans les Alpes glaronnaises en considérant les involutions de «Blattengratmergel» dans le Flysch dit autochtone.

C'est W. LEUPOLD qui, au cours de ces dernières années, nous a livré la clé des principaux problèmes posés par cette masse si complexe de Flysch. Dans plusieurs publications préliminaires (LEUPOLD, 1937, 1938, 1942), cet auteur met en évidence la structure en écailles de cette masse, grâce à une analyse lithologique, et surtout micropaléontologique, patiente et minutieuse des séries répétées. Cette découverte fondamentale lui permet de formuler des hypothèses de travail tant sur la structure et sur la stratigraphie du Flysch, ou plutôt des Flysch, que sur les divers mécanismes ayant déterminé leur mise en place et sur la paléogéographie des bassins où ils se sont déposés.

LEUPOLD démontre en particulier pourquoi cette région est si compliquée en faisant appel à l'existence de zones isopiques de direction sensiblement méridienne, donc très obliques par rapport au front alpin actuel. Il postule en outre des mécanismes de mise en place successifs et différents les uns des autres ainsi que des directions de poussée qui ont peut-être varié au cours des temps. Plusieurs de ces facteurs auraient leur origine dans la proximité de l'arc austroalpin. LEUPOLD a en général laissé de côté le Flysch nordhelvétique, à cause de son extension relativement faible sans doute, mais aussi de sa stérilité en microfossiles. Ses études possèdent cependant un grand intérêt indirect en ce qui concerne la connaissance de cette formation; elles indiquent en effet:

- a) les endroits où il est inutile de rechercher le Flysch nordhelvétique;
- b) les complications structurales qui le caractérisent probablement;
- c) l'impossibilité de l'étudier au moyen de l'analyse micropaléontologique; donc la nécessité de se servir d'une autre méthode, en l'occurrence l'examen microscopique des niveaux microbréchiens.

Passons maintenant des considérations d'ensemble aux points de détail. OBERHOLZER (1933, p. 419) signale des affleurements de Flysch nordhelvétique en trois endroits du Weisstannental: dans la fenêtre de Badöni située dans la vallée latérale de Latvina (grès gris vert avec minces intercalations schisteuses); dans une petite fenêtre située à l'embouchure du Gafarratobel, affluent de la rive droite de la Seez (grès gris vert assez grossier); aux Sässliköpfen, sur rive droite de la Seez (minces lits de grès gris vert).

K. TOLWINSKI (1910, p. 29) a décrit, il y a déjà assez longtemps, les grès de Taveyannaz typiques, verts ou mouchetés, du versant oriental du Monteluna. Cette série atteindrait avec les intercalations schisteuses une épaisseur apparente de 400 m. et une puissance réelle des deux tiers environ. Le même auteur a signalé (1910, p. 34) l'existence de grès de Taveyannaz dans les environs de Vilters; il attribue à ces couches une épaisseur d'approximativement 100 m. DE QUERVAIN a confirmé ces observations. Enfin LEUPOLD (1938, p. 408, 415) considère que les grès de Taveyannaz du cours moyen de la Tamina forment deux «apophyses» dans un Flysch d'origine plus méridionale.

## § 5. Les grès de Taveyannaz de l'Oberland saint-gallois et de la vallée du Rhin

### Résumé des observations. Conclusions

Diverses observations sur le terrain ainsi que l'étude du matériel récolté au cours de plusieurs excursions et du matériel de la collection DE QUERVAIN permettent d'admettre les points suivants:

1<sup>o</sup> Les grès du Flysch «autochtone» de Vadura-Ragol (plaque 2692) et de Pfäfersbad (plaque 2699) (voir plus haut p. 71) sont des grès de Taveyannaz de l'espèce IV présentant les caractères spéciaux suivants: ciment en partie carbonaté abondant; fragments de roches volcaniques relativement peu nombreux; structure porphyroclastique; texture schisteuse (fragments étirés et orientés parallèlement).

2<sup>o</sup> Les grès de Taveyannaz de Vilters paraissent aussi appartenir à l'espèce IV. Ils contiennent de nombreux fragments de spilites albito-chloritiques à structure trachytique très fraîches.

3<sup>o</sup> La mince bande de Flysch autochtone recouvrant le Malm de la Fürklikopf affleure au Sud-Ouest et un peu en dessus du village de Mastrils. Cette bande formée surtout de couches schisteuses du type «Dachschiefer» contient des bancs peu épais de grès. Malgré le grain relativement fin de ces grès, on peut les rattacher à l'espèce IV des grès de Taveyannaz.

Cette région n'est pas favorable à l'étude des problèmes généraux concernant le Flysch nordhelvétique; nous voudrions faire cependant quelques remarques concernant certains problèmes particuliers:

- a) Il serait intéressant de mieux connaître l'extension réelle et le type du Flysch nordhelvétique du Weisstannental, les indications d'OBERHOLZER étant par trop succinctes et ses observations sujettes à révision, maintenant que l'on connaît mieux cette formation. De même une révision de la coupe de l'Alp Vindels compléterait heureusement nos connaissances.
- b) Est-il possible que l'on trouve dans la masse de Flysch d'origine plus interne des lambeaux de grès de Taveyannaz et peut-être de grès dont la composition serait intermédiaire entre celle des grès de Taveyannaz et celle de grès appartenant au Flysch sudhelvétique?
- c) Remarquons enfin que grâce à leur diagnose facile au moyen de l'examen microscopique, les grès du Flysch nordhelvétique sont facilement repérables au milieu des autres Flysch. Ils peuvent donc servir à mieux connaître la structure de la masse entière du Flysch, car ils paraissent jalonner des zones de séparation importantes (cf. le rôle joué par les «apophyses» du Zanuztobel et de Vadura-Ragol).

## TROISIÈME PARTIE

### Vues d'ensemble. Conclusions

On trouvera dans la troisième partie de ce travail diverses considérations générales sur l'ensemble du Flysch nordhelvétique. Nous tenterons de rassembler les faits d'observation d'ordre géologique (observations sur le terrain) et d'ordre pétrographique (étude microscopique des plaques minces) en un essai de synthèse.

Quelles sont les relations dans l'espace et dans le temps des divers groupes et espèces de Flysch nordhelvétique? Quel est l'âge de cette formation? Quels rapports a-t-elle avec d'autres formations qui lui sont apparentées par leur âge ou par leur position (Flysch ultrahelvétique, Molasse)? Quelle est l'origine des fragments de roches qui constituent les microbrèches du Flysch? Comment se représenter la paléogéographie des Alpes au moment du dépôt du Flysch?

Il est évident qu'étant donné l'état actuel de nos connaissances, il est généralement impossible de donner une seule réponse à ces diverses questions. Nous indiquerons simplement quelles sont les solutions à notre sens les plus plausibles; il ne pourra donc s'agir de solutions définitives, mais bien d'hypothèses de travail, peut-être susceptibles d'aider les chercheurs futurs qui reprendront l'étude de ces problèmes.

Avant de quitter le terrain sûr des faits d'observations pour celui plus mouvant des vues d'ensemble et des hypothèses, jetons un regard en arrière pour faire le bilan de ce que nous avons appris jusqu'à présent sur le Flysch nordhelvétique.

#### Chapitre XIV

### Répartition des divers types de Flysch nordhelvétique Remarques d'ordre tectonique

#### § 1. Répartition des masses de grès de Taveyannaz

Nous avons délibérément laissé de côté toutes les masses de grès de Taveyannaz situés en dehors du territoire suisse. Il importe cependant de rappeler qu'il existe peu à l'Ouest de la frontière franco-suisse une des plus grandes masses connues de grès de Taveyannaz, celle de la région Lac de Gers-Platé-Arâches située entre Arve et Giffre. Ces grès étudiés par DUPARC et RITTER (1895) occupent le dos de la nappe de Moreles et s'étendent jusqu'à sa partie frontale (route de Balme à Arâches); ils sont très caractéristiques, souvent mouchetés ou vert intense et appartiennent, en grande partie sans doute, aux espèces II et III.

Les grès de Taveyannaz font complètement défaut dans le Val d'Iliez et dans le soubassement de la Dent de Moreles; nous les retrouvons en revanche dans la vallée de la Lizerne où ils occupent à nouveau le dos de la nappe de Moreles et sont représentés par l'espèce IV.

La première grande masse suisse de grès de Taveyannaz est celle du massif des Diablerets (Rochers du Van, cirque de Creux de Champs), située sur le front de la nappe des Diablerets. Les trois espèces (II, III, IV) y sont largement représentées et leur répartition paraît obéir à certaines lois.

Les grès de Taveyannaz représentent seuls le Flysch nordhelvétique entre la Lizerne et la Kander, dans l'ensellement des Hautes Alpes calcaires au-devant de Sion. Les quelques masses de cette région présentent surtout des grès des espèces II ou III («tuf augitique» de Loèche, Raspille).

Nous rencontrons une nouvelle grande masse dans le Kiental et le Kandertal. Là aussi, il ne s'agit que de grès de Taveyannaz appartenant aux espèces II, III et IV dont la répartition ne semble pas livrée au hasard.

Entre la Sefinenfurgge et Engelberg les grès de Taveyannaz (espèces II, III et IV) forment une bande, probablement interrompue par endroits, sous la nappe helvétique principale qui prolonge vers l'Est la nappe du Wildhorn. Plusieurs auteurs considèrent que cette bande représente les restes de la nappe Gellihorn-Diablerets extrêmement laminée.

Entre Engelberg et la Reuss, la disparition des grès de Taveyannaz est quasi totale; on n'en connaît qu'un lambeau situé à la base du Wildflysch au Surenenpass et faisant peut-être partie d'un train de lentilles analogues surmontant le Flysch autochtone.

Les grès de Taveyannaz prennent une grande extension dans le Schächental; ils forment dans cette vallée la troisième grande masse suisse à partir de l'Ouest. Les trois espèces (II, III, IV) sont représentées; elles caractérisent, grosso modo, certains niveaux reconnus par BRÜCKNER. La répartition de ces niveaux par rapport aux éléments tectoniques ne semble pas être l'effet du hasard.

Les grès de Taveyannaz atteignent le maximum de leur extension en Suisse dans le canton de Glaris; ils s'y présentent toutefois rarement sous le faciès très typique de l'espèce II; les espèces III et IV sont très répandues et empiètent fortement sur les terrains marqués en grès d'Altdorf sur la carte d'OBERHOLZER (1942).

Le Flysch nordhelvétique de l'Oberland saint-gallois et de la vallée du Rhin est peu étendu et n'est représenté que par des grès de Taveyannaz appartenant surtout à l'espèce IV.

## § 2. Répartition des masses de grès du Val d'Illiez

Les grès du Val d'Illiez forment une première grande masse dans le Val d'Illiez et dans la région Morcles-Rionde-Javerne. Ils constituent, avec les lits schisteux qui les accompagnent, le cœur du synclinal de raccord de la nappe de Morcles à l'Autochtone. On note encore leur présence, sous un faciès très fin, dans le front de la nappe de Morcles (Perri Blanc).

A partir de ce point nous observons une grande lacune jusque dans l'Oberland bernois où les grès du Val d'Illiez forment une masse très restreinte en dessus de Grindelwald (Hohturnen); ils remplissent ici le cœur de deux petits replis synclinaux de l'Autochtone du Mettenberg. Leur position tectonique est donc bien distincte de celle de la zone Scheidegg-Jochpass.

Les grès du Val d'Illiez réapparaissent, après une seconde lacune, dans la vallée d'Engelberg. Ils y forment la couverture, peut-être décollée et glissée, de l'Autochtone; ils passent par le Col de Surenen et atteignent la Reuss à Attinghausen. Leur extension prend un grand développement dans le Schächental; ils sont presque aussi bien représentés dans cette vallée que dans le Val d'Illiez, leur grain paraît cependant un peu plus fin. Ils correspondent aux grès d'Altdorf inférieurs de BRÜCKNER et paraissent être la couverture de l'Autochtone.

Une interruption relativement courte sépare les grès du Val d'Illiez du Haut Schächental de ceux de la vallée de la Linth. Ces couches forment en effet dans cette vallée, entre Linthal et Haslen, la partie septentrionale du Flysch helvétique et sont bien représentées au-dessus de Diesbach-Bettschwanden. On retrouve la formation dans le Sernftal où elle affleure sur les deux versants de la vallée entre Elm et Matt.

Les grès du Val d'Illiez du Sernftal paraissent être les derniers témoins de ce type de Flysch lorsqu'on se dirige vers le Nord-Est. La couverture de l'Autochtone est formée de grès de Taveyannaz, tant dans la vallée de la Tamina que dans celle du Rhin.

### § 3. Les masses de grès de Matt-Gruontal

Un trait important de cette formation est le fait qu'elle ne se rencontre qu'en Suisse centrale et orientale. Nous n'avons jamais trouvé de grès de Matt-Gruontal en Suisse occidentale, bien que certains niveaux des grès du Val d'Illiez et de la Molasse subalpine leurs ressemblent par quelques caractères.

Les grès de Matt-Gruontal atteignent leur limite occidentale sur la rive gauche de la Reuss et de l'Urnersee où ils forment des bancs parfois conglomératiques dans lesquels de grandes carrières sont ouvertes. Ils caractérisent la partie septentrionale du Flysch nordhelvétique.

Nous retrouvons ces grès de l'autre côté de la Reuss, entre Altdorf et Flüelen, avec une plus grande extension. Ils correspondent aux grès d'Altdorf supérieurs de certains auteurs et contiennent des passées conglomératiques depuis longtemps célèbres (Gruontal). Nous les rencontrons aussi sur rive gauche de la Schächen, dans le bas Riedertal, où ils constituent probablement le cœur d'un repli synclinal dans le Flysch contenant des grès du type Val d'Illiez.

Nous n'avons pas pu retrouver les grès de Matt-Gruontal dans la vallée de la Linth malgré nos recherches dans la partie septentrionale du Flysch de cette région; peut-être existent-ils sous un faciès trop fin pour pouvoir être déterminés en plaques minces. Cette disparition n'est en effet pas définitive, puisque nous retrouvons la formation dans le Sernftal en aval de Matt. Plus à l'Est ils paraissent disparaître définitivement.

Remarquons que le Schächental et le Sernftal sont les deux seules régions où nous trouvions réunis les trois groupes de grès du Flysch nordhelvétique: les grès de Taveyannaz, les grès du Val d'Illiez et les grès de Matt-Gruontal.

### § 4. Quelques réflexions sur la tectonique du Flysch nordhelvétique

Nous n'avons pas spécialement étudié la tectonique du Flysch nordhelvétique. Nous nous en voudrions cependant de ne pas présenter quelques remarques suggérées tant par des observations de terrain que par les déductions tirées de l'analyse micrographique.

En bien des cas le Flysch nordhelvétique est certainement charrié, car on voit qu'il forme la couverture de vraies nappes (nappe de Morcles, nappe des Diablerets, Gellihorn-Decke) ou d'éléments franchement parautochtones (Griesstock-Decke, Hoh Faulen-Decke). En certains points cependant (Val d'Illiez, Engelberg), ce Flysch se trouve compris entre le soubassement autochtone et l'unité tectonique la plus basse. Il est alors naturel de se demander s'il convient de le qualifier d'autochtone ou de parautochtone. Pour pouvoir employer cette dernière épithète, il faudrait prouver l'existence d'un plan de chevauchement passant entre le Flysch et son soubassement autochtone.

Nous n'avons jamais observé de tel plan de chevauchement. La situation est cependant singulièrement compliquée du fait qu'une telle dislocation devrait très probablement passer au sommet des marnes schisteuses à Globigérines, niveau qui, dans la topographie, correspond généralement à un replat où la roche en place est couverte d'alluvions ou de terre végétale. Il n'est au reste pas certain que, même en présence de bons affleurements, la distinction entre un chevauchement de grande envergure et un décollement local soit possible.

Au reste nous croyons que la solution de ce dilemme est pour une part question de nomenclature. Les auteurs de langue allemande emploient le vocable de parautochtone pour désigner de petites nappes; pris dans cette acception, le terme ne convient alors nullement aux masses de Flysch dont nous parlons. En français, en revanche, parautochtone s'applique aux terrains qui ne sont plus strictement « en place » sans appartenir encore à des nappes; peut-être pourrait-on aussi employer ce terme lorsqu'on ne peut mettre en évidence de vrais charriages, mais que l'on a plutôt affaire à des cas extrêmes de plissements dysharmoniques.

La structure interne du Flysch nordhelvétique a sans doute été en bonne part déterminée par la grande différence de plasticité existant entre les bancs gréseux durs et rigides et les couches schisteuses beaucoup plus tendres et plus plastiques. Ces conditions lithologiques ont permis la formation de plis à rayon de courbure relativement court descendant en cascade sur le versant externe du soubassement autochtone (Val d'Illiez, Morcles, Engelberg). L'ensemble de nos observations semblent indiquer que le

Flysch autochtone ne possède pas une structure en écaillés. Cette proposition appelle toutefois certaines réserves. En effet, au contact ou à proximité d'éléments tectoniques supérieurs jouant le rôle de «traîneaux écraseurs», des lames de Flysch d'origine tectonique ont certainement dû se former. Les lambeaux de grès de Taveyannaz ou de grès du Val d'Illiez entraînés sous les Préalpes externes (M. FURRER, 1949; LOMBARD, 1937; MORNOD, 1949; VUAGNAT, 1943 *a*) ou sous les chaînons bordiers des grandes nappes helvétiques s'expliquent de cette manière. Cette structure en écaillés a naturellement pu s'étendre à l'ensemble du Flysch lorsque son épaisseur était très réduite.

## Chapitre XV

### **Relations entre les divers types de grès du Flysch nordhelvétique Rapports avec d'autres formations. Age**

#### **§ 1. Remarques générales**

Le but de ce chapitre est l'examen des relations existant entre les diverses espèces de grès du Flysch nordhelvétique ainsi qu'entre ce Flysch et d'autres formations tertiaires. Cet examen nous permettra d'assigner un âge aux terrains qui sont l'objet de ce travail.

La place manque malheureusement pour présenter certaines remarques de principe qui pourraient peut-être servir à dissiper des malentendus éventuels. Notons cependant que l'existence d'un passage graduel d'un type de grès à un autre type de grès peut s'établir de différentes manières. Dans le cas le plus favorable nous observons ce passage au moyen de spécimens récoltés dans un même affleurement, par exemple dans une coupe faite en suivant le lit d'un torrent: le passage est alors manifeste. Plus souvent cependant nous ne disposons que de spécimens récoltés dans plusieurs affleurements séparés, certains d'entre eux n'ayant peut-être même pas été trouvés en place; l'étude de ces spécimens permet toutefois d'établir l'existence d'un passage graduel implicite. Enfin la zone dans laquelle s'effectue le passage peut échapper complètement à nos observations; c'est notamment le cas lorsqu'elle correspond à une zone détritique fine (grès fin, marne schisteuse) ne se prêtant pas à l'analyse microscopique. Dans ce cas une transition brusque en apparence peut fort bien équivaloir à un passage graduel caché dont l'existence pourra se prouver indirectement.

#### **§ 2. Relations entre les grès de Taveyannaz et les grès du Val d'Illiez**

Examinons les grandes masses de Flysch nordhelvétique en allant d'Ouest en Est et en nous aidant des données réunies dans le chapitre précédent.

De la Haute Savoie jusqu'à la vallée de la Reuss nous voyons que les grès de Taveyannaz étaient systématiquement placés au Sud des grès du Val d'Illiez. Les premiers se trouvent soit dans la nappe Diablerets-Gellihorn ou dans sa continuation vers l'Est (bande Scheidegg-Jochpass), soit dans le flanc normal de la nappe Moreles-Doldenhorn; les seconds occupent le cœur du synclinal de raccord Autochtone-nappe de Moreles, probablement le front de cette nappe (Perri Blanc) et, au Mettenberg, le cœur de replis synclinaux autochtones. Nous n'avons pas observé de passage graduel d'une formation à l'autre; si ce passage existe, il faut s'attendre à le trouver dans la haute vallée de la Lizerne comme le suggère l'examen microscopique d'un échantillon récolté dans ces parages (voir p. 53). Malgré cette lacune, il ne subsiste néanmoins aucun doute que les grès de Taveyannaz se sont déposés au Sud des grès du Val d'Illiez.

Les conditions sont les mêmes dans le Schächental, puisque les grès de Taveyannaz caractérisent la Griesstock-Decke et la «nappe» des Hoh Faulen, tandis que les grès du Val d'Illiez se trouvent dans l'Autochtone proprement dit. De plus, on observe le passage graduel des grès de Taveyannaz aux grès du Val d'Illiez lorsqu'on se dirige du Sud au Nord (Riedertal). Il s'agit d'un passage «implicite» démontré par l'étude d'une série de spécimens provenant d'affleurements différents et ayant des compositions intermédiaires entre la composition des grès de Taveyannaz et celle des grès du Val d'Illiez. On peut encore

remarquer que ce passage transversal correspond à un passage vertical: les grès d'Altdorf inférieurs (nos grès du Val d'Illiez) venant au-dessus des grès de Taveyannaz. BRÜCKNER (1937) a du reste excellemment bien mis en évidence comment le faciès du Flysch évoluait d'une manière identique que l'on monte dans la série stratigraphique ou que l'on se dirige du Sud vers le Nord.

L'examen du Flysch glaronnais nous permet de confirmer ces vues. Les grès de Taveyannaz occupent la partie méridionale de la région, tandis que les grès du Val d'Illiez en occupent la partie septentrionale (vallée de la Linth) ou moyenne (vallée de la Sernf). Nous observons plusieurs passages «implicites» des premiers aux seconds en nous dirigeant du Sud au Nord, tant dans la vallée de la Linth entre Linthal et Diesbach que dans celle de la Sernf entre Elm et Matt. Nous avons de plus noté un passage vertical des grès de Taveyannaz aux grès du Val d'Illiez (voir p. 69) dans le vallon du Diesbach; les conditions de ce passage se rapprochent de celles caractérisant un passage manifeste.

Il nous faut cependant remarquer qu'en Suisse orientale on ne voit pas le soubassement des grès du Val d'Illiez. Dans ces conditions n'est-il pas permis de supposer que ces grès proviennent, par charriage, d'une région située au Sud des grès de Taveyannaz? Cette hypothèse est suggérée par OBERHOLZER (1933, p. 184). Il faudrait pour l'accepter admettre une tectonique bien curieuse qui aurait inversé en bloc les relations réciproques des deux formations; il faudrait de plus supposer que jadis les grès de Taveyannaz passaient aux grès du Val d'Illiez en direction du Sud, ce qui est en contradiction flagrante avec ce que nous venons d'apprendre dans le reste de la Suisse. Ces raisons nous interdisent de suivre OBERHOLZER dans sa suggestion.

En résumé, l'examen des divers gisements de Flysch nordhelvétique nous permet d'affirmer que les grès du Val d'Illiez se sont toujours déposés dans une zone plus externe que le bassin de sédimentation des grès de Taveyannaz. Comme les grès du Val d'Illiez se placent, en quelques endroits, au-dessus des grès de Taveyannaz, on peut conclure qu'ils sont plus jeunes que ces derniers. Ces constatations ne font que confirmer des hypothèses de travail que nous avons émises naguère (VUAGNAT, 1943 *b*, 1944 *b*) et que divers auteurs avaient pressenties.

### § 3. Relations entre les grès du Val d'Illiez et les grès de Matt-Gruontal

Quelle est la position des grès de Matt-Gruontal au sein du Flysch nordhelvétique?

Etant donné que les grès de Taveyannaz passent graduellement à ceux du Val d'Illiez, les grès de Matt-Gruontal ne peuvent donc occuper une position intermédiaire. Ils se sont donc déposés soit au Sud du bassin de sédimentation des grès de Taveyannaz, peut-être déjà dans le domaine sud- ou ultrahelvétique, soit au Nord du bassin de sédimentation des grès du Val d'Illiez.

La plupart des auteurs sont en faveur de la seconde hypothèse. P. BECK (1912) a cependant rattaché les conglomérats du Gruontal à l'Ultrahelvétique. Voyons les conclusions qu'il est possible de tirer des observations sur le terrain et sous le microscope.

Remarquons tout d'abord que la position actuelle des grès de Matt-Gruontal est bien en accord avec la seconde hypothèse. Nous les trouvons en effet au Nord et généralement au-dessus des grès du Val d'Illiez. Cet argument ne semble cependant pas péremptoire, car on ne peut nul part observer le rapport de ces grès avec leur soubassement qui reste invisible. L'hypothèse d'un charriage ne peut donc être éliminée.

Il n'existe aucune parenté entre la composition pétrographique des grès de Matt-Gruontal et des grès de Taveyannaz typiques (espèces II et III). Qu'en est-il des relations avec les grès du type Val d'Illiez? Nos observations ne nous ont malheureusement pas permis d'établir l'existence d'un passage graduel manifeste de ces derniers aux grès de Matt-Gruontal. 1° Dans le Holdenbach (versant droit du Schächental) des quartzites ultrahelvétiques s'intercalent entre les deux formations. 2° Dans le bas Riedertal (voir p. 66) le faciès général du Flysch est fin; une seule plaque mince nous a paru appartenir à une roche de type intermédiaire. 3° Dans le Sernftal les grès du Val d'Illiez sont relayés par les grès de Matt aux environs du village de Matt. Malheureusement l'existence d'une involution de Blattengratmergel et de Wildflysch dans le Flysch nordhelvétique complique à telle point les choses que les preuves certaines d'un passage graduel font aussi défaut.

Malgré ces résultats incomplets nous adoptons l'hypothèse classique qui place le bassin de sédimentation des grès de Matt-Gruontal au Nord de celui des grès du Val d'Illiez et voit dans ces couches dépourvues d'éléments volcaniques la partie la plus jeune du Flysch nordhelvétique. En effet, nous verrons tout à l'heure que la composition pétrographique des grès du Val d'Illiez a évolué avec le temps vers des termes de plus en plus pauvres en roches volcaniques et qu'en extrapolant cette tendance nous arrivons naturellement à des roches ayant à peu près la composition des grès de Matt-Gruontal.

#### § 4. Relations entre les diverses espèces de grès du Flysch nordhelvétique

A. A l'intérieur du groupe des grès de Taveyannaz. L'ensemble de nos observations ne nous a pas permis d'établir une relation stratigraphique sûre entre les grès de l'espèce II (éléments ferromagnésiens frais) et ceux de l'espèce III (éléments ferromagnésiens altérés, minéraux d'altération riches en chaux). Ces deux espèces sont généralement associées et peuvent se remplacer irrégulièrement l'une l'autre, peut-être sous l'influence de facteurs locaux.

En revanche, les relations entre les espèces II et III réunies et l'espèce IV (fragments de spilites albito-chloritiques) paraissent posséder une valeur stratigraphique certaine. C'est ce qui découle des observations suivantes:

a) Dans l'ensemble, les grès de Taveyannaz de l'espèce IV occupent une position plus externe que ceux des espèces II-III. Tel est le cas tant en Suisse occidentale qu'en Suisse centrale, tout particulièrement dans le Riedertal où les grès de Taveyannaz IV se trouvent sous la Hoh Faulen-Decke, tandis que les grès Taveyannaz II et III sont placés au-dessus et en arrière de cette unité tectonique.

b) En plusieurs points on voit les grès de Taveyannaz des espèces II ou III passer vers le haut de la série stratigraphique à des grès de l'espèce IV; c'est le cas par exemple dans le torrent d'Abefêt où le passage est particulièrement manifeste (voir p. 53).

c) Les grès de Taveyannaz passant aux grès du Val d'Illiez appartiennent systématiquement à l'espèce IV, ce n'est que très rarement que l'on observe quelques grains d'augite ou de hornblende dans un grès de Taveyannaz de ces couches de passage.

d) En certains points (torrent d'Abefêt, Oeschinensee, Nüschenstock) l'extrême base des grès de Taveyannaz paraît appartenir à une variété aberrante de l'espèce IV.

Il est en outre fort possible que des variations de composition à l'intérieur d'une même espèce puissent revêtir, tout au moins localement, une valeur stratigraphique et puissent aider à débrouiller la structure du Flysch de telle ou telle région; ainsi dans le Kiental et le Kandertal les couches supérieures des grès de l'espèce II sont plus riches en hornblendes que les couches inférieures.

B. Relations à l'intérieur du groupe des grès du Val d'Illiez. L'analyse micrographique démontre que la composition pétrographique des grès du Val d'Illiez a évolué d'une manière continue depuis les niveaux les plus anciens et les plus internes jusqu'aux niveaux les plus récents et les plus externes.

Cette évolution se traduit tant par le fait que la teneur en fragments de roches volcaniques diminue que par une modification progressive de la nature de ce matériel volcanique: les fragments de spilites à pâte microlitique ou felsitique sont remplacés par des fragments de spilites diabasiques et de chloritites. En outre, le caractère polygénique des microbrèches s'accroît, les roches cristallines acides (granites, aplites, gneiss) et sédimentaires (calcaires prenant une teinte jaune par altération, cherts) devenant de plus en plus abondantes et variées.

Les grès exploités dans les carrières du Val d'Illiez (grès de Massongex) représentent, en Suisse occidentale, un terme extrême de cette évolution qui, en Suisse centrale et orientale, s'est poursuivie plus loin et a abouti à des roches dépourvues de fragments volcaniques: les grès de Matt-Gruontal.

#### § 5. Relations entre le Flysch nordhelvétique et d'autres formations tertiaires voisines

De la frontière franco-suisse au Rhin on trouve, au contact avec le Flysch nordhelvétique et souvent intimement lié à lui, un Flysch schisto-gréseux nettement distinct par sa composition pétrographique, sa microfaune et sa lithologie. Ce Flysch ultrahelvétique, sudhelvétique ou même pennique

suivant les auteurs (LEUPOLD, 1937, 1938; MORET, 1934) accompagne aussi bien les grès du Val d'Iliez que les grès de Taveyannaz ou encore les grès de Matt-Gruontal; sa présence n'est donc nullement liée à celle de l'un ou de l'autre des grands groupes de Flysch nordhelvétique.

Dans la grande majorité des cas on arrive à la conclusion que les rapports des deux Flysch sont d'ordre tectonique. On observe souvent que l'élément ultrahelvétique pénètre en synclinal pincé dans la masse du Flysch helvétique; on note parfois, comme c'est le cas sous la Dent de Valayre (DUCLOZ, 1944, p. 45), qu'un plan de chevauchement sépare les deux formations.

Ces constatations ont amené divers auteurs, tels, par exemple, que BRÜCKNER (1943) et L. MORET (1934), à admettre pour le Flysch nordhelvétique le schéma suivant résumant son histoire tectonique:

a) Mise en place du Flysch ultrahelvétique sur la masse du Flysch nordhelvétique dont la surface devait être déjà quelque peu ondulée ou plissée et très probablement érodée (Reliefüberschiebung). Ecaillage de la partie superficielle du Flysch nordhelvétique donnant naissance à des lambeaux entraînés jusque sous les Préalpes externes.

b) Plissement de l'ensemble des Flysch devenus solidaires.

Il est certain cependant que ce schéma doit se compliquer passablement en Suisse orientale.

Le Flysch nordhelvétique passe-t-il à un Flysch plus interne? Cette question est évidemment très importante. La majeure partie des observations paraît indiquer que tel n'est pas le cas, car le faciès si particulier des grès de Taveyannaz apparaît très brusquement. Deux indices semblent cependant suggérer que les recherches n'ont pas encore tout dit à ce sujet. C'est premièrement les curieux conglomérats de la région de Heuberg, en dessus de l'Oeschinensee, qui appartiennent encore au groupe des grès de Taveyannaz, mais qui sont beaucoup plus polygéniques que l'ensemble de ces derniers et moins riches en éléments volcaniques. Or ces conglomérats se sont déposés dans une zone très méridionale (dos de la nappe Diablerets-Gellihorn) du domaine nordhelvétique et occupent peut-être la base de la série du Flysch. L'autre indice est l'existence de ce curieux Flysch subalpin de l'Entlebuch récemment étudié par M. FURRER (1949) qui a observé un passage graduel entre des grès ayant la composition des grès de Taveyannaz et des grès d'un type macigno beaucoup plus pauvres en éléments volcaniques.

Nous savons que le bassin de sédimentation de la Molasse subalpine occupait une position externe par rapport au domaine nordhelvétique. Les conditions tectoniques sont malheureusement telles, en Suisse centrale et orientale, que la continuité entre Flysch et Molasse n'existe plus; on sait depuis longtemps que le Val d'Iliez est l'unique région en Suisse où nous puissions observer un passage continu et graduel entre ces deux formations représentées ici par le groupe des grès du Val d'Iliez et la Molasse rouge. On sait que la partie sommitale du Flysch contient dans cette vallée des bancs de grès riches en ciment carbonaté et déjà très appauvris en éléments volcaniques: les «grès de Massongex».

L'examen d'un certain nombre de plaques faites dans des échantillons provenant de la collection de DUCLOZ et de SCHROEDER ou de notre collection personnelle nous a permis d'étudier le passage de ces grès de Massongex à la Molasse typique. L'apparition des couches rouges et vertes que l'on considère comme caractéristiques de cette formation est probablement due à un changement des conditions générales au moment de la sédimentation; il faut cependant noter que ces couches ne constituent pas, et de loin, l'ensemble de la Molasse dite rouge, les grès gris sont très fréquents. En étudiant les parties microbréchiques de ces derniers, on s'aperçoit que la composition a évolué, à partir de celle des grès du Flysch, dans le sens d'une richesse toujours plus grande en matériel carbonaté tant sous forme de grains de calcaires souvent dolomitiques que sous forme de ciment calcitique. Les fragments de roches volcaniques sont devenus extrêmement rares, bien qu'on en rencontre de temps à autre un grain même en pleine Molasse.

La monographie de DUCLOZ et SCHROEDER sur la Molasse du Val d'Iliez nous donnera sans doute des renseignements supplémentaires sur ce passage; pour le moment il importe surtout de noter qu'il ne semble pas y avoir de discontinuité importante dans l'évolution de la composition pétrographique qui se manifeste lorsqu'on passe du Flysch à la Molasse.

## § 6. L'âge du Flysch nordhelvétique

Le Flysch nordhelvétique est, dans son ensemble, extraordinairement pauvre en macrofossiles et en microfossiles. Nous devons donc pour le dater faire appel tant à des critères indirects qu'à des critères directs.

A. Critères directs. Divers auteurs (LUGEON, 1923; MORET, 1924; DE QUERVAIN, 1928; SCHROEDER et PICTET, 1946) ont signalé dans les grès de Taveyannaz des Nummulites et des Orthophragmines (Discocyclines) d'âge priabonien. Nous avons aussi observé, très rarement, il est vrai, des restes de ces organismes dans quelques plaques minces.

Il convient d'interpréter ces trouvailles d'une manière très prudente. Il est bon, tout d'abord, de s'assurer qu'elles ont bien été faites dans de vrais grès de Taveyannaz et non dans ces bandes de Flysch ultrahelvétique intercalées dans ces derniers et qui ont souvent passé inaperçues. Il faut ensuite examiner si les microorganismes ne sont pas remaniés, or tel semble être souvent le cas. Relevons enfin que les Nummulites du Priabonien et du début de l'Oligocène sont encore peu étudiées et que dans le cas qui nous occupe leur détermination est rendue difficile par le fait qu'on ne peut généralement pas les isoler.

Ces réserves faites, nous pensons qu'il est cependant raisonnable de tenir compte des microorganismes découverts par LUGEON (1923) dans les grès de Taveyannaz du cirque de Creux de Champs et de ceux signalés plus récemment par SCHROEDER (1946) dans des grès de Taveyannaz de Haute-Savoie appartenant à l'espèce II. Ainsi les grès de Taveyannaz typiques (avec augites et hornblendes fraîches) appartiendraient encore au Priabonien.

Les Nummulites et Orthophragmines que l'on trouve, souvent sous forme de fragments, assez rarement dans les grès du Val d'Illicz, plus fréquemment dans ceux de Matt-Gruontal, paraissent certainement remaniées et proviennent sans doute des calcaires nummulitiques que l'on trouve en débris dans ces formations.

B. Critères indirects. Les roches les plus jeunes trouvées en fragments dans le Flysch nordhelvétique sont: des calcaires nummulitiques probablement priaboniens dans les grès du Val d'Illicz (DUCLOZ, 1944, p. 17) et des calcaires lutétiens dans les conglomérats du Gruonberg (BOUSSAC, 1912, p. 372). Une étude systématique des niveaux conglomératiques du Flysch permettrait sans doute d'augmenter le nombre des trouvailles intéressantes.

Examinons maintenant si les formations qui encadrent le Flysch permettent d'assigner à ce dernier une limite inférieure et une limite supérieure.

Les grès de Taveyannaz surmontent les marnes schisteuses à Globigérines qui, elles-mêmes, recouvrent stratigraphiquement les calcaires ou les grès quartzeux à petites Nummulites du Priabonien. Les grès du Val d'Illicz ont un soubassement analogue: marnes schisteuses à Globigérines, calcaires nummulitiques. Il se pourrait toutefois que ces calcaires contiennent, dans le Val d'Illicz supérieur, des Nummulites oligocènes (COLLET, SCHROEDER et PICTET, 1946). Nous voyons que de toutes manières l'ensemble du Flysch nordhelvétique est postérieur à une grande partie du Priabonien.

Nous avons vu plus haut (voir p. 49) que, dans le Val d'Illicz, le Flysch passe graduellement à la Molasse par l'intermédiaire d'un complexe schisto-gréseux contenant en particulier des bancs de grès du type «grès de Massongex». Ces couches contiennent une faunule de Lamellibranches (Cyrénidés, Cardiidés), des écailles de Meletta et parfois des restes de plantes. Ces fossiles indiqueraient un âge stampien inférieur, pour autant que leur valeur stratigraphique soit suffisante; certains pensent en effet que, dans l'Oligocène, ils caractérisent surtout un faciès.

Depuis quelques années nous sommes cependant mieux renseignés sur l'âge de ces couches de passage. On a, en effet, trouvé dans les grès de Vaulruz (Fribourg) des dents et des ossements de Mammifères appartenant incontestablement au Stampien le plus ancien (STEHLIN, 1938). Les grès de Vaulruz décrits récemment par MORNOD (1949, p. 67) sont sans doute des lambeaux des couches de passages du Flysch à la Molasse détachés et entraînés sous les nappes préalpines.

En résumé, les critères tant directs qu'indirects, montrent que la plus grande partie du Flysch nordhelvétique est, comme l'avait déjà supposé BOUSSAC (1912), lattorfiennne. Les couches les plus anciennes de ce complexe (grès de Taveyannaz typiques) appartiennent cependant encore au Priabonien supérieur, tandis que les couches les plus jeunes («grès de Massongex») empiètent déjà sur la base du Stampien.

Table XIV

Essai de stratigraphie du Flysch nordhelvétique

Etages	Suisse occidentale		Suisse centrale et orientale
	Zones internes	→ Zones externes	
Chattien . . . . .		Molasse rouge	
Rupélien . . . . .		« Grès de Massongex »	Grès de Matt-Gruontal
Lattorfien . . . . .		Grès du Val d'Illiez	Mêmes formations
		Grès de Taveyannaz IV	
Priabonien . . . . .		Grès de Taveyannaz II et III	
		Schistes à Globigérines	
		Calcaires et quartzites nummulitiques	

Remarque: Le déplacement des noms de couches vers la droite indique que les formations du Flysch nordhelvétique sont d'autant plus jeunes qu'elles se trouvent dans une zone plus externe.

Chapitre XVI

**Origine des fragments de spilites et d'andésites caractéristiques des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illiez**

**§ 1. Les diabases et chloritites**

Les spilites albito-chloritiques à structures diabasiques et les chloritites constituent les fragments les plus caractéristiques des microbrèches appartenant au groupe des grès du Val d'Illiez. La géologie des Alpes nous enseigne que les roches de ce type ne se trouvent actuellement que dans deux zones tectoniques: la zone limite entre les domaines austro-alpin et pennique, les Préalpes supérieures (nappes de la Brèche et de la Simme).

Des études récentes (SCHROEDER, 1939; VUAGNAT, 1946; GRUNAU, 1947) de ces diabases non métamorphiques ont mis en évidence deux faits; elles possèdent fréquemment une constitution spilitique (albite, chlorite, sphène) et représentent souvent d'anciennes coulées sous-marines ayant une texture en coussins (pillow lavas). La structure de ces coussins varie de l'intérieur vers l'extérieur. Le centre des plus gros présente une structure intersertale ou intersertale divergente, puis vient une zone à structure arborescente de plus en plus fine qui, près du bord, est suivie d'une enveloppe à structure sphérolitique fibroradiée. Le bord lui-même est souvent variolitique (sphérolites feldspathiques entourés d'une masse de fond chloritique) et passe graduellement, par diminution du nombre des varioles à une matrice chorismatique très riche en chlorite.

On ne peut douter que les fragments de roches diabasiques des grès du Val d'Illiez proviennent de la destruction de coulées semblables. Il y a identité de composition entre les deux groupes de roches, voyons ce que nous pouvons dire des structures. Nous avons vu plus haut que les fragments à struc-

ture sphérolitique fibroradiée, arborescente ou intersertale divergente sont fréquents. En revanche, la structure intersertale ne s'observe que très rarement. Cette carence s'explique tant par le fait que seules les parties tout à fait centrales des coussins les plus gros possèdent cette structure que par un effet de la taille relativement petite des fragments de la microbrèche; les diabases à grain grossier ont été désagrégées en leurs éléments constituants, il est probable qu'une partie des gros débris d'albite provient de cette désagrégation. Les fragments de variolite, roche qui, rappelons-le, ne forme qu'une mince enveloppe autour de certains pillows, sont aussi très rares, nous verrons tout à l'heure pourquoi.

Quelle peut être l'origine de ces curieux débris formés presque entièrement de chlorite souvent isotrope: les chloritites? Nous devons tenir compte de trois possibilités.

a) Ces débris représenteraient la matrice bordière des pillows ayant fourni les fragments de diabases. Cette hypothèse est certainement bonne dans nombre de cas; elle est confirmée par l'apparition concomitante des diabases et des chloritites; elle explique pourquoi les fragments de variolites sont si rares; ces roches, où la cohésion entre varioles et pâte est faible, ont été désagrégées en leur éléments constitutifs: sphérolites feldspathiques fibroradiés et chlorite.

b) L'hypothèse précédente ne peut, à notre avis, expliquer l'origine de tous les fragments de chloritites. Fréquemment le nombre et la taille de ces derniers sont anormalement grands par rapport au nombre et à la taille des fragments diabasiques fibroradiés qui les accompagnent. On note assez souvent l'absence des granules de sphère fréquents dans la matrice des pillows. Nous pensons donc qu'une partie des fragments de chloritites proviennent de la destruction de roches serpentineuses. La structure réticulée de certains de ces débris serait en faveur de cette hypothèse qui devrait naturellement être éprouvée par des analyses chimiques et des recherches employant les rayons X.

c) Enfin il est possible d'attribuer à quelques-uns de ces fragments une troisième origine, en supposant qu'ils proviennent de l'érosion de tufs palagonitiques, roches fréquemment associées aux coulées subaqueuses comme l'a montré en particulier F. BERNAUER (1943).

Relevons pour clore ce paragraphe que les fragments de diabases des microbrèches du Flysch présentent aussi certains caractères de détails fréquents dans les spilites alpines (VUAGNAT, 1946, p. 164) telles par exemple des amygdales remplies de chlorite isotrope ou de petits cristaux d'olivine complètement pseudomorphosés en chlorite.

## § 2. Vraie nature des roches à faciès andésitique

Nous avons décrit plus haut ces roches qui sont partiellement ou exclusivement constituées d'albite et de chlorite, minéraux accessoires exceptés. Le problème fondamental est celui de l'époque de la formation de l'albite et de la chlorite. Quatre hypothèses principales sont possibles, nous allons les examiner successivement en indiquant celles qui nous paraissent les plus vraisemblables.

a) Origine primaire. Dans cette hypothèse albite et chlorite se seraient formées soit par cristallisation directe au sein du magma, soit indirectement, à partir de minéraux formés à plus haute température, par autométamorphisme ou par suite d'actions métasomatiques liées à l'activité volcanique et immédiatement postérieures à la consolidation des coulées.

Cette hypothèse est très vraisemblable en ce qui concerne les diabases albite-chloritiques dont il a été question au paragraphe précédent. L'étude de ces roches dans leurs gisements d'origine a prouvé leur composition primaire. Il en va probablement de même pour les spilites albite-chloritiques à faciès andésitique du type C; seules leurs structures permettent de les distinguer des spilites diabasiques. Il est en outre légitime de faire entrer dans la même catégorie les spilites albitiques à augite et hornblende, pour autant qu'elles ne contiennent que peu ou pas de minéraux d'altération calciques. On a en effet signalé dans les Alpes des spilites albitiques à augite (VUAGNAT, 1946, p. 206).

b) Origine secondaire due à une altération nettement postérieure à la consolidation des coulées, mais antérieure à leur érosion. Cette hypothèse est difficile à contrôler. Il pourrait s'agir d'une altération atmosphérique prolongée. Il est probable que les coulées de roches basiques ont subi une altération, mais nous ne pouvons guère admettre que le phénomène ait atteint toute leur masse. N'oublions pas que les

grauwackes, type de sédiments auquel se rattachent les grès du Flysch nordhelvétique, témoignent d'une érosion rapide (FISCHER, 1933; PETTJOHN, 1949, p. 252) ne laissant généralement pas à l'altération superficielle le temps d'aller très loin.

c) Origine secondaire due à une altération postérieure au dépôt des grès mais antérieure à leur exondation ou à leur érosion actuelle. Cette altération se serait produite soit lorsque le sédiment était immergé et encore imbibé d'eau de mer, soit plus tard par suite d'un très léger métamorphisme de dislocation ou d'actions métasomatiques dues à la circulation d'eau souterraines.

L'idée d'une albitisation des fragments d'andésites en relation avec la présence de l'eau de mer, riche en ions sodium, qui imbibait le sédiment vient tout naturellement à l'esprit. Cette possibilité a été envisagée par DE QUERVAIN (1928, p. 64) qui a observé que certains galets des grès de Taveyannaz grossiers, isolés dans une matrice schisteuse, étaient moins altérés que le reste du sédiment et semblaient avoir été protégés par leur enveloppe peu perméable.

Sans aller aussi loin que DE QUERVAIN, qui a tendance à vouloir expliquer l'origine de toute l'albite de cette manière, nous croyons qu'il y a eu effectivement des transformations dans le sédiment déjà déposé. Nous ignorons encore le processus de ces phénomènes; nous constatons simplement qu'ils étaient liés à des migrations et à des regroupements importants de certains éléments chimiques et qu'ils ont abouti à la naissance du faciès moucheté et à la formation de ces curieux pseudo-galets qui caractérisent certains grès de Taveyannaz (voir p. 68).

d) Origine secondaire due à une altération superficielle actuelle. Cette hypothèse est à rejeter, car l'altération superficielle contemporaine, qui peut être assez profonde (1 m. et plus) et déterminer un changement de couleur du grès, ne s'accompagne en général ni d'une albitisation, ni d'une chloritisation; un grès de Taveyannaz II conserve ses augites et ses hornblendes. Au reste, une altération qui aurait changé la composition minéralogique de l'ensemble des grès nordhelvétiques de la Suisse est un phénomène qui dépasserait les limites du vraisemblable.

En résumé, il semble permis d'admettre deux origines pour la paragenèse albite-chlorite: 1° Une origine primaire dans le cas des diabases, des spilites albite-chloritiques non diabasiques (type C) et d'une partie des spilites albitiques à augites ou hornblende (type B). 2° Une origine secondaire due à une altération postérieure au dépôt du grès mais sans rapport avec l'altération atmosphérique actuelle et qui aurait entraîné les modifications observées dans les grès de Taveyannaz de l'espèce III riches en minéraux secondaires calciques.

### § 3. Relations entre les diabases et les roches à faciès andésitique

Nous savons maintenant que les «andésites» des grès du Flysch nordhelvétique sont soit des spilites vraies, soit des pseudo-spilites provenant sans doute, par altération, d'andésites qui n'ont été conservées intactes que dans les grès du type I inconnus en Suisse. Ces résultats impliquent qu'il n'est plus possible de répartir l'ensemble de ces roches volcaniques en deux groupes complètement indépendants.

Nous venons d'insister sur l'identité de composition minéralogique qui apparente les spilites albite-chloritiques du type C et les diabases; il semble même que certains fragments possèdent une structure intermédiaire entre la structure intersertale divergente et certaines structures microlitiques (notamment une variété de structure trachytique). Tout semble donc indiquer que les deux groupes de roches proviennent d'un même magma qui s'est consolidé soit à l'air libre (spilites albite-chloritiques du type C), soit sur le fond de la mer (diabases en coussins).

L'examen de plusieurs centaines de plaques minces révèle, d'autre part, qu'il existe tous les termes d'un passage graduel et à peine sensible entre les spilites albite-chloritiques du type C et les spilites albitiques à augite et hornblende (type B) et entre ces dernières et les andésites altérées riches en minéraux d'altération calciques.

Ainsi toutes les roches volcaniques basiques des grès du Flysch nordhelvétique semblent appartenir à une même famille. Nous concédons que cette continuité apparente pourrait cacher une discontinuité réelle et provenir de phénomènes fortuits de convergence, cependant aucun fait ne semble étayer cette hypothèse peu vraisemblable.

Nous disposons malheureusement de trop peu d'analyses de fragments de roches volcaniques des grès de Taveyannaz pour justifier le point de vue que nous venons d'exposer en faisant appel à des analogies de composition chimique. Notons cependant que certaines des analyses publiées par DE QUERVAIN (1928, anal. 3, p. 40) témoignent d'une composition chimique très semblable à celle de quelques ophiolites. On comparera en particulier les paramètres magmatiques d'un fragment de roche volcanique récolté à Creux de Champs aux paramètres de la diabase d'Ardez (Basse Engadine):

	si	al	fm	e	alk	ti	p	h	co <sub>2</sub>	k	mg
I . . . . .	116	28	43,5	18	10,5	2,1	1,2	48	2,0	.27	.45
II . . . . .	105	23	49	17	11	4,5			14,5	.13	.67
III . . . . .	130	24,5	44	18	13,5	4,0				.06	.48
IV . . . . .	110	21	53,5	14	11,5	3,8				.35	.54

I. Galet de roche volcanique, Creux de Champs (Vaud).

II-IV. Diabase d'Ardez (GRUBENMANN et TARNUZZER, 1909; VUAGNAT, 1946, p. 194).

#### § 4. Origine des spilites non diabasiques et des andésites altérées des grès de Taveyannaz

Nous ne voulons pas cacher que la solution du problème de l'origine d'une grande partie du matériel volcanique des grès du Flysch nous échappe encore. Nous pouvons cependant circonscrire considérablement ce problème.

Il importe tout d'abord de rappeler que les grès de Taveyannaz ne sont pas des tufs au sens strict du mot, c'est-à-dire qu'ils ne représentent pas des sédiments formés par la chute sur terre ou dans la mer de produits solides d'une exhalaison volcanique contemporaine. DE QUERVAIN a montré que la structure des grès de Taveyannaz, en particulier la forme des fragments qui les constituent, n'est pas celle d'un tuf. Nos observations concordent en tous points avec celles de notre prédécesseur, on notera ainsi l'absence des débris vitreux, anguleux, en forme d'esquilles, fréquents dans les vrais tufs et que les géologues de langue anglaise nomment «shards». Les grès de Taveyannaz doivent donc leurs éléments volcaniques à l'érosion de coulées qui étaient depuis longtemps consolidées (DE QUERVAIN, 1928, p. 71), ce sont des grauwackes anormalement riches en matériel volcanique.

Le gros apport détritique qui, peu à peu, comblait la mer du Flysch, venait-il de l'intérieur ou de l'extérieur de la chaîne alpine? DE QUERVAIN (1928, p. 76) se pose déjà cette question dans sa monographie; il penche en faveur de la première hypothèse, sans donner toutefois de réponse catégorique. Maintenant, à la suite de l'étude des grès du Val d'Illiez, nous sommes heureusement plus avancés; nous venons, en effet, de démontrer que les fragments de diabases, auxquels il faut sans doute joindre ceux de spilites albito-chloritiques du type C, proviennent de zones alpines internes; nous verrons bientôt qu'il en va de même d'autres roches (radiolarites). D'autre part, nous avons déjà entrevu et nous verrons mieux au chapitre XVIII que le bassin de sédimentation du Flysch a, au cours des temps géologiques, migré de l'intérieur vers le bord de la chaîne alpine. Ces divers arguments conduisent à admettre l'origine interne du matériel des grès du Flysch nordhelvétique et en particulier des spilites et andésites des grès de Taveyannaz.

La difficulté fondamentale à résoudre le problème qui nous occupe ici est due à l'absence presque complète dans les Alpes de gisements de spilites ou d'andésites ayant une structure microlitique ou felsitique et cela bien que les fragments de telles roches constituent la plus grande partie d'une puissante formation dont l'extension longitudinale atteint, avec des interruptions, il est vrai, près de 400 km.

Nous renonçons à faire ici l'historique de toutes les hypothèses que les auteurs ont émises pour se tirer de ce mauvais pas; le lecteur pourra à ce propos consulter DE QUERVAIN (1928, p. 77). Nous désirons simplement montrer que ces hypothèses font toutes appel à un nombre petit de possibilités plus ou moins probables.

On trouve, à priori, les explications suivantes de notre impuissance à retrouver en place les andésites et les spilites.

1° Les coulées mères de ces roches existent, mais nous n'avons pas encore su les reconnaître. Les tenants de cette explication avancent que ces coulées sont peut-être les porphyrites que l'on trouve ici ou là dans les massifs cristallins hercyniens. Cette hypothèse est invraisemblable; d'une part, ces porphyrites sont différentes des spilites et andésites altérées de nos grès; d'autre part, il faudrait dans ce cas admettre une origine externe de l'apport détritique, supposition en désaccord avec les arguments avancés ci-dessus. Les raisons analogues interdisent de penser que les mélaphyres de la couverture triasique du Pelvoux (TERMIER et LORY, 1895) ou les spilites du Verrucano glaronnais ont fourni les fragments de roches volcaniques des grès de Taveyannaz.

2° Les coulées mères existent, mais échappent à nos recherches parce qu'elles ont été recouvertes soit par des terrains transgressifs plus récents, soit lors de l'avance d'une unité tectonique supérieure. La première hypothèse ne résiste pas à un examen même rapide. En effet, les dépôts alpins postérieurs au Lattorfien sont les Molasses qui se sont déposées dans une zone externe par rapport aux grès de Taveyannaz, or nous avons vu que le matériel détritique de ces derniers provenait de l'intérieur des Alpes. La seconde hypothèse est plus difficile à réfuter, elle fait appel soit à l'avance d'une nappe, soit, ce qui revient pratiquement au même, à une « aspiration » dans une zone de « racines » (GIGNOUX, 1948). Le seul endroit où les coulées volcaniques pourraient être enfouies est la zone située sous les nappes penniques inférieures. Cette zone paraît malheureusement dépourvue d'ophiolites, roches qui, par l'intermédiaire des diabases, ont une parenté certaine avec les spilites à faciès andésitique et les andésites.

3° Les coulées mères ont été complètement érodées. Cette hypothèse nous paraît seule acceptable. Il est évident qu'une érosion si puissante est étonnante, nous verrons plus loin qu'elle n'est cependant pas invraisemblable.

En résumé, les fragments de roches à faciès andésitique des grès du Flysch nordhelvétique proviennent probablement de la destruction totale d'anciennes coulées de laves situées dans une zone alpine interne. Nous examinerons de plus près (chapitre XVIII) les relations existant entre ces coulées et les ophiolites.

## Chapitre XVII

### **Origine des fragments de roches constituant les microbrèches du Flysch nordhelvétique Roches non volcaniques. Conclusions**

#### **§ 1. Les roches éruptives acides des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Iliez**

Le matériel éruptif acide prend une importance grandissante lorsque l'on monte dans la série du Flysch. Nous allons examiner succinctement quelle pourrait être l'origine de certaines des roches qui le forment.

Les plagioclases fréquentes dans les grès du Val d'Iliez sont formées entièrement de cristaux isométriques de plagioclase acide généralement séricitisés et parfois maclés; elles ressemblent à peu de roches connues. Au début de ces recherches nous pensions qu'elles provenaient probablement de filons aplitiques traversant un massif granitique; maintenant nous nous demandons si, pour une partie d'entre elles tout au moins, une autre origine n'est peut-être pas plus plausible.

Les plagioclases ne représentent-elles pas les parties leucocrates de diabases ou de gabbros spilites? L'examen d'échantillons provenant des sills diabasiques à gros grain du Pays d'En-Haut et du Simmental nous a suggéré cette origine possible; ces diabases sont en effet parfois très riches en gros cristaux d'albite séricitisés associés à un peu de chlorite. L'absence de ce minéral dans les grains des microbrèches s'expliquerait par le fait de sa faible résistance à l'abrasion. Au reste, de rares plagioclases contiennent un peu de chlorite. Si, dans la suite, cette hypothèse se confirmait, on rencontrerait donc dans les grès du Val d'Iliez trois produits de cristallisation différents d'un même magma spilitique.

Les fragments de spilites du type C proviendraient de coulées subaériennes; ceux de diabases de coulées sous-marines et ceux de plagioclasites de sills interstratifiés.

Les fragments assez rares de granites typiques, ceux beaucoup plus fréquents d'aplites, de microgranites, de roches à structure micrographique, de granophyres, de porphyres quartzifères à pâte felsitique proviennent évidemment d'un ancien massif cristallin acide. A quelle unité tectonique ce massif pouvait-il appartenir?

L'hypothèse au premier abord la plus plausible consiste à identifier ce massif aux massifs alpins hercyniens (Mont Blanc-Aiguilles Rouges, Aar-Gothard). Ces roches se rencontrent non seulement dans les grès du Val d'Illicz, mais aussi, quoiqu'en quantité plus faible, dans les grès de Taveyannaz. L'apport détritique venant du Sud ou du Sud-Est il faudrait, si l'on suit cette hypothèse, admettre que c'était une partie très interne de ces massifs qui émergeait, partie actuellement cachée à nos yeux.

Cette difficulté fait qu'on se demande si l'origine du matériel granitique ne doit pas être recherchée dans une zone beaucoup plus interne, voisine de celle qui a fourni les fragments de diabases et de radiolarites (voir p. 81). On trouve, en effet, des éléments cristallins acides tant dans les Préalpes (lames de «protogine» associées aux roches vertes de la région du Col des Gêts [SCHROEDER, 1939] que près de la zone limite entre le Pennique et l'Austroalpin (éléments cristallins anciens de l'Arosar Schuppenzone, granite de Tasna, etc.). Une étude minutieuse des galets de roches granitiques provenant des rares niveaux conglomératiques du Flysch nordhelvétique permettrait sans doute d'éprouver le bien fondé de cette hypothèse.

L'origine des fragments de quartz polycristallins si fréquents dans les grès du Val d'Illicz (voir p. 28) pose aussi certains problèmes. Doit-on admettre qu'ils proviennent de filons de quartz, mais alors, il faudrait, même en tenant compte de l'enrichissement en quartz durant le transport, postuler l'existence d'un massif anormalement riche en filons quartzeux. Il est plus probable qu'une partie au moins de ces agrégats provient simplement de la destruction de granites grossiers originairement pauvres en feldspaths et en micas. N'oublions pas en effet que l'on rencontre de très nombreux fragments constitués uniquement de quartz et de feldspath qui ne dérivent certainement pas tous de vraies aplites. L'absence des micas dans ces fragments ne doit pas nous étonner, car la cohésion des phyllites avec les autres minéraux doit être faible et n'opposer que peu de résistance à la désagrégation.

## § 2. Les roches sédimentaires des grès de Taveyannaz et des grès du Val d'Illicz

Les roches siliceuses les plus fréquentes dans les grès du Val d'Illicz sont les cherts, les cherts à restes de radiolaires (radiolarites), les spongolites rousses. Où trouve-t-on actuellement dans les Alpes des gisements de telles roches? Dans la nappe de la Brèche et surtout dans celle de la Simme, dans la zone limite entre le Pennique supérieur et l'Austroalpin (Oberhalbstein, Arosa, Engadine), dans l'Austroalpin moyen et enfin dans les Alpes méridionales, notamment dans le Sud du Tessin. Les roches siliceuses préalpines et penniques supérieures sont associées à des diabases en coussins généralement spilitiques de la série des ophiolites. D'autre part, les fragments de cherts et de radiolarites apparaissent dans les grès du Flysch, en quantité appréciable, en même temps que les fragments de diabases. Il est de ce fait naturel de rechercher dans les deux zones susmentionnées l'origine des débris de roches siliceuses.

Les fragments de calcaires en partie dolomitiques si nombreux dans les grès du Val d'Illicz où ils forment de petites taches jaunes dans les zones altérées proviennent sans doute de l'érosion de couches triasiques. En certains points, fort rares au reste, la transgression du Flysch semble avoir atteint le Trias autochtone et même le cristallin hercynien mis à nu par des érosions antérieures (GAGNEBIN, 1932). Il est cependant peu probable que le Trias helvétique ait fourni l'ensemble de cet apport massif qui a encore augmenté lors de la sédimentation des grès de Matt-Gruontal. Dans ces cas comme dans d'autres, il faut sans doute penser à une formation plus puissante et située dans une zone beaucoup plus interne: soit le Trias austroalpin, soit le Trias préalpin, soit encore ce Trias pennique si peu connu de la Vanoise qui est actuellement en cours d'étude (ELLENBERGER, 1949). Un spécialiste du Trias pourrait peut-être dire laquelle de ces suppositions est la plus vraisemblable en étudiant de près ces fragments de calcaires.

L'origine des autres fragments de roches sédimentaires, en particulier des débris de grès, est encore plus incertaine que celle des calcaires dolomitiques. En attendant que des découvertes, très hypothétiques, permettent de jeter un peu de lumière sur ce problème, contentons-nous de noter que l'on ne trouve pas dans les grès du Val d'Illiez de fragments de grès de Taveyannaz.

### § 3. Les éléments des grès et conglomérats de Matt-Gruontal

Plusieurs auteurs se sont demandés d'où était venu le matériel détritique varié des conglomérats du Gruontal. Voici à ce propos les indications que l'on peut trouver dans les publications de ALB. HEIM (1891), BOUSSAC (1912), ANDEREGG (1940) et LEUPOLD (1942):

Agrégats de quartz, quartzites: origine inconnue.

Gneiss à grandes muscovites: affinités inconnues ou tessinoises.

Calcaire nummulitique à *Alveolina elongata*: BOUSSAC pense qu'*A. elongata* a des affinités dinariques, ce microfossile lui étant inconnu dans le Nummulitique suisse; LEUPOLD, en revanche, rapporte ce calcaire au calcaire à *N. gallensis* de la «nappe du Flysch» de Glaris (LEUPOLD, 1942, p. 289).

Calcaires marneux fins et clairs: affinité avec le Biancone et certaines roches de la Scaglia.

Calcaires fins: Seewerkalk (?).

Calcaires fins à concrétions siliceuses: Quintnerkalk du Malm helvétique (?).

On voit que la majeure partie de ces roches est exotique et ne se retrouve pas dans le domaine helvétique; certaines d'entre elles ont des affinités très méridionales. L'étude en plaque mince des microbrèches de Matt et de Seedorf renforce cette impression d'exotisme; rappelons à ce propos que l'on rencontre parmi les nombreux fragments de roches siliceuses (cherts, radiolarites, etc.) de très belles spongolites inconnues dans les terrains helvétiques et ultrahelvétiques et ne se trouvant guère que dans les Alpes du Sud.

Ces quelques remarques laissent suffisamment entendre que l'étude des fragments de roches constituant ces grès et conglomérats de Matt-Gruontal serait une tâche du plus haut intérêt qui devrait être entreprise par un chercheur déjà familiarisé avec un grand nombre de roches alpines<sup>1)</sup>.

### § 4. Roches absentes dans les grès du Flysch nordhelvétique. Conclusions

Il est intéressant de relever quels sont les groupes de roches alpines dont on ne trouve pas de fragments dans les microbrèches du Flysch nordhelvétique. On obtiendra de cette manière des données utiles pour les reconstitutions paléogéographiques tentées au chapitre suivant.

L'examen des plaques minces faites dans les microbrèches met en lumière une triple carence:

- 1<sup>o</sup> Absence de roches appartenant à la zone métamorphique des schistes lustrés. On n'observe ni prasinites, ni amphibolites, ni schistes à glaucophane, ni euphotides, ni roches vertes à grenats. La présence éventuelle de serpentine n'infirmes pas cette règle, car cette roche est aussi associée aux ophiolites non métamorphiques de la limite austroalpin-pennique.
- 2<sup>o</sup> Absence quasi totale de roches appartenant à la série mésozoïque nordhelvétique.
- 3<sup>o</sup> Absence de fragments provenant des parties plus anciennes du Flysch nordhelvétique. En effet on n'observe de galets de grès de Taveyannaz, ni dans les niveaux grossiers des grès du Val d'Illiez, ni dans les conglomérats du Gruontal. Au premier abord cette carence étonne, car les grès de Taveyannaz devaient se trouver au Sud (ou au Sud-Est) des bassins de sédimentation des Flysch plus jeunes. Il semble donc que le Flysch nordhelvétique a été soustrait à l'érosion au fur et à mesure de son dépôt et qu'il soit resté caché assez longtemps, car ce n'est que dans la Molasse miocène qu'on le retrouve en galets.

<sup>1)</sup> Dans un appendice de l'étude mentionnée à la p. 61, en note infra-paginale, J. SCHUMACHER reprend la question de l'origine des éléments du conglomérat du Gruontal. La liste assez complète qu'il donne permet d'apprécier l'importance des galets d'origine préalpine ou austroalpine.

En résumé, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- 1° Nous ignorons l'origine d'une grande partie des éléments des microbrèches du Flysch nord-helvétique. Certaines roches n'ont pas été retrouvées en place (spilites du type C, andésites altérées), d'autres peu caractéristiques se rencontrent dans plusieurs zones alpines (granites); quelques-unes enfin peuvent être identifiées avec une grande probabilité d'exactitude (diabases).
- 2° Les diabases, les cherts et radiolarites, éventuellement les plagioclases proviennent sans doute de la zone limite entre l'Austroalpin et le Pennique et du domaine des Préalpes supérieures.
- 3° Les roches volcaniques à faciès andésitiques seraient les produits du même cycle magmatique que celui ayant donné naissance aux diabases; elles diffèrent de ces dernières en partie par leur composition moins spilitique (andésites altérées), en partie par leur mode de consolidation.
- 4° Une partie du matériel des grès et conglomérats de Matt-Gruontal révèle des affinités très méridionales, parfois même dinariques.
- 5° Certaines roches font systématiquement défaut, en particulier les ophiolites métamorphiques.

## Chapitre XVIII

### Reconstitutions paléogéographiques

#### § 1. Remarques sur la « permanence » des éléments du Flysch nordhelvétique

L'essai de reconstitution paléogéographique qui termine ce travail étant fondé en bonne part sur l'absence ou la présence de certains fragments de roches dans les grès du Flysch, il nous faut nous étendre quelque peu sur la notion de « permanence ». Nous entendons en effet par « permanence » d'une espèce d'élément, le fait que la présence de cet élément persiste dans les microbrèches et conglomérats du Flysch nordhelvétique, soit le long d'un certain segment de l'arc alpin (« permanence » longitudinale), soit entre deux niveaux stratigraphiques donnés (« permanence » verticale). Il est évident que la « permanence » verticale équivaut à une « permanence » dans le temps et à une « permanence » transversale (relativement à la direction de la chaîne alpine) à cause de la migration vers l'extérieur du bassin de sédimentation du Flysch.

Le degré de « permanence » verticale varie considérablement d'une espèce d'élément à l'autre. Certains fragments de roches ou de minéraux ne se rencontrent que dans un groupe ou même dans une espèce de Flysch, ainsi les diabases caractérisent les grès du Val d'Illicz, les augites et hornblendes fraîches l'espèce II des grès de Taveyannaz. D'autres éléments sont communs à deux groupes, par exemple les spilites albito-chloritiques du type C fréquentes tant dans les grès du Val d'Illicz que dans les grès de Taveyannaz (espèce IV). Quelques éléments, tels les fragments de roches granitiques, sont omniprésents. Notons cependant que même dans ce cas la quantité relative de l'élément omniprésent varie d'un niveau à l'autre, c'est ainsi que la teneur en quartz a constamment augmenté au cours du temps. Relevons enfin que dans quelques cas, la teneur peut varier irrégulièrement et d'une manière discontinue, il s'agit alors d'éléments dont la présence est liée à des conditions postérieures au dépôt, comme c'est par exemple le cas pour l'épidote.

On trouvera nos observations sur le degré de « permanence » verticale des éléments du Flysch nord-helvétique résumées dans les diagrammes de la fig. 28 (minéraux) et de la fig. 29 (roches). Chaque espèce d'élément est représenté par un trait vertical dont l'épaisseur, grossièrement proportionnelle à la fréquence des fragments, varie en fonction de la hauteur du niveau dans la série stratigraphique. Il ne s'agit là que d'un essai assez fruste, de plus nombreuses intégrations planimétriques permettraient de l'améliorer.

Il est plus difficile de mettre en évidence la notion de «permanence» longitudinale. La composition des grès du Flysch nordhelvétique est assez constante tout le long de l'arc alpin, DE QUERVAIN (1928) l'a excellemment bien montré en ce qui concerne le groupe des grès de Taveyannaz. Il n'est cependant

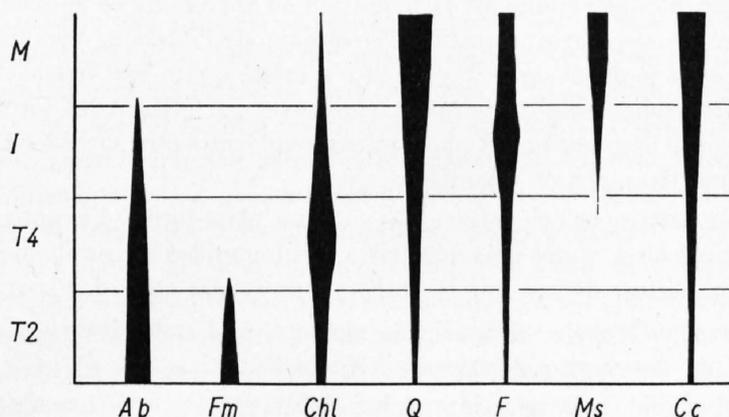


Fig. 28. Schéma des «permanences» verticales des minéraux des grès du Flysch nordhelvétique.

L'épaisseur de la bande noire est très approximativement proportionnelle à la fréquence du minéral dans les types de grès suivants: Taveyannaz de l'espèce II (T2), Taveyannaz de l'espèce IV (T4), Val d'Illeiez (I), Matt-Gruontal (M). Abréviations des minéraux: *Ab* = albite d'origine volcanique, *Fm* = augite et hornblende, *Chl* = chlorite, *Q* = quartz, *F* = feldspath d'origine non volcanique, *Ms* = muscovite, *Cc* = carbonate.

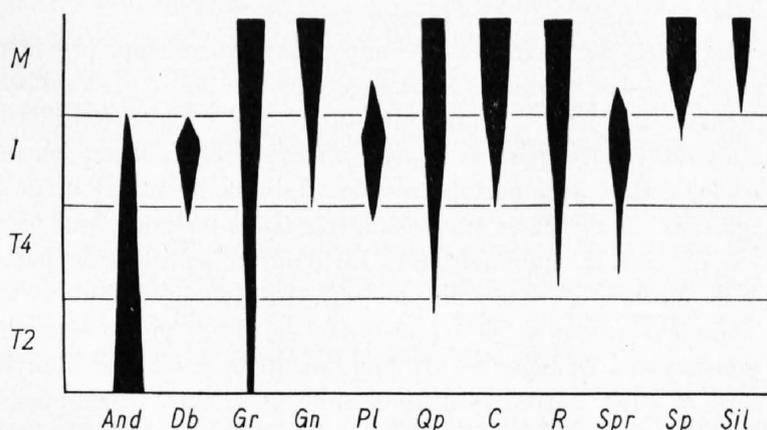


Fig. 29. Schéma des «permanences» verticales des fragments de roches des grès du Flysch nordhelvétique.

L'épaisseur de la bande noire est très approximativement proportionnelle à la fréquence des fragments des diverses roches dans les mêmes types de grès que ceux de la figure précédente. Abréviations des noms de roches:

<i>And</i> = roches à faciès andésitique (andésites, spilites du type C);	<i>Qp</i> = porphyres quartzifères;
<i>Db</i> = «diabases» (diabases s. str. et chloritites);	<i>C</i> = calcaire;
<i>Gr</i> = granites;	<i>R</i> = radiolarites et cherts;
<i>Gn</i> = gneiss;	<i>Spr</i> = spongolites rouges;
<i>Pl</i> = plagioclasites (albitites);	<i>Sp</i> = spongolites typiques;
	<i>Sil</i> = sphérolites siliceux fibroradiés.

pas exclu que l'on puisse découvrir certaines variations secondaires de composition propres à telle ou telle région. Dans cet ordre d'idée nous présenterons les remarques suivantes:

Les grès de Taveyannaz du Kiental sont particulièrement riches en fragments de roches éruptives acides: granites, microgranites, granophyres, porphyres quartzifères. Les spongolites rouges (voir p. 30) se rencontrent plus souvent dans les grès du Val d'Illeiez de la Suisse centrale et orientale que dans ceux de la Suisse occidentale. Dans cette dernière région les spongolites typiques (voir p. 37) si caractéristiques des grès de Matt-Gruontal font quasiment défaut.

## § 2. L'enchaînement des événements lors de la sédimentation du Flysch nordhelvétique

Le domaine nordhelvétique qui nous intéresse ici s'étendait en tous cas de la Savoie au Rhin avec une largeur atteignant et dépassant sans doute 50 km. Le phénomène fondamental attesté par la sédimentation du Flysch nordhelvétique est la migration au travers de ce domaine de ce qui restait du géosynclinal alpin (avant-fosse), cette migration s'effectuant de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne. Nous pensons que, durant le dépôt de ce Flysch, il n'a existé qu'un seul bassin de sédimentation, tout en concédant l'existence probable de hauts fonds, émergeant par endroits et formant alors des îles. En un point donné de l'espace en question les phénomènes semblent s'être succédés toujours dans le même ordre et avoir comporté trois phases essentielles:

a) Sédimentation nettement épicontinentale sur une plate-forme d'avant-pays. Cette phase correspond au dépôt des calcaires et des grès-quartzites à Nummulites du Priabonien, roches appartenant à la série des «orthoquartzites» définie par P. D. KRYNINE (1948) et F. J. PETTIJOHN (1949).

b) Approfondissement brusque marquant le moment où l'avant-fosse arrive au point considéré et manifesté par le dépôt des marnes schisteuses à Globigérines.

c) Relèvement du fond de la mer, rapprochement de la côte et sédimentation orogénique. Cette phase correspond au dépôt de l'épaisse série du Flysch: lits schisteux, grès, microbrèches et conglomérats de la série des grauwackes (FISCHER, 1933; PETTIJOHN, 1949).

Il est intéressant de noter qu'en passant de la première à la troisième phase, ce n'est pas seulement le caractère de la sédimentation qui a changé, mais peut-être aussi le sens de l'apport détritique. En effet, à en croire certaines observations d'ARBENZ (1919, p. 271) dans la région du Titlis, cet apport paraît avoir eu une origine externe lors du dépôt des grès-quartzites nummulitiques, tandis que nous savons que les éléments du Flysch ont une origine interne.

Il sied de présenter quelques retouches et compléments au schéma précédent. L'événement décisif, l'approfondissement brusque marquant le passage du sillon des marnes schisteuses à Globigérines, n'est pas partout contemporain; il est d'autant plus tardif que le point considéré se trouve plus près du bord de la chaîne alpine. D'autre part, la phase c a suivi la phase b plus ou moins rapidement; les marnes schisteuses à Globigérines sont parfois très réduites dans l'Autochtone de la Suisse occidentale et les premiers bancs gréseux du Flysch se trouvent à très faible distance, quelques décimètres dans les cas extrêmes, au-dessus du calcaire nummulitique. En d'autres endroits, en particulier dans le flanc renversé de la nappe de Morcles, la série schisteuse est très puissante. Notons aussi que l'arrivée de l'avant-fosse semble avoir été accompagnée ou précédée de divers phénomènes insolites auxquels les brèches des marnes schisteuses à Globigérines (BRÜCKNER, 1945) et les pseudo-mylonites situées sous la nappe de Morcles (LUGEON, 1947) doivent probablement leur origine. S'agissait-il de tremblements de terre accompagnés de puissants raz de marée analogues à ceux dont le Carbonifère d'Irlande a gardé les traces (LAMONT, 1938) ou de ruptures d'équilibre d'un talus sous-marin brusquement redressé? Nous ignorons encore la cause exacte de ces grands glissements <sup>1)</sup>.

Si nous suivons l'avant-fosse au cours de sa traversée du domaine helvétique nous constatons que la sédimentation n'est pas restée identique à elle-même au cours du temps. La composition de l'apport détritique se modifie profondément et le type de dépôt évolue lentement. C'est ce que nous allons tenter de faire voir en présentant la reconstitution paléogéographique du paragraphe suivant.

## § 3. Coup d'œil paléogéographique

Au Crétacé supérieur sans doute (SCHROEDER, 1939; GRUNAU, 1947) le géosynclinal situé devant le front du grand géantoclinal des Grisonides est bien près d'être comblé; il s'y dépose encore des boues marneuses, souvent riches en silice, qui constitueront certains Flysch penniques et préalpins. A la faveur des surfaces listriques engendrées par les mouvements orogéniques de la phase austrienne, un magma

<sup>1)</sup> On trouvera des vues intéressantes sur les conditions de sédimentation des marnes à Globigérines dans une note de W. BRÜCKNER (Globigerinenmergel und Flysch, Verh. Naturf. Ges. Basel 63, 1952), que nous avons reçue au moment de mettre sous presse.

spilitique monte des profondeurs. Une partie de ce magma n'atteint pas la surface et forme des sills interstratifiés à grain grossier; une partie atteint la surface et s'épanche alors sur le fond de la mer en coulées en coussins plus ou moins mêlées avec les sédiments vaseux. A la suite, peut-être, d'un exhaussement du fond de la mer, une troisième partie du même magma peut atteindre l'air libre et constitue des coulées spilitiques à structures microlitiques ou felsitiques possédant un faciès andésitique (type C).

Le magma continue d'affluer et coulées sur coulées édifient un puissant appareil volcanique. La composition des laves évolue cependant, elle devient de moins en moins spilitique, si bien qu'en passant par les spilites albitiques à augite et hornblende fraîches on arrive à de vraies andésites ou même à des basaltes; cette évolution générale n'exclut sans doute aucunement des récurrences rythmiques.

Cette suite de phénomènes volcaniques est plus qu'une simple vue de l'esprit; on connaît des évolutions analogues. Ainsi, en Sicile, les laves pré-étnéennes, qui se sont épanchées à la limite Pliocène-Pleistocène, ont formé de vastes coulées en coussins (BERNAUER, 1943) dont nous ne connaissons l'extension que bien imparfaitement. Ensuite sont venues les coulées tantôt andésitiques, tantôt basaltiques, à structure porphyrique et microlitique, qui, depuis un niveau inférieur à celui de la mer, ont élevé à plus de 3200 m. l'altitude du sommet de l'Etna. Notons toutefois que cette comparaison appelle certaines réserves, principalement du fait que l'Etna ne s'est pas élevé en milieu géosynclinal, peut-être est-ce pour cette raison que les laves qui forment sa base ne semblent pas avoir une composition spilitique.

Revenons aux coulées alpines. Que s'est-il passé lorsque l'activité volcanique a cessé? Ces laves ont-elles été aussitôt la proie de l'érosion? Ont-elles été recouvertes par l'avance d'une unité tectonique plus élevée? Nous ne sommes pas en mesure de répondre à ces questions, car nous avons vu qu'il paraît exister une lacune entre les grès de Taveyannaz et les Flysch plus internes. Peut-être l'étude attentive des grès de Taveyannaz du versant méridional du Pelvoux (Champsaur) qui passent graduellement vers l'Est à un Flysch plus ancien, permettra-t-elle de jeter un peu de lumière sur ces questions difficiles (VUAGNAT, 1949 b). Il est en tous cas raisonnable de supposer qu'à la suite d'un sursaut orogénique la portion de l'édifice alpin supportant les coulées s'est mise en marche vers l'extérieur de la chaîne, soit qu'elle fut poussée par des éléments plus internes, soit que, plus simplement, elle glissa sous l'effet de son propre poids.

Les coulées déracinées sont bientôt la proie d'une érosion violente et leurs débris comblent peu à peu l'avant-fosse qui les précède, sans doute est-ce leur avance qui détermine la migration de cette fosse. Nous voyons réapparaître, sous forme de débris dans les sédiments grossiers de ce bassin, les roches des couches que nous venons de voir s'édifier, mais l'ordre de la succession est inverse. Ce sont les laves qui se sont mises en place en dernier, qui sont les premières victimes de l'érosion.

L'époque du dépôt des grès de Taveyannaz II et III est caractérisée par la destruction de la partie supérieure de l'édifice volcanique. Le rivage sud ou sud-est de la mer du Flysch nordhelvétique est alors une terre presque entièrement constituée d'épaisses coulées d'andésites ou de spilites à augite et hornblende fraîches qui recouvrent une grande partie des spilites albitochloritiques du type C et cachent sans doute entièrement les pillow lavas. Notons que la sédimentation des grès de Taveyannaz typiques avec ses alternances souvent assez régulières de bancs de grès et de lits schisteux (type Glaris de DE QUERVAIN) est encore du type de la sédimentation caractéristique du Flysch tel que l'a définie J. TERCIER (1947), tandis que la sédimentation des grès du Val d'Illiez fera déjà penser à celle de la Molasse.

Peu à peu cependant l'érosion atteint des couches plus profondes; les spilites albitochloritiques subaériennes fournissent une part toujours plus grande de l'apport volcanique, on arrive ainsi à l'époque du dépôt des grès de Taveyannaz IV où les andésites et spilites à éléments ferromagnésiens frais semblent avoir disparu. Comme le lit des cours d'eau les plus profonds a déjà pénétré dans le soubassement des coulées ou, par l'effet de l'érosion régressive, a atteint ce qu'il y avait derrière elles, cette disparition est en quelque sorte compensée par une venue de plus en plus importante de matériel éruptif profond et de matériel sédimentaire.

L'époque du dépôt des grès du Val d'Illiez succède à l'époque précédente lorsque l'érosion ramène au jour les coulées en coussins enfouies sous le puissant édifice des coulées subaériennes dont il ne reste plus que quelques lambeaux appartenant aux spilites albitochloritiques. Le rivage interne de la mer du

Flysch nordhelvétique s'est donc passablement modifié. Les roches volcaniques n'en forment plus qu'une partie réduite, ce qui explique le fait que l'apport volcanique est tombé de 90 % à 10-20 %. En revanche, de nombreuses autres roches affleurent, en particulier des cherts et des radiolarites plus ou moins étroitement liés aux pillow lavas. Le matériel éruptif acide est fourni soit par une crête des massifs hercyniens, crête que devaient traverser les fleuves charriant les débris d'origine plus interne, soit par un massif cristallin accompagnant l'élément des diabases et des radiolarites et constituant une sorte de lambeau avant-coureur du cristallin des Austrides.

Mais l'érosion poursuit inéluctablement son œuvre. Bientôt les grands gisements de pillow lavas sont réduits à quelques restes insignifiants; l'apport volcanique tend vers zéro; en Suisse centrale et orientale, à l'époque du dépôt des grès de Matt-Gruontal, il semble même cesser complètement. Le rivage interne de la mer du Flysch est une terre dont les affleurements sont très variés, une terre profondément entaillée ayant depuis longtemps subi les atteintes de l'érosion. Les radiolarites, cherts divers, spongolites affleurent sur de vastes surfaces. Peut-être ces roches siliceuses ne sont-elles pas identiques à celles qui ont été érodées au moment du dépôt des grès du Val d'Illiez. Ces dernières associées aux pillow lavas, sont peut-être d'âge crétacé, tandis que les fragments des grès de Matt-Gruontal peuvent provenir de gisements jurassiques plus puissants. Le Trias de l'élément tectonique des coulées ou celui d'une unité franchement austro-alpine est atteint, il fournit un gros apport de fragments calcaires ou dolomitiques. En certains points le cœur même de ces unités internes est à nu, ainsi s'expliquent les nombreux galets de roches granitiques et de micaschistes à muscovite des conglomérats du Gruontal.

L'époque du dépôt des grès et conglomérats de Matt-Gruontal semble donc caractérisée par l'apparition en force des Austrides sur la scène alpine. Auparavant nous n'observions que des signes avant-coureurs de ces nappes dont le bord externe disparaissait sans doute sous d'énormes coulées de lave.

Les événements semblent suivre un cours quelque peu différent en Suisse occidentale. La destruction des coulées en coussins progresse moins rapidement; d'autre part cette époque, située à la limite du Lattorfien et du Stampien, semble correspondre à une légère accalmie de l'activité orogénique. La sédimentation plus fine et plus régulière de sables calcaires possédant une faible teneur en débris volcaniques s'effectue dans une mer ayant des caractères lagunaires marqués; ces sables deviendront les grès gris («grès de Massongex») des couches de passage du Flysch à la Molasse. Ce n'est qu'un peu plus tard que disparaît l'apport d'éléments volcaniques, lors du dépôt des niveaux grossiers de la Molasse du Val d'Illiez et des poudingues du Mont Pélerin, à ce moment l'ancienne mer du Flysch est devenue un lac et les conditions climatiques régnant sur les Alpes naissantes ont probablement changé (couleurs vertes et rouges des couches molassiques).

Nous avons tenté de réunir en une image dynamique des essais de reconstitutions paléogéographiques correspondant à diverses époques. Il nous reste encore à attirer l'attention du lecteur sur divers points de manière à préciser cette image.

La variation de la nature de l'apport détritique se fait dans un sens déterminé caractérisé par une différenciation et une hétérogénéisation de plus en plus marquée (fig. 24). A l'Ouest une dominante sédimentaire s'impose progressivement, tandis qu'à l'Est cette tendance est tempérée par la destruction de puissants massifs cristallins. Cet apport de matériaux qui comble l'avant-fosse correspond à la disparition de parties de plus en plus importantes de l'arrière-pays. Au début nous avons une énorme unité tectonique recouverte d'une bourrelet de laves; dans la suite une partie de cette unité reste en arrière, nous en retrouvons des restes aux confins du Pennique et de l'Austroalpin; en Engadine, à Arosa, dans l'Oberhalbstein, au Mont Genève, en Corse. Une autre partie se détache et glisse rapidement vers l'avant-pays, ce sont certains éléments de nos Préalpes supérieures: Brèche et Simme, qui ne tardent pas à être découpés en gros lobes par l'érosion.

Il nous faut maintenant insister sur le fait que le sillon de la mer du Flysch n'a pas simplement traversé le domaine nordhelvétique en se propageant comme une ondulation, les reliefs élevés restant immobiles à l'arrière. En effet, si tel avait été le cas, les fleuves débouchant dans cette mer auraient nécessairement traversé les dépôts plus anciens en les remaniant, on trouverait des éléments de grès de Taveyannaz dans les grès du Val d'Illiez; d'autre part, la mer se serait rapidement envasée, les fragments de roches volcaniques et de radiolarites seraient devenus de plus en plus petits au fur et à mesure

de l'allongement des cours d'eau. Nous savons que tel n'a pas été le cas, les dépôts latorfiens sont souvent plus grossiers que ceux de l'Eocène supérieur. On est donc contraint d'admettre que l'élément tectonique qui donnera naissance aux Préalpes recouvrait graduellement ses propres débris, les soustrayait ainsi à l'érosion et faisait fonction de rivage permanent.

Nous avons vu que l'apport volcanique, représenté par les fragments diabasiques, prend fin, tant en Suisse centrale et orientale (grès de Matt-Gruontal) qu'en Suisse occidentale (poudingues du Mont Pélerin). Or variolites et diabases réapparaissent en France (KILIAN, 1915) comme en Suisse (VUAGNAT, 1944 c) dans les Nagelfluh burdigaliennes et surtout tortoniennes, dans certains conglomérats pliocènes ou pleistocènes et dans les alluvions récentes de quelques cours d'eaux alpins (Rhin, Durance). Cette disparition suivie d'une récurrence est assez énigmatique. Faut-il admettre que les diabases et variolites des Molasses proviennent d'unités tectoniques plus profondes que celles qui contenaient les roches volcaniques des grès du Val d'Iliez? Il se pourrait aussi que ces roches correspondent à la destruction d'éléments vraiment préalpins déjà individualisés par rapport aux éléments penniques supérieurs restés en arrière qui, eux, auraient fourni les fragments de la seconde venue d'ophiolites diabasiques.

Jetons enfin un dernier regard en arrière vers la région d'où est parti l'élément tectonique supportant les coulées andésitiques et spilitiques. Est-il concevable qu'une activité volcanique si puissante se soit arrêtée si brusquement et n'ait pas laissé de traces. Sans doute les complications structurales extraordinaires dues au paroxysme alpin et l'action destructive du métamorphisme rendent toute recherche bien aléatoire. Et cependant deux sortes d'indices au moins jalonnent les lieux où cette activité s'est manifestée. Tout d'abord ces curieux filons de porphyrites et d'andésites signalés depuis longtemps par les géologues italiens dans la zone du Canavese et réétudiés récemment par P. WALTER (1950, p. 116); il pourrait peut-être s'agir des conduits d'amenée ayant fourni la lave des coulées andésitiques. Puis les massifs granodioritiques post-alpins (Biella, Traversella, Bergell) qui seraient le résultat du dernier grand acte de cette activité éruptive alpine. On rejoint ainsi les hypothèses d'ARGAND (1916) et de R. STAUB (1920, p. 23) sur l'origine des roches volcaniques des grès de Taveyannaz.

## Chapitre XIX

### Résumé. Problèmes

#### § 1. Résumé des points acquis concernant le Flysch nordhelvétique

1° **Composition.** On peut distinguer trois grands groupes de grès souvent microbréchiques:

- a) Les grès de Taveyannaz caractérisés par une grande abondance d'andésites altérées, de spilites à augite et hornblende fraîches, de spilites albito-chloritiques.
- b) Les grès du Val d'Iliez, plus polygéniques que ceux de Taveyannaz, caractérisés par une quantité encore notable de fragments de spilites albito-chloritiques, de diabases spilitiques à structures sphérolitique fibroradiée, arborescente ou intersertale divergente, de chloritites, de cherts et de radiolarites.
- c) Les grès de Matt-Gruontal, parfois grossièrement conglomératiques, caractérisés par l'absence de roches volcaniques basiques et par un matériel polygénique cristallin et sédimentaire (en particulier radiolarites, cherts, spongolites).

2° **Répartition.** Les grès de Taveyannaz se trouvent, en Suisse, principalement dans la région des Diablerets, dans le Kiental et le Kandertal, dans le Schächental et dans les Alpes glaronnaises, principalement entre Linth et Sernf. Les grès du Val d'Iliez sont concentrés dans les secteurs suivants: Val d'Iliez et soubassement de la Dent de Morcles, Engelberg, Schächental, Alpes glaronnaises. Les grès de Matt-Gruontal, inconnus en Suisse occidentale, ne se rencontrent que dans la vallée de la Reuss et dans celle de la Sernf.

**3° Stratigraphie.** Le dépôt du Flysch nordhelvétique a commencé au Priabonien supérieur et s'est terminé au début du Stampien. La succession: grès de Taveyannaz, grès du Val d'Illiez (grès d'Altdorf inférieurs), grès de Matt-Gruontal (grès d'Altdorf supérieurs) s'observe lorsque l'on monte dans la série stratigraphique et lorsque l'on se dirige des zones plus internes vers les zones plus externes.

**4° Origine** des éléments détritiques. L'origine de beaucoup de fragments de roches formant les microbrèches du Flysch nordhelvétique est encore énigmatique. Dans l'ensemble ces roches ne se rencontrent que dans les parties internes des Alpes. Les fragments de diabases, de cherts et de radiolarites des grès du Val d'Illiez proviennent sans doute de la zone limite entre le Pennique et l'Austroalpin et des Préalpes supérieures. Les roches à faciès andésitiques n'ont jamais été retrouvées en place, on peut cependant supposer qu'elles proviennent de coulées apparentées aux pillow lavas, probablement plus récentes. Maintes roches des grès de Matt-Gruontal ont des affinités très méridionales, parfois même dinariques.

## § 2. Les enseignements du Flysch nordhelvétique

L'étude du Flysch nordhelvétique nous donne certains renseignements possédant une valeur générale et intéressant la géologie alpine dans son ensemble.

1° Le Flysch nous renseigne sur la nature et l'allure de la fosse représentant le reste du géosynclinal alpin à demi comblé. Il nous apprend que cette fosse était en mouvement vers l'avant-pays et nous permet de nous faire une idée de son profil, de l'extérieur vers l'intérieur de la chaîne: vaste plate-forme à sédimentation de caractère épicontinental («orthoquartzites») s'abaissant brusquement vers le sillon assez profond des marnes schisteuses à Globigérines; remontée rapide vers un talus à sédimentation de caractère orogénique (grauwackes) bordé par une cordillère à relief sans doute accidenté.

2° Le Flysch nous parle aussi de la nature de cette cordillère, gigantesque radeau recouvert, au début tout au moins, de laves, glissant vers l'avant-pays, et dont les Préalpes supérieures sont des restes minimes. Ces Préalpes se sont donc mises en place en surface comme l'ont suggéré LUGEON et GAGNEBIN (1941) en se fondant sur d'autres arguments; l'érosion due à des fleuves de plus en plus puissantes les attaquant aux points faibles modifiait lentement leur allure au cours de ce cheminement.

3° Enfin le Flysch jette quelque lumière sur l'époque plus lointaine où se préparaient les Alpes. Il nous révèle l'ampleur insoupçonnée des gisements de radiolarites et de cherts et surtout des coulées spilitiques en coussins dont nous ne retrouvons en Suisse que quelques maigres lambeaux ayant échappé à l'érosion et au métamorphisme. Les grès de Taveyannaz témoignent en outre que les roches volcaniques subaériennes post-triasiques, inexistantes aujourd'hui dans les Alpes, formaient jadis des coulées puissantes de nature spilitique ou andésitique.

## § 3. Problèmes

Le Flysch nordhelvétique pose, nous l'avons vu, d'innombrables problèmes; on trouvera mention ci-dessous de ceux, à notre avis, les plus intéressants.

1° Etude détaillée des galets des rares niveaux conglomératiques signalés dans le Flysch: à Heuberg (Kandertal), au Burggraben (Kiental), aux Hoh Faulen (Schächental), au Muttensee en ce qui concerne les grès de Taveyannaz; dans le Val d'Illiez (La Berte, La Pâle, La Poya) pour les grès du type Val d'Illiez; dans le Gruontal et sur rive gauche de l'Urnersee (ANDEREGG, 1940) pour le groupe des grès de Matt-Gruontal.

2° Etude détaillée de la lithologie des sédiments du Flysch: granulométrie, corrélation entre la granulométrie et la composition; structures telles que graded bedding, current bedding, slumping, etc.

3° Etude des lits schisteux du Flysch par tous les moyens à notre disposition (analyses chimiques, observations micrographiques, analyses röntgenographiques).

4° Etude des phénomènes de diagénèse qui ont déterminé le faciès moucheté de certains grès de Taveyannaz et leurs pseudo-galets (Muttensee, Champsaur).

5° Etude de la tectonique propre au Flysch. Tectonique de détail, microtectonique, orientations privilégiées des minéraux, distribution des zones d'écrasement, schistosité.

6° Etude des lambeaux de Flysch nordhelvétique entraînés sous les Préalpes bordières ou se trouvant dans le Flysch subalpin de la Suisse centrale (FURRER, 1949; MORNOD, 1949). Cette étude permettrait peut-être de savoir si les lacunes que nous observons actuellement entre les grands gisements de Flysch nordhelvétique sont primaires ou secondaires; elle pourrait être complétée par la recherche de galets de grès du Flysch dans les Nagelfluh.

7° Etude des couches équivalentes au Flysch nordhelvétique dans les Alpes françaises d'une part, dans les Alpes autrichiennes d'autre part. Dans ce dernier cas, il ne peut guère s'agir que de lentilles prises dans le Flysch subalpin.

8° Etude des relations entre la composition pétrographique des grès du Flysch nordhelvétique et la composition pétrographique des niveaux molassiques anciens d'une part, des grès sud- ou ultra-helvétiques d'autre part.

Tel apparaît donc le rôle du Flysch, et en particulier du Flysch nordhelvétique, dans notre effort pour mieux connaître l'histoire des Alpes. C'est un milieu qui a enregistré, avec bien des défaillances sans doute, d'une manière directe ou indirecte, certains faits parmi les plus essentiels de cette histoire. A nous de déchiffrer ce document qui promet plus qu'il n'a déjà donné, et de suppléer à ses lacunes en lisant entre les lignes.

## English Summary

The North-Helvetic Flysch is found, in Switzerland, in a zone extending from the Autochton to the lower Nappes of the High Calcareous Alps, i. e. the Morcles and Diablerets Nappes (see COLLET, 1935). This Flysch is formed by beds of shales (Dachschiefer) and sandstones with intercalations of microbreccias. The first part of this Memoir is essentially concerned with the study of these microbreccias.

### Petrology (Part I)

The study of the fragments of rocks forming the microbreccias enables us to distinguish the following three groups of Flysch sandstones:

**A. The «Grès de Taveyannaz».** The petrology of these sandstones is well known (see DE QUERVAIN, 1928). They are very rich in fragments of volcanic rocks (up to 95 per cent). These rocks have the typical porphyritic textures of andesites with felsitic, vitrophyric or microlitic groundmass. However their constitution is not quite that of true andesites, except in some «Grès de Taveyannaz» of the French Alps (type I). We find the following mineral associations: albite, augite and (or) hornblende (type II), altered plagioclase rich in secondary calcic silicates (clinozoïsite, epidote, prehnite) with altered augite and (or) hornblende (type III), albite and chlorite (type IV). The fragments of types II and IV belong to the spilitic suite.

**B. The «Grès du Val d'Iliez».** The microbreccias of this group are less rich in fragments of volcanic origin. They contain some «andesitic» spilites with albite and chlorite. We find also pieces of a very interesting group of spilitic rocks with intersertal, intersertal divergent (radiating), arborescent spherulitic and variolitic textures (see VUAGNAT, 1946); grains of almost isotropic chloritic rocks (chloritite) are quite common too. The non volcanic fragments are either of acid eruptive origin (granites, crushed quartz, aplites, albitites, granophyres, rhyolites) or of sedimentary origin (limestones and dolomitic limestones, sandstones, quartzites, shales, cherts and radiolarian cherts). The cementing material of the «Grès du Val d'Iliez» is mostly calcite; it is rather scarce. The grains are poorly rounded (angular or sub-angular) and poorly sorted as in typical graywackes.

**C. The «Grès de Matt-Gruontal».** These sandstones do not contain fragments of basic volcanic rocks. They are formed by fragments of acid eruptive rocks (see above), of metamorphic rocks (gneiss, micaschists) and of sedimentary rocks. The latter are mostly dolomitic limestones and siliceous rocks such as cherts, cherts with calcite rhombohedra, radiolarian cherts, spongolites. The cementing material of these sandstones is calcite, it may be rather abundant or, in some cases, very scarce (sandstones with arkosic facies).

Tables X and XI give the results of the planimetric integration of 51 thin slides of various microbreccias of the North-Helvetic Flysch. The analyses were conducted on the Hurlbut counter stage. The diagrams No. 24 and No. 25 give a synthetic view of these results. On the other hand the more interesting types of rocks, the fragments of which are found in the microbreccias, are figured either in the drawings No. 1-19, 22-23 or in the microphotographs.

### Field description (Part II)

Part II of the Memoir deals with the description of the main deposits of North-Helvetic Flysch. These are in the Swiss Alps (see the schematic map of fig. 26):

**«Grès de Taveyannaz»:** Taveyannaz-Diablerets region, Lizerne Valley, smaller outcrops between the river Lizerne and the river Kander (Gsteig, Val d'Olden, Sanetsch Pass, basement of the Wildstrubel),

the Kandertal and the Kiental, a thin zone extending, between the Doldenhorn Nappe and the Wildhorn Nappe, from the Sefinenfurgge (Bernese Oberland) to the Trübsee above Engelberg, the Schächental, the High Calcareous Alps of the Glarnerland, smaller outcrops between the Sernf Valley and the Rhine Valley.

«Grès du Val d'Iliez»: The basement of the Dents du Midi, the basement of the Dent de Morcles, a small outcrop under the Mettenberg above Grindelwald, the region of Engelberg, the Schächental, the Linth and the Sernf Valleys (Glarner Oberland).

«Grès de Matt-Gruontal»: The sandstones of this group are found only in the Reuss Valley (Gruontal Conglomerates) and in the Sernf Valley.

### Tectonic, Stratigraphy and Paleogeography (Part III)

The data collected in parts I and II enable us to propose certain views and hypotheses concerning the whole of the North-Helvetian Flysch.

We observe the following succession *a*) from the inner zones to the outer zones of the North-Helvetian domain, *b*) from the older to the younger beds:

«Grès de Taveyannaz II» → «Grès de Taveyannaz IV» → «Grès du Val d'Iliez» → «Grès de Matt-Gruontal» → Molasse. However, in the Western part of Switzerland, we do not find the «Grès de Matt-Gruontal», there the Flysch gives gradually way to the Molasse; the transition zone is formed by the «Grès de Massongex» (= Grès de Vaulruz) which contain a brackish fauna of Cyrenidae and Cardiidæ. We must notice that the apparition of the «Grès de Taveyannaz» is quite sudden and that there seems to be a gap between the «Grès de Taveyannaz» of the back of the Diablerets Nappe and the Flysch of the Ultra-Helvetian Nappes.

There is an almost complete lack of fossils in the North-Helvetian Flysch. However, some Nummulites and Orthophragmines (Discoeyclines) have been found in the «Grès de Taveyannaz II». Making use of this fact and of indirect data it is reasonable to admit that the sedimentation of the Flysch began at the end of the Priabonian (Upper Eocene) and ended at the beginning of the Stampian (Lower Middle Oligocene); therefore the greater part of the Flysch is of Lattorfian age (Lower Oligocene).

The origin of the fragments of rocks constituting the microbreccias is often unknown. The spilites with radiating, arborescent or variolitic textures are certainly fragments of pillow lavas; some of the chloritites at least, have the same origin, they represent the matrix separating the pillows. Flows of pillow lavas have been found in the Alps: *a*) in the Upper Prealps; *b*) in a zone forming the border between the Pennine and the Lower Austro-alpine Nappes, i. e. the Grisonides (see VUAGNAT, 1946). Cherts and radiolarian cherts similar to those found as fragments in the Flysch often accompany the Alpine pillow lavas.

The origin of the porphyritic rocks is more obscure; the reason of this is that we have not found remnants of such lavas in the Western Alps. Many geologists have studied this problem without great success. However three facts are either quite sure or at least very probable: 1. The «Grès de Taveyannaz» are no tuff, there is no indication that the spilitic or andesitic eruptions were contemporaneous with the deposit, for instance we observe no shards; these sandstones are normal detritic rocks. 2. The river transporting the volcanic fragments flowed from the inner to the outer zones of the Alps (that is from South-East to North-West). 3. The albite and some of the chlorite of the porphyritic spilites are of primary origin. This third fact shows that the only difference between the spilitic pillow lavas and the albite-chloritic spilites of «andesitic» appearance is a difference in textures. The same magma flowed under water, on the sea-bottom, in the former case, and on land in the latter.

We are now able to propose a tentative paleogeographic representation in order to explain the formation of the North-Helvetian Flysch. We shall distinguish two phases.

**A. The formation of the volcanic flows.** Towards the end of the Cretaceous period, after the Austrian phase of STILLE, great flows of pillow lavas ran on the bottom of the alpine geosyncline in an inner zone of the chain. These pillow lavas were associated with cherts and other sedimentary rocks. At the same

time, or a little later on, porphyritic spilites with albite and chlorite flowed on the shore of the sea. It is probable that, following an emergence, the same lava flowed on top of the pillows. Later on the volcanic eruptions gave birth to thick layers of albite-augite and albite-hornblende spilitic pseudo-andesites and in some cases to true andesites or basalts. These lavas covered the earlier products of the volcanic activity.

**B. The erosion of the volcanic flows.** Towards the beginning of the Tertiary, the part of the Alps supporting the great lava flows, was detached from its foundation and began to glide towards the Foreland. In the Priabonian the flows began to be eroded. The rocks reappeared in an order which was the reverse of the order of their formation. First the augite-(hornblende-)spilites (Grès de Taveyannaz II), then the albite-chloritic porphyritic spilites («Grès de Taveyannaz IV») and later on the pillow lavas («Grès du Val d'Illiez»). At the same time the proportion of volcanic fragments diminished; at the beginning the whole shore of the sea and most of the basins of the rivers were formed by volcanic rocks, gradually these rivers carved their bed and got to the basement of the lavas, i. e. to sedimentary and acid eruptive rocks.

It is of paramount importance to grasp that, as the Peri-Alpine trough, remnant of the Alpine geosyncline, was migrating towards the Foreland, the tectonic unit supporting the lava flows followed it, making therefore a permanent shoreline. This fact had two results: Firstly, the fragments of volcanic rocks did not get smaller and smaller as time went on, they retained the same size; secondly, the tectonic unit rode over its own débris and kept them from a further erosion, and in some cases passed them. Effectively we find now the Upper Prealps, remnants of the big tectonic element, on the outer rim of the North-Helvetian domain. This shows that the Prealps were not thrust under a mighty cover of sediments, but glided on the surface towards the Foreland and were continually eroded during this travel. This view is in agreement with the views of other authors (see LUGEON et GAGNEBIN, 1942) using quite different data.

Lastly we shall try to grasp what happened when the Peri-Alpine trough arrived in some zone of the North-Helvetian domain:

1. Before this arrival the sedimentation had an epicontinental trend with deposits of limestones and quartz-rich sandstones of the ortho-quartzite series (see KRYNINE, 1948; PETTJOHN, 1949).
2. On the arrival of the trough there was a sudden deepening of the sea marked by deposits of Globigerina marls (Stadschiefer).
3. After that the sea became gradually less deep. The sedimentation had a geosynclinal trend with deposits of graywackes: true graywackes in the case of the «Grès du Val d'Illiez», rather abnormal graywackes (very rich in volcanic fragments) in the case of the «Grès de Taveyannaz». This sedimentation lasted either till the emergence of the sea bottom, or till the arrival of the tectonic raft of the Prealps, or till the beginning of the sedimentation of the Molasse (subgraywacke).

This succession of three stages was not everywhere contemporaneous. The more external the zone, the more recent the arrival of the Peri-Alpine trough.

## Index alphabétique des noms géographiques

Les noms les plus connus ont été omis.

Signification des colonnes:

- I = Nom géographique.  
 II = Nature du lieu: pas d'indications = village, hameau, alpe, lieu dit, etc.; r = rivière, torrent, vallée; s = sommet, crête, éminence.  
 III = Canton où se trouve le lieu mentionné.  
 IV = Carte géologique où se trouve le lieu mentionné (voir Bibliographie).  
 V = Coordonnées kilométriques de la carte Siegfried. Il s'agit soit des coordonnées du lieu lui-même, soit des coordonnées d'une des lettres du nom (caractère gras).  
 VI = Page où le nom est mentionné (lorsqu'il y a plusieurs mentions, nous avons indiqué la plus importante d'entre elles).

*Remarque:* Le but de cet index n'est pas d'indiquer l'endroit exact où les spécimens ont été récoltés, mais simplement de faciliter aux lecteurs la consultation des cartes.

I	II	III	IV	V	VI
Abefêt	r	Vaud	LUGEON (1940a)	575,2/126,0	53
<b>Aesch</b>		Uri	W. STAUB (1911b)	705,3/191,3	p*
<b>Angistock</b>	s	Uri	ARBENZ (1918)	685,4/188,3	61
<b>Anzeindaz</b>		Vaud	LUGEON (1940a)	578,4/126,5	53
<b>Appengrubrun</b>	r	Glaris	OBERHOLZER (1942)	717,0/195,5	68
<b>Attinghausen</b>		Uri	W. STAUB (1911b)	690,1/191,1	62
<b>Auf der Burg</b>		Berne	LUGEON (1910)	587,9/136,5	55
<b>Auf der Rüti</b>		Uri	W. STAUB (1911b)	698,4/190,9	65
<b>Avançon</b>	r	Vaud	LUGEON (1940a)	576,8/126,2	53
<b>Aveina</b>		Valais	LUGEON (1940a)	584,2/123,1	53
<b>Badöni</b>		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	745,6/202,4	71
Berte		Valais	GAGNEBIN (1934c)	550,3/110,9	49
Birre		Berne	KREBS (1925b)	619,9/151,1	56
Bolzbach		Uri	BUXTORF, etc. (1916)	688,0/194,7	60
<b>Borna</b>		Vaud	LUGEON (1940a)	578,4/129,0	54
<b>Böschrüti</b>		Uri	BUXTORF, etc. (1916)	688,0/193,9	p
Bretelay	col	Valais	GAGNEBIN (1934c)	550,3/110,3	49
<b>Brügg</b>		Uri	W. STAUB (1911b)	694,7/192,4	66
<b>Brünli</b>		Berne	KREBS (1925b)	632,5/155,1	58
<b>Brünnital</b>	r	Uri	W. STAUB (1911b)	701,2/188,5	65
<b>Bundalp</b>		Berne	KREBS (1925b)	624,9/153,8	56
<b>Burggraben</b>	r	Berne	ADRIAN (1914b)	620,7/160,0	57
Chaux Ronde	s	Vaud	LUGEON (1940a)	575,2/127,0	54
<b>Chiètres</b>	plateau	Vaud	GAGNEBIN (1934c)	567,6/120,5	51
Clarides	s	Glaris-Uri	OBERHOLZER (1942)	708,7/191,0	64
<b>Cretian</b>	r	Valais	GAGNEBIN (1934c)	561,0/119,2	50
<b>Creux de Champs</b>	cirque	Vaud	LUGEON (1940a)	138,9/130,0	54
Croix de l'Aiguille	s	Valais	GAGNEBIN (1934c)	555,3/116,3	49
<b>Culand</b>	cirque	Vaud	LUGEON (1940a)	577,6/130,0	54
Culet	s	Valais	GAGNEBIN (1934c)	554,2/114,0	49

\*p = légende des illustrations.

I	II	III	IV	V	VI
Cou	col	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	550,1/111,2	49
Coin	s	Vaud	LUGEON (1940 <i>a</i> )	576,3/127,3	54
Croix des Chasseurs	s	Valais	LUGEON (1910)	611,4/134,2	55
Dardeus	s	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	562,1/114,3	49
Diestal		Glaris	OBERHOLZER (1942)	722,3/200,3	69
Drausinaz		Vaud	LUGEON (1937)	169,7/120,2	p
Durnachtal	r	Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,3/197,3	69
Dürrenberg	s	Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	627,0/153,9	56
Ebnet Alp		Unterwald	ARBENZ (1918)	680,2/184,3	61
Eggberge		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	692,0/195,0	66
Eggenmännli	s	Unterwald	ARBENZ (1918)	684,9/187,3	62
Emaney	col	Valais	COLLET, etc. (1951) <sup>1)</sup>	562,7/107,6	49
Engi		Glaris	OBERHOLZER (1942)	730,6/204,8	70
Engi Hinterdorf		Glaris	OBERHOLZER (1942)	731,2/203,9	70
Erbsalp		Glaris	OBERHOLZER (1942)	727,0/196,0	68
Fätsch	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	697,5/189,9	65
Fluh		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	702,0/190,3	65
Frittertal	r	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	702,2/191,5	65
Fürklikopf	s	Grisons	OBERHOLZER (1920)	758,3/202,7	72
Fürrenalp		Unterwald	ARBENZ (1918)	678,4/184,2	61
Gafarratobel	r	St-Gall	OBERHOLZER (1920)	746,3/207,1	71
Geissberg	s	Unterwald	ARBENZ (1918)	675,1/183,6	61
Giebel		Glaris	OBERHOLZER (1942)	722,6/196,0	44
Giebelstöcke	s	Uri	ARBENZ (1918)	687,3/189,5	61
Giettes		Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	563,7/119,2	50
Griesalp		Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	624,7/155,0	56
Grosses Scheerhorn	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	706,1/187,3	65
Gruonberg		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	691,6/195,9	61
Gruonmatt		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	693,8/196,0	66
Gruontal	r	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	691,8/196,7	66
Gruonwald	forêt	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	692,3/194,1	66
Gsteig		Berne	LUGEON (1910)	587,0/137,1	55
Gufelbach	r	St-Gall	OBERHOLZER (1920)	745,4/205,3	71
Guttet		Valais	LUGEON (1910)	617,5/130,3	44
Heuberg		Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	621,2/150,5	57
Hoh Faulen	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	696,3/187,3	65
Hohtürli	col	Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	625,1/151,4	56
Hohturnen	s	Berne	GÜNZLER-SEIFFERT (1938)	647,5/162,5	59
Holdenbach	r	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	694,8/193,0	66
Holzboden		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	697,9/191,8	65
Hörnli	s	Berne	GÜNZLER-SEIFFERT (1938)	645,5/160,2	59
Hübeln		Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	626,5/153,7	57
Ilettes		Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	564,0/121,5	50
Im Läger		Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	620,7/150,1	57
Isental		Uri	BUXTORF etc. (1916)	685,3/196,2	61

<sup>1)</sup> L. W. COLLET, AUG. LOMBARD, N. OULIANOFF, ED. PARÉJAS, M. REINHARD (1951): Feuille 525 Finhaut. — Atlas géologique de la Suisse, 1:25 000. L'édition définitive de cette feuille a paru pendant l'impression de ce mémoire.

I	II	III	IV	V	VI
Javerne	s	Vaud	LUGEON (1937)	570,5/119,4	51
Javerne		Vaud	LUGEON (1937)	570,9/120,5	51
Jochstock	s	Unterwald	ARBENZ (1911)	673,1/180,4	59
<b>Kalbertross</b>		Glaris	OBERHOLZER (1942)	722,6/198,5	69
Kammerstock	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	716,1/194,5	68
<b>Kilchenstock</b>	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	719,8/196,6	68
<b>Kistenpass</b>	col	Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,9/187,4	70
<b>Kistenstöckli</b>	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	719,5/186,3	67
<b>Krauchbach</b>	r	Glaris	OBERHOLZER (1942)	735,5/203,3	70
<b>Krauchtal</b>	r	Glaris	OBERHOLZER (1942)	733,8/202,2	70
<b>Kühbodenruns</b>	r	Glaris	OBERHOLZER (1942)	730,3/199,2	69
<b>Langenbalm</b>		Berne	ARBENZ (1911)	660,4/174,9	60
Latvina		vallée du Gufelbach (voir ce nom).			
<b>Laubersgrat</b>		Unterwald	ARBENZ (1911)	673,5/182,6	60
<b>Lavey</b>		Valais	LUGEON (1937)	567,7/118,7	51
Lochseite		Glaris	OBERHOLZER (1942)	725,7/206,6	67
<b>Luex Puetcenet</b>	r	Vaud	LUGEON (1940a)	579,9/130,3	54
Massongex		Valais	GAGNEBIN (1934c)	565,3/121,3	50
<b>Mastrils</b>		Grisons	OBERHOLZER (1920)	760,2/204,0	72
<b>Matt</b>		Glaris	OBERHOLZER (1942)	732,2/202,6	70
<b>Mauvoisin</b>	bassin	Valais	GAGNEBIN (1934c)	565,3/116,9	49
<b>Mels</b>		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	750,9/212,3	71
<b>Mex</b>		Valais	GAGNEBIN (1934c)	565,8/114,9	49
<b>Montbas</b>		Valais	LUGEON (1940a)	584,7/125,9	52
Monteluna	s	St-Gall	OBERHOLZER (1920)	752,7/201,3	71
Morcles		Vaud	LUGEON (1937)	568,8/117,8	51
<b>Muttensee</b>	lac	Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,7/191,5	68
Muttenstock	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	722,5/190,0	68
<b>Nant</b>	r	Vaud	LUGEON (1937)	573,9/120,9	52
<b>Nüschentock</b>	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,7/192,0	68
<b>Nussfruttli</b>		Uri	ARBENZ (1918)	685,8/188,5	61
<b>Obbord</b>		Glaris	OBERHOLZER (1942)	718,6/194,4	68
<b>Oberfeld</b>		Uri	W. STAUB (1911b)	695,9/189,7	65
<b>Ober-Lammerbach</b>		Uri	W. STAUB (1911b)	702,5/187,9	65
<b>Ober-Oeschinen</b>		Berne	KREBS (1925b)	622,8/151,0	57
<b>Oeschinen Schafberg</b>		Berne	KREBS (1925b)	622,0/151,2	57
<b>Oeschinensee</b>	lac	Berne	KREBS (1925b)	621,8/149,8	56
Olden		Berne	LUGEON (1910)	585,2/133,2	55
<b>Oldenbach</b>	r	Berne	LUGEON (1910)	585,1/132,6	55
<b>Orgières (Les)</b>		Valais	GAGNEBIN (1934c)	565,1/116,2	p
Pâle		Valais	GAGNEBIN (1934c)	560,1/117,4	49
Perri Blanc		Vaud	LUGEON (1940a)	575,8/124,7	74
Pfäfers <b>Bad</b>		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	755,8/204,4	72
Plambuit		Vaud	LUGEON (1937)	567,9/119,3	51
Poya		Valais	GAGNEBIN (1934c)	550,9/112,2	49
Preserman		Vaud	LUGEON (1940a)	578,7/130,2	54
Preserman	s	Vaud	LUGEON (1940a)	578,4/130,3	54

I	II	III	IV	V	VI
<b>Raflliweid</b>	forêt	Berne	GÜNZLER-SEIFFERT (1933)	620,0/160,6	57
<b>Ragol</b>		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	756,2/204,1	72
<b>Raspille</b>	r	Valais	LUGEON (1910)	607,5/133,4	56
<b>Rayes</b>		Vaud	LUGEON (1940 <i>a</i> )	577,5/129,6	54
<b>Reichenbach</b>	r	Berne	ARBENZ (1911)	656,8/173,8	60
<b>Restiberg</b>		Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,3/198,0	44
<b>Richetlipass</b>	col	Glaris	OBERHOLZER (1942)	724,0/195,4	68
<b>Riedertal</b>	r	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	695,3/191,3	65
<b>Rionde</b>		Vaud	LUGEON (1937)	570,7/117,0	51
<b>Rochers du Van</b>	s	Vaud	LUGEON (1940 <i>a</i> )	575,5/126,9	54
<b>Rossetan-Bonavau</b>		Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	556,7/110,9	50
<b>Rothegg</b>	s	Unterwald	ARBENZ (1911)	674,9/181,9	60
<b>Rüchi</b>		Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,6/192,5	68
<b>Saasberg</b>	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	721,7/198,3	69
<b>St-Barthélemy</b>	r	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	566,0/114,2	49
<b>San Loretto</b>		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	694,6/192,4	66
<b>Sässliköpfen</b>		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	747,0/208,6	71
<b>Sattelhörner</b>	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	702,9/186,3	64
<b>Schlossberg</b>	s	Unterwald	ARBENZ (1918)	682,8/184,5	60
<b>Schwarze Fluh</b>	s	Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	624,6/152,4	57
<b>Schwarz Mönch</b>	s	Berne	COLLET et PARÉJAS (1928)	637,2/155,8	58
<b>Schwarzstöckli</b>	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	698,7/186,0	64
<b>Seedorf</b>		Uri	BUXTORF, etc. (1916)	689,3/193,2	62
<b>Seelital</b>	r	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	703,3/191,5	65
<b>Sefinenfurgge</b>	col	Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	628,4/153,4	56
<b>Sépay</b>	r	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	562,4/199,8	50
<b>Sex Rouge</b>	s	Valais	LUGEON (1910)	587,5/129,1	55
<b>Six Trembloz</b>	s	Vaud	LUGEON (1937)	572,6/114,9	51
<b>Solalex</b>		Vaud	LUGEON (1940 <i>a</i> )	576,7/126,3	53
<b>Soy</b>	s	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	559,7/115,3	50
<b>Spiringen</b>		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	698,3/192,2	65
<b>Stierenbach</b>	r	Unterwald	ARBENZ (1918)	681,3/185,7	60
<b>Sulzbach</b>	r	Unterwald	ARBENZ (1918)	675,8/183,0	62
<b>Sulzruns</b>	r	Glaris	OBERHOLZER (1942)	732,2/199,3	69
<b>Sulztal</b>		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	698,1/190,7	65
<b>Sur Crête</b>		Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	557,3/118,1	49
<b>Surenenpass</b>	col	Uri-Unterwald	ARBENZ (1918)	684,3/187,8	62
<b>Taveyannaz</b>		Vaud	LUGEON (1940 <i>a</i> )	575,6/128,1	53
<b>Thal</b>		Berne	KREBS (1925 <i>b</i> )	632,4/154,2	58
<b>Trubeln</b>	alpe	Valais	LUGEON (1910)	610,9/136,0	55
<b>Trübsee</b>	lac	Unterwald	ARBENZ (1911)	672,6/182,8	60
<b>Trudelingen</b>		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	695,7/192,6	66
<b>Trudelingerwald</b>	forêt	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	695,5/192,2	66
<b>Tsanfleuron</b>	glacier	Valais	LUGEON (1910)	589,5/130,0	55
<b>Tsaperron</b>		Valais	BONNARD (1927)	585,3/123,2	52
<b>Untere Kühbodenalp</b>		Glaris	OBERHOLZER (1942)	730,8/199,4	44
<b>Vadura</b>		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	755,9/202,5	72
<b>Valayre</b>	s	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	561,5/116,1	49
<b>Valentine</b>		Vaud	LUGEON (1937)	567,9/121,7	51
<b>Valerette</b>	s	Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	562,5/117,4	50

I	II	III	IV	V	VI
<b>V</b> arnerkumme		Valais	LUGEON (1910)	609,6/134,0	56
<b>V</b> érossaz		Valais	GAGNEBIN (1934 <i>c</i> )	565,2/118,0	47
<b>V</b> ielle ( <b>L</b> a)		Valais	LUGEON (1910)	588,2/130,2	55
<b>V</b> ierschrot	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	695,2/191,9	66
<b>V</b> ilters		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	753,0/210,1	72
<b>V</b> indels		St-Gall	OBERHOLZER (1920)	753,6/200,6	71
<b>V</b> orstegstock	s	Glaris	OBERHOLZER (1942)	720,5/193,6	69
<b>W</b> ängi		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	696,9/190,8	66
<b>W</b> eidthal		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	696,1/190,4	66
<b>W</b> espen	s	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	702,8/188,5	65
<b>W</b> ilerlital	r	Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	696,7/191,5	66
<b>W</b> indeggen		Uri	W. STAUB (1911 <i>b</i> )	702,8/192,2	64
<b>Z</b> anuztobel	r	St-Gall	OBERHOLZER (1920)	754,2/205,5	71
<b>Z</b> ayettazhorn	s	Valais	LUGEON (1910)	611,1/134,3	55

PLANCHES

## Légende Planche I

- Photo 1. Plaque 25/26 (collection DE QUERVAIN). Galet de **spilite albito-chloritique** à structure vitrophyrique récolté dans les grès de Taveyannaz du Nüschenstock s/Muttensee (Glaris). Gross. 30 ×. N ×. Phénocristaux d'albite dans une masse de fond formée de chlorite isotrope; très rares microlites d'albite.
- Photo 2. Pl. 2168. Base de l'arête sud-ouest du Nüschenstock s/Muttensee. Grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure felsitique fine. Gross. 87 ×. N ×. Phénocristaux d'albite (clairs); phénocristal de minéral ferromagnésien chloritisé (obscur).
- Photo 3. Pl. 1421'. Nant d'Abefêt près de Solalex (Vaud). Grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure hyalopilitique fine. Gross. 55 ×. N ×. Grands phénocristal d'albite dans une pâte chloritique contenant de très petits microlites de feldspath.
- Photo 4. Pl. 1421. Nant d'Abefêt près de Solalex (Vaud). Grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure hyalopilitique grossière. Gross. 53 ×. L. N. Notez l'absence de deux générations bien distinctes de cristaux d'albite.
- Photo 5. Pl. 201<sub>2</sub>. La Pâle, Val d'Illicz. Grès du Val d'Illicz. **Spilite albito-chloritique** à structure hyalopilitique grossière. Gross. 44 ×. N ×. Notez qu'il n'existe pas deux générations bien distinctes de cristaux d'albite. Ces derniers, généralement maclés sur (010), possèdent une section allongée. On observe une légère tendance vers un arrangement subfluidal.
- Photo 6. Pl. 1442. Nant d'Abefêt s/Solalex (Vaud). Grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure hyalopilitique grossière fluidale. Gross. 55 ×. N ×. Notez l'arrangement parallèle des cristaux d'albite qui ne se répartissent pas en deux générations bien distinctes.
- Photo 7. Pl. 820. Versant gauche du Schächental entre Unterschächen et Aesch. Grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure pilotaxique fine. Gross. 52 ×. N ×. Notez un phénocristal d'albite maclé selon Karlsbad.
- Photo 8. Pl. 590. Riedertal, Schächental. Grès du Val d'Illicz passant à un grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure pilotaxique grossière ou foliacée. Gross. 87 ×. N ×. Notez l'enchevêtrement des gros microlites d'albite.
- Photo 9. Pl. 783. Riedertal, Schächental. Grès du Val d'Illicz se rapprochant d'un grès de Taveyannaz IV. **Spilite albito-chloritique** à structure trachytique fine. Gross. 53 ×. N ×. Rares phénocristaux d'albite dans une pâte contenant d'innombrables petits microlites feldspathiques. Arrangement parallèle des microlites et des phénocristaux.



Photo 1

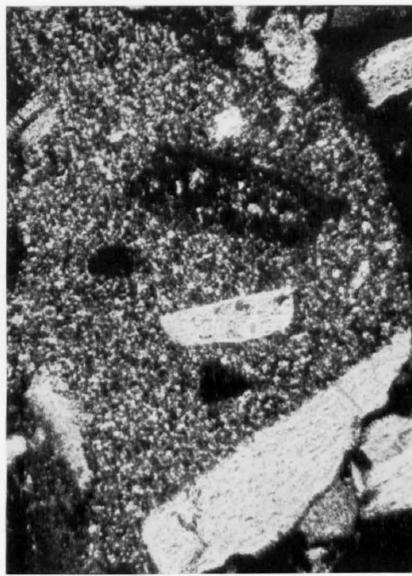


Photo 2



Photo 3

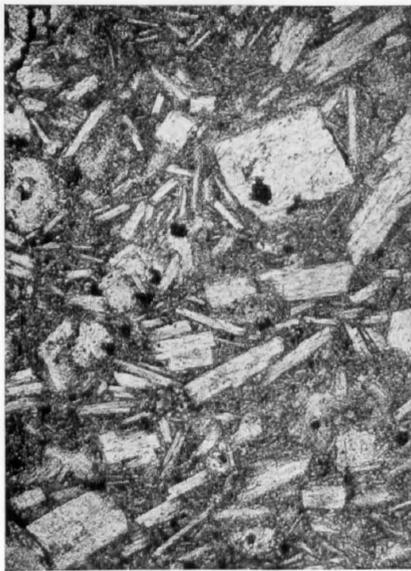


Photo 4



Photo 5



Photo 6

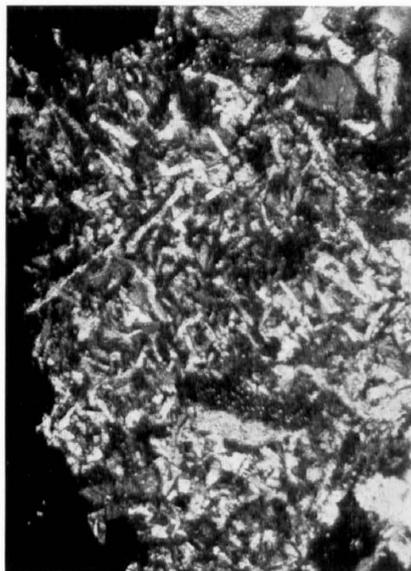


Photo 7



Photo 8

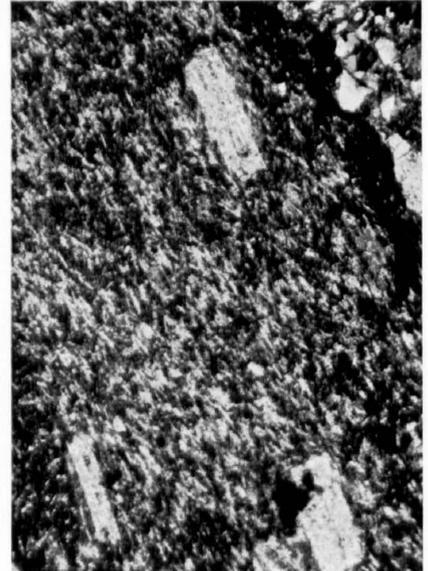


Photo 9

## Légende Planche II

- Photo 10. Plaque 805. Fätsch, versant droit du Riedertal, Schächental. Grès de Taveyannaz II *b*. **Spilite albito-chloritique** à structure trachytique grossière. Gross. 84 ×. N ×. Notez l'extrême abondance des cristaux d'albite.
- Photo 11. Pl. 8987. Cours supérieur de la Raspille s/Sierre. Grès de Taveyannaz II. Phénocrystal **d'augite** dans spilite à structure hyalopilitique. Gross. 80 ×. N ×. Notez la forme caractéristique de la section (section droite du prisme), les clivages à angle droit et les lamelles de macles parallèles à (100).
- Photo 12. Pl. 987<sub>1</sub>. Rochers du Van s/Taveyannaz (Vaud). Grès de Taveyannaz II. Phénocrystal de **hornblende** dans spilite felsitique. Gross. 62 ×. L. N. Notez la forme caractéristique de la section avec ses clivages.
- Photo 13. Pl. 1231. Kühbodenruns, Sernftal. Grès du Val d'Illiez passant à un grès de Taveyannaz IV. Phénocrystal de **hornblende chloritisée** dans spilite albito-chloritique à structure felsitique grossière. Gross. 62 ×. L. N. Notez la forme caractéristique de la section de hornblende (section droite du prisme), le bord du cristal est souligné d'un liséré opaque, sauf vers le bas où on observe des traces de corrosion. Notez aussi les sections de phénocristaux d'albite contenant parfois des inclusions chloritiques.
- Photo 14. Pl. 978. Rochers du Van s/Taveyannaz. Grès de Taveyannaz IV. **Diabase albito-chloritique** à structure intersertale. Gross. 50 ×. N ×.
- Photo 15. Pl. 4497. Sentier les Orgières-Mex, Valais. Grès du Val d'Illiez. **Diabase albito-chloritique** à structure intersertale divergente. Gross. 56 ×. N ×. Notez les sections très allongées et à contours irréguliers des cristaux d'albite qui se détachent sur le fond sombre représentant la pâte chloritique.
- Photo 16. Pl. 1265. Fritttert. Schächental. Grès du Val d'Illiez. **Diabase albito-chloritique** à structure arborescente grossière. Gross. 54 ×. N ×. Tache noire = chlorite.
- Photo 17. Pl. 420. Les Giettes s/Monthey. Grès du Val d'Illiez. **Diabase albito-chloritique** à structure arborescente. Gross. 47 ×. L. N.
- Photo 18. Pl. 420. Les Giettes s/Monthey. Grès du Val d'Illiez. **Diabase albito-chloritique** à structure arborescente. Gross. 47 ×. N ×. Notez une belle gerbe de fibres feldspathiques et une mince veinule remplie d'albite.



Photo 10



Photo 11



Photo 12

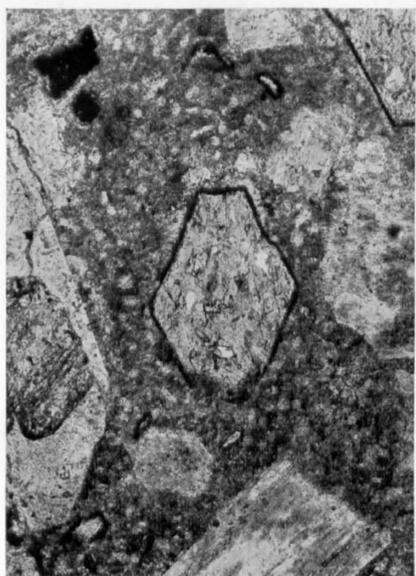


Photo 13



Photo 14



Photo 15



Photo 16



Photo 17



Photo 18

### Légende Planche III

- Photo 19. Plaque 424. Les Giettes s/Monthey. Grès du Val d'Illiez. **Diabase albito-chloritique** à structure sphérolitique fibroradiée. Gross. 51 ×. N ×.
- Photo 20. Pl. 1403. Rionde s/St-Maurice. Grès du Val d'Illiez. **Sphérolite fibroradié** provenant d'une diabase albito-chloritique à structure sphérolitique fibroradiée. Gross. 50 ×. N ×.
- Photo 21. Pl. 1397. Rionde s/St-Maurice. Grès du Val d'Illiez. **Diabase albito-chloritique** à structure intersertale étoilée. Gross. 54 ×. L. N. Notez les extrémités fourchues des microlites feldspathiques farcis de minuscules inclusions de chlorite.
- Photo 22. Pl. 780. Riedertal, Schächental. Grès du Val d'Illiez. **Chloritite**. Gross. 51 ×. L. N. Notez le réseau de fines veinules remplies de minéral opaque.
- Photo 23. Pl. 712<sub>2</sub>. Croix de Javerne. Grès du Val d'Illiez. **Chloritite**. Gross. 32 ×. N ×. Notez la forme bizarre du fragment et l'isotropie totale de la substance.
- Photo 24. Pl. 1316. Crête dominant le versant droit du Riedertal. Grès du Val d'Illiez. **Serpentine** (?). Gross. 88 ×. N ×. Notez la structure en rubans.
- Photo 25. Pl. 711<sub>2</sub>. Croix de Javerne. Grès du Val d'Illiez. **Variolite**. Gross. 52 ×. L. N. Notez les sphérolites fibroradiés feldspathiques (gris foncé) entourés de la matrice chloritique (claire) contenant des agrégats de minéral semi-opaque (noirs).
- Photo 26. Pl. 2220. Kalbertross, Diesbachtal, versant droit de la vallée de la Linth. Grès du Val d'Illiez. **Porphyre quartzifère**. Gross. 53 ×. N ×. Notez le phénocrystal pyramidé de quartz en grande partie corrodé et la pâte felsitique plus fine près du phénocrystal.
- Photo 27. Pl. 1278. Fluh s/Unterschächen, Schächental. Grès du Val d'Illiez. **Porphyre globulaire** passant à granophyre. Gross. 50 ×. N ×. Notez la structure rayonnée des éponges quartzo-feldspathiques.

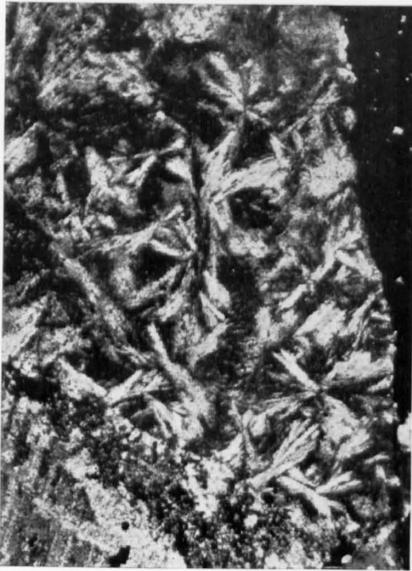


Photo 19



Photo 20



Photo 21



Photo 22



Photo 23



Photo 24



Photo 25

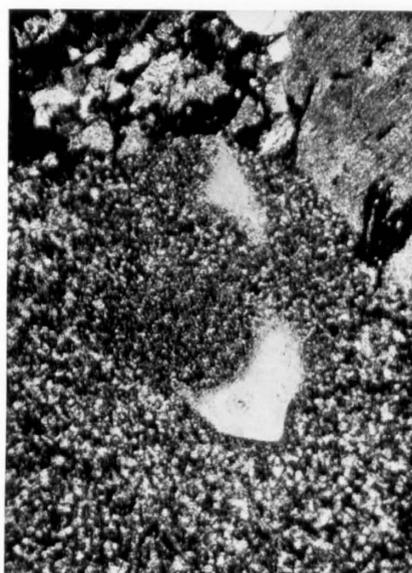


Photo 26



Photo 27

## Légende Planche IV

- Photo 28. Plaque Mex'. Au-dessus de Mex (Valais). Grès du Val d'Iliez. **Microgranite**. Gross. 32 ×. N ×. Notez un phénocrystal de feldspath potassique perthitique maclé selon Karlsbad et (en haut à droite) un phénocrystal de quartz.
- Photo 29. Pl. 829. Schächental. Grès du Val d'Iliez. **Aplite** ou **pegmatite micrographique**. Gross. 74 ×. N ×. Interpénétration d'une plage de quartz (gris clair) et d'albite (gris foncé).
- Photo 30. Pl. 2061. Sentier de Drausine, sous l'Ultrahelvétique, face ouest de la Croix de Javerne. Grès du Val d'Iliez. **Plagioclase** (albite). Gross. 58 ×. N ×. Notez les fines lamelles de macles (albite, plus rarement acline) des cristaux isométrique d'albite traversés par une veinule carbonatée.
- Photo 31. Pl. 2612. Plambuit près Lavey (Vaud). Grès du Val d'Iliez, variété «Plambuit». Agrégat polycristallin de **quartz**. Gross. 31 ×. N ×. Notez les contours sinueux et, par endroits, indentés des plages de quartz.
- Photo 32. Pl. 2223. Kalbertross, Diesbachtal, versant droit de la vallée de la Linth. Grès de Tavayannaz IV se rapprochant d'un grès du Val d'Iliez. **Quartz** à structure diaprée. Gross. 54 ×. N ×. Notez les belles stries de Böhm.
- Photo 33. Pl. 775. Carrière de Böschrüti, rive gauche de l'Urnersee. Grès de Matt-Gruontal. **Quartz laminé** ou **quartzite** métamorphique. Gross. 51 ×. N ×.
- Photo 34. Pl. «Gruontal». Gruontal, rive droite de l'Urnersee. Conglomérat du Gruontal. **Calcaire** grenu très probablement dolomitique. Gross. 59 ×. L. N. Notez la forme isométrique des plages de carbonate souvent idiomorphes.
- Photo 35. Pl. 4111. Gruontal, rive droite de l'Urnersee. Grès de Matt-Gruontal. **Calcaire oolitique** probablement dolomitique. Gross. 53 ×. L. N. Notez les oolites à structure concentrique et le fond recristallisé.
- Photo 36. Pl. 2052<sub>1</sub>. Sentier de Drausine, base du Flysch, face ouest de la Croix de Javerne. Grès du Val d'Iliez. **Radio-larite**. Gross. 56 ×. L. N. Notez les restes de spicules visibles sur le bord des sections de radiolaires.



Photo 28



Photo 29



Photo 30

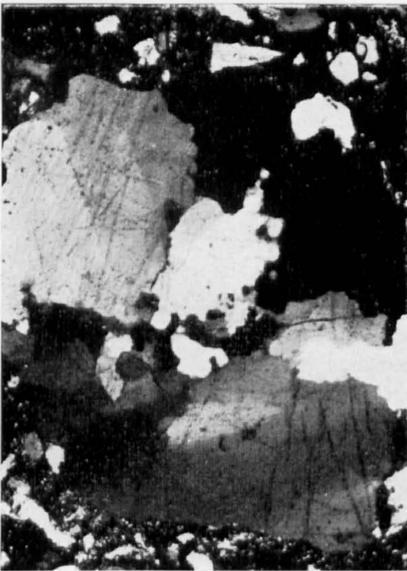


Photo 31



Photo 32



Photo 33

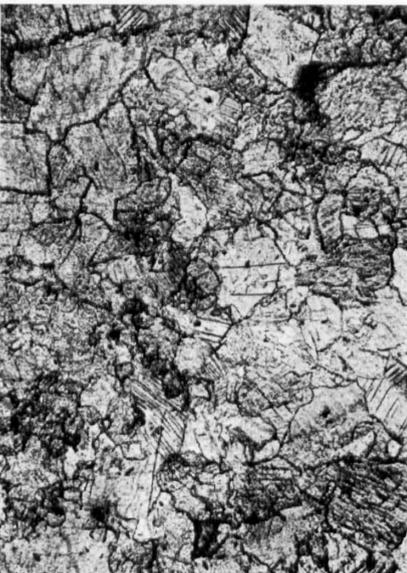


Photo 34

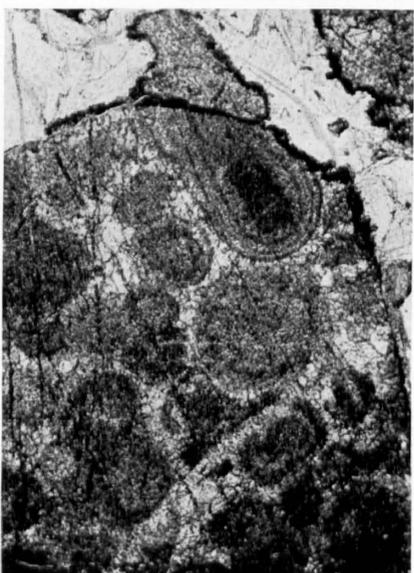


Photo 35

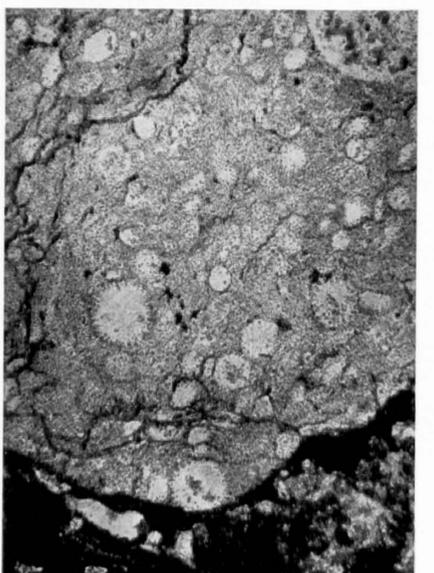


Photo 36

## Légende Planche V

- Photo 37. Plaque 9. Sur Crête s/Val d'Illiez. Grès du Val d'Illiez. **Chert** à rhomboèdres de carbonate (ankérite probable). Gross. 54 ×. L. N. Les sections des rhomboèdres sont sombres, car le carbonate est en partie limonitisé.
- Photo 38. Pl. 774. Seedorf, versant gauche de la vallée de la Reuss. Grès de Matt-Gruontal. **Chert** à rhomboèdres de carbonate. Gross. 78 ×. N ×. Notez quelques sections de rhomboèdres de carbonate et de fines veinules carbonatées traversant une masse presque isotrope.
- Photo 39. Pl. 4153. En dessous de Auf der Rüti, Schächental. Grès du Val d'Illiez. **Spongolite rousse**. Gross. 76 ×. N ×. Les sections des spicules sont plus claires que le fond quasi isotrope.
- Photo 40. Pl. 754. Carrière de Matt, Sernftal. Grès de Matt-Gruontal. **Spongolite siliceuse**. Gross. 56 ×. L. N. Notez les formes variables des sections de spicules (rectangulaires, elliptiques ou circulaires).
- Photo 41. Pl. 774. Böschrüti, versant gauche de la vallée de la Reuss. **Sphérolites siliceux fibroradiés**. Gross. 32 ×. N ×. Notez les limites rectilignes de sphérolites.
- Photo 42. Pl. 987<sub>1</sub>. Rochers du Van s/Taveyannaz. **Grès de Taveyannaz II a**. Gross. 17 ×. L. N. Notez l'extrême abondance des fragments de roches volcaniques à faciès andésitique qui se touchent et donnent à ce grès micro-bréchiq ue l'allure d'une lave. Quelques petits grains de quartz épars (taches blanches).
- Photo 43. Pl. 967<sub>1</sub>. Sous Chaux Ronde de Taveyannaz, versant droit de la vallée de l'Avançon d'Anzeindaz. **Grès de Taveyannaz IV**. Gross. 17 ×. L. N. Notez plusieurs fragments de spilites albito-chloritiques dont un (centre) possède une structure hyalopilitique grossière, un fragment de grès glauconieux (à droite en haut), un fragment de quartz polycristallin (plage blanche).
- Photo 44. Pl. 420. Les Giettes s/Monthey. **Grès du Val d'Illiez**. Gross. 18 ×. L. N. Notez un fragment de spilite albito-chloritique du type C (en bas à droite), un fragment de diabase arborescente traversé par une fine veinule albitique (au milieu en bas), un fragment de diabase sphérolitique fibroradiée avec petits phénocristaux chloritisés (à gauche en haut), un fragment de roche siliceuse: radiolarite passant à spongolite (à droite en haut).
- Photo 45. Pl. 774. Böschrüti, versant gauche de la vallée de la Reuss. **Grès de Matt-Gruontal**. Gross. 17 ×. L. N. Notez un fragment de radiolarite (au milieu en haut), un fragment de calcaire probablement dolomitique (au centre), un fragment de grès fin (en bas), un fragment de spongolite (à gauche en dessous du calcaire dolomitique), deux agrégats polycristallins de quartz (plages blanches).

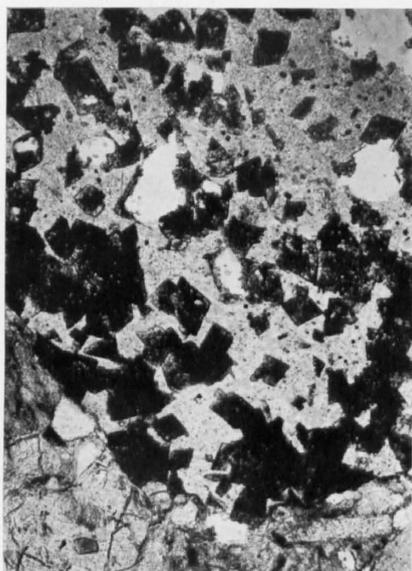


Photo 37

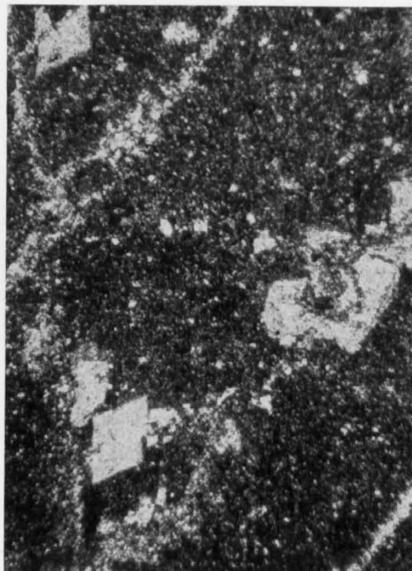


Photo 38

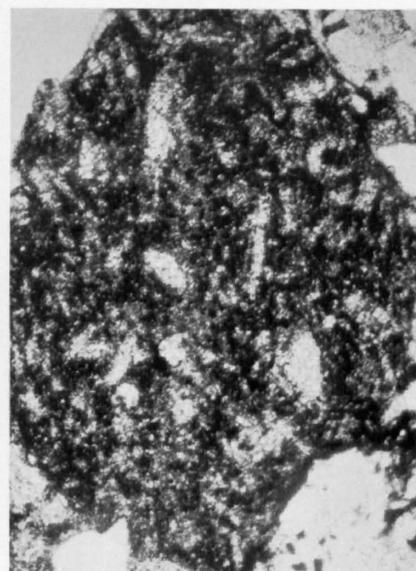


Photo 39



Photo 40



Photo 41

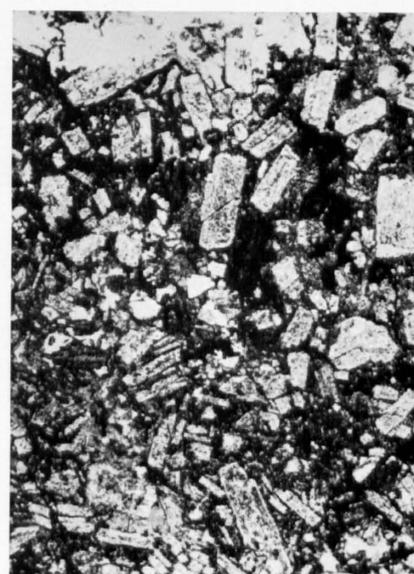


Photo 42



Photo 43

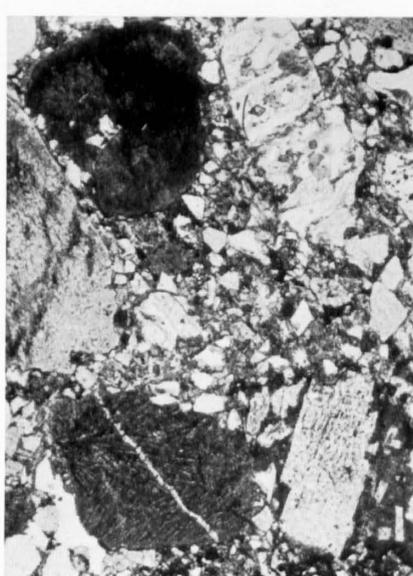


Photo 44

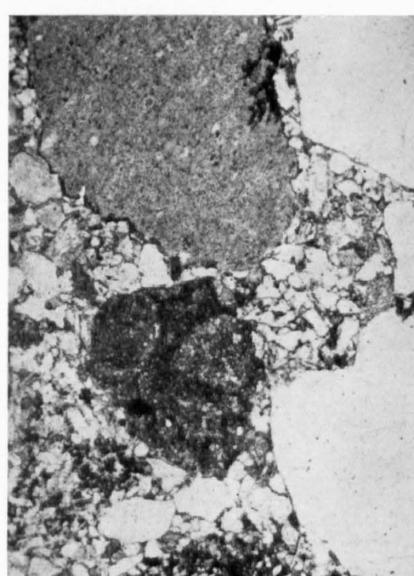


Photo 45