

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 55 (1962)
Heft: 1

Artikel: Géologie de la région de Lucens (Broye)
Autor: Briel, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-162921>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

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

Géologie de la région de Lucens (Broye)*)

Par Alfred Briel (Fribourg)

Avec 38 figures dans le texte et 2 planches (I et II)

TABLE DES MATIÈRES

Summary	193
Avant-propos	193
Introduction	194
Situation	194
Aperçu topographique	195
Cartes	195
Historique	195

PREMIÈRE PARTIE

Le Tertiaire

Introduction	197
Puissance	197
<i>Chapitre I: La Molasse d'eau douce inférieure (Aquitaniен ?)</i>	197
Extension	197
Puissance et subdivisions	197
I. Lithologie	198
A. Les grès	198
B. Les marnes	199
II. Description des affleurements	199
III. La limite Molasse d'eau douce – Molasse marine	202
IV. Paléontologie et âge de la Molasse d'eau douce inférieure	202
V. Conditions de sédimentation	203
<i>Chapitre II: La Molasse marine supérieure (Burdigalien ?)</i>	204
Extension	204
Puissance	204
I. Pétrographie sédimentaire	204
A. Classification	204
1. Roches détritiques	204
2. Roches bioclastiques	206
B. Composition	207
1. Eléments détritiques	207
2. Eléments authigènes	207

*) Imprimé avec l'aide de la Fondation Dr Joachim de Giacomi de la S.H.S.N.

C. Texture	208
1. Taille	208
2. Forme	208
3. Arrangement	208
D. Structure	210
1. Stratification horizontale plane	210
2. Stratification horizontale ondulée	211
3. Stratification oblique	213
4. Stratification entrecroisée	218
5. Traces d'écoulement	222
6. Load casts	222
7. Galets exotiques	223
8. Galets marneux	223
9. Concréctions gréseuses	225
10. Nodules	225
11. Géodes	225
E. Pétrographie sédimentaire et faciès	226
1. Faciès des grès dallés	226
2. Faciès des grès plaquétés	227
3. Faciès des grès à ripple marks	227
4. Faciès des grès à stratification oblique	227
5. Faciès des grès à stratification entrecroisée	229
6. Faciès des grès à lentilles	229
7. Faciès des grès coquilliers	230
II. Stratigraphie	230
Faciès et subdivisions	230
A. La «Série des grès à stratification entrecroisée»	231
Caractères distinctifs	231
Affleurement type du ruisseau de Villeneuve	231
La transgression de la mer molassique supérieure	232
B. La «Série des grès à lentilles»	233
Caractères distinctifs	233
Description des affleurements	233
C. La «Série des grès coquilliers»	236
Caractères distinctifs	236
La coupe du R. des Parquets	236
Le faciès coquillier: 1. grès à empreintes de Bivalves	238
2. grès lumachellique-lumachelle grésueuse	239
3. biostratonomie	240
4. conditions de sédimentation	240
5. signification paléogéographique	241
6. répartition stratigraphique	241
7. extension latérale	241
III. Paléontologie et âge de la Molasse marine supérieure	242
Introduction	242
1. Paléobotanique	243
2. Foraminifères	243
3. Traces d'organismes	244
4. Lamellibranches	245
5. Vertébrés	245
IV. Paléogéographie de la Molasse marine	245

<i>Chapitre III: Tectonique</i>	248
Caractères généraux	248
I. Les éléments plastiques	248
Méthode de travail	248
Description des structures	248
II. Les dislocations verticales	250
A. Les failles	250
B. Les fissures	252
III. Style tectonique	252
IV. Groupement régional des éléments structuraux	252

DEUXIÈME PARTIE

Le Quaternaire

La lacune Tertiaire supérieur – Quaternaire inférieur	253
Stratigraphie	254
<i>Chapitre I: Le Würm</i>	254
Extension et puissance	254
I. Les dépôts morainiques	255
Argile à blocs	255
Moraine informe	255
Moraine graveleuse	255
Moraine lavée	255
Drumlins	255
Blocs erratiques	256
II. Les dépôts fluvio-glaciaires	256
Introduction	256
Extension et puissance	256
1. Cônes de déjections	257
2. Terrasses	259
3. Placages	262
L'âge du complexe würmien	263
Cours épigéniques	263
<i>Chapitre II: La période postwürmienne</i>	264
I. Postwürm ancien: Les épisodes lacustres	264
Introduction	264
1. Le lac de 510 m	265
2. Le lac de 480 m	267
3. Le lac de 450 m	267
II. Postwürm récent: La période actuelle	267
Eboulements	267
Débris de pentes	268
Glissements; tassements	268
Cônes de déjections	268
Alluvions de la Broye	268
Eluvions	268
Tuf calcaire	269
Marais	269
Sources et captages	269
Matériaux de construction	269
Bibliographie	270

LISTE DES FIGURES ET DES PLANCHES

Fig. 1.	Plan de situation au 1:400 000. En hachures, la partie W de la Feuille «Romont»	194
Fig. 2.	Coupe dans la Molasse d'eau douce inférieure. Moulins de Granges	200
Fig. 3.	Coupe dans la Molasse d'eau douce inférieure. Carrière de Sassel	201
Fig. 4.	Coupe du contact Molasse d'eau douce inférieure/Molasse marine supérieure. Ruisseau de Villeneuve	202
Fig. 5.	Stratification horizontale plane. Molasse marine supérieure. Lucens	209
Fig. 6.	Coupe d'un affleurement de grès plaquetés. Molasse marine supérieure. R. de Seigneux	210
Fig. 7.	Stratification horizontale plane. Molasse marine supérieure. Ruisseau de Villeneuve	212
Fig. 8.	Stratification oblique diagonale. Grès coquillier. Aclex	214
Fig. 9.	Stratification oblique diagonale. Molasse marine supérieure. La Cerjaule . . .	214
Fig. 10.	Stratification de chenal. Molasse marine supérieure. Lucens	215
Fig. 11.	Chenal d'érosion remblayé. Molasse marine supérieure. Riod	216
Fig. 12.	Stratification entrecroisée. Molasse marine supérieure. Les Marchets	217
Fig. 13.	Croquis d'un affleurement à stratification entrecroisée. Molasse marine supérieure. La Cerjaule	218
Fig. 14.	Stratification oblique et entrecroisée. Molasse marine supérieure. Riau Gresin	219
Fig. 15.	Stratification entrecroisée à lentilles. Molasse marine supérieure. Pislevache	220
Fig. 16.	Stratification entrecroisée à lentilles. Molasse marine supérieure. Lucens . . .	221
Fig. 17.	Stratification entrecroisée à lentilles. Molasse marine supérieure. Au Devin . .	222
Fig. 18.	Affleurement de grès à galets marneux. Molasse marine supérieure. R. du Grau Pissiau	224
Fig. 19.	Faciès des grès dallés. Lucens	226
Fig. 20.	Faciès des grès à ripple marks. Riau Gresin.	227
Fig. 21.	Faciès des grès à stratification oblique. Lucens	228
Fig. 22.	Faciès des grès à stratification entrecroisée. Ruisseau de Villeneuve	228
Fig. 23.	Faciès des grès à lentilles. Lucens	229
Fig. 24.	Lumachelle gréseuse. Molasse marine supérieure. Aclex	230
Fig. 25.	Coupe lithostratigraphique schématique de la MMS des environs de Lucens . .	231
Fig. 26.	Coupe dans la Série des grès à stratification entrecroisée. Molasse marine supérieure. Ruisseau de Villeneuve.	232
Fig. 27.	Coupe dans la Série des grès à lentilles. Molasse marine supérieure. Ruisseau de Roche Cuennat	234
Fig. 28.	Coupe dans la Série des grès à lentilles. Molasse marine supérieure. Riau Gresin	235
Fig. 29.	Coupe dans la Série des grès à lentilles. Molasse marine supérieure. R. des Vaux	235
Fig. 30.	Coupe dans la Série des grès coquilliers. Molasse marine supérieure. R. des Parquets	237
Fig. 31.	Coupe dans le faciès coquillier (variété: grès à empreintes de Bivalves). Molasse marine supérieure. Carrière du Bois de Verrey	238
Fig. 32.	Coupe dans le faciès coquillier (variété: grès lumachellique). Molasse marine supérieure. Aclex	239
Fig. 33.	Coupe schématique de la MMS du Flon-Riod	242
Fig. 34.	Faile dans la Molasse marine. R. des Vaux	251
Fig. 35.	Cône de déjections fluvio-glaciaire. Retrait würmien. Lucens	257
Fig. 36.	Coupe des terrasses fluvio-glaciaires de Sassel-Granges. Retrait würmien . .	261
Fig. 37.	Sables et graviers fluvio-glaciaires stratifiés du retrait würmien. Gravière de Ménières	262
Fig. 38.	Le delta fossile de la Lembe. Postwürm ancien. Granges	265
Planche I.	Carte géologique de la région de Lucens. Echelle 1:25 000	274
Planche II.	Profils géologiques dans la région de Lucens. Echelle 1:25 000	274

SUMMARY

The region of Lucens, situated some 26 km NE of Lausanne and 16 km NW of the Alpine front, belongs to the Swiss Molassic basin. In this region outcrops a 560 m thick sequence of Tertiary strata covered by Quaternary deposits.

The Tertiary rock sequence is subdivided into: (1) a sandy-shaly, unfossiliferous formation representing the upper part of the Lower Fresh-water Molasse, which is assigned an Aquitanian age, and, overlying it, (2) a sandy, relatively fossiliferous formation representing the lower part of the Upper Marine Molasse, probably of Burdigalian age. Both formations generated in the perialpine trough and are the product of erosion of the Oligocene Alps.

To the Upper Marine Molasse is applied the analytic methods of sedimentary petrography. The sediments and sedimentary features are described and classified, and an attempt is made to interpret them genetically. This analysis leads to a definition of physiofacies and biofacies, which in turn are the key to a rock-stratigraphic subdivision of the formation into three members. A description of the paleontological evidence and a paleogeographic reconstitution underlining the paralic character of the sedimentation complete the study of the Upper Marine Molasse.

The tectonic picture of the region of Lucens is dated of the Pliocene and consists of gentle, SW-NE trending folds with minor faulting.

The Quaternary cover of the area is subdivided into: (1) morainic and fluvio-glacial outwash deposits of the Würm glaciation, and (2) lacustrine sediments of late post-Würm age and recent deposits.

AVANT-PROPOS

L'étude géologique de la région de Lucens m'a été proposée par M. le professeur J. TERCIER en été 1957. Au moment de présenter à mon Maître les résultats de mes recherches, je tiens à l'assurer de ma profonde gratitude pour la formation géologique qu'il m'a donnée. Ses conseils sur le terrain et au laboratoire, la confiance qu'il m'a témoignée en me nommant au poste de sous-assistant m'ont été d'un précieux secours.

Mes remerciements s'adressent aussi à MM. les professeurs R. LEBEAU et J.-P. MOREAU, de l'Institut de Géographie. Sous leur conduite, j'ai pu étudier la morphologie des dépôts glaciaires à divers endroits du Plateau et des Alpes suisses.

M. E. NICKEL, directeur de l'Institut de Minéralogie et Pétrographie, a eu l'amabilité de déterminer quelques blocs erratiques. Je lui sais gré de son aide.

M. L. PUGIN, privat-docent, m'a guidé dans le dépouillement de la littérature et a mis son expérience à ma disposition pour résoudre divers problèmes, tandis que M. J. KLAUS, micropaléontologue, prenait en charge l'étude des foraminifères. Je leur exprime ma reconnaissance pour leur collaboration éclairée.

Je remercie également M. J. P. PORTMANN, privat-docent à l'Université de Neuchâtel, qui m'a fait profiter de ses connaissances en Géologie du Quaternaire au cours d'une excursion en commun sur mon terrain de thèse.

L'illustration de ce travail a été confiée à M. G. PAPUAUX, préparateur à l'Institut de Géologie. C'est avec plaisir que je rends hommage au talent dont il a fait preuve.

En avril 1960, j'ai eu l'occasion de m'initier à la sédimentation actuelle sur les côtes néerlandaises. Je remercie le KONINKLIJKE/SHELL EXPLORATIE EN PRODUKTIE LABORATORIUM, à Delft, qui a pris en charge l'organisation de ces journées d'étude.

Enfin, je tiens à évoquer les fructueux échanges de vue que j'ai eus avec mes camarades d'étude, particulièrement avec MM. H. INGLIN, CH. EMMENEGGER, J. DUDLER et J. P. DORTHE.

Les frais d'impression de ce travail ont été en partie couverts par une subvention de la Fondation Dr JOACHIM DE GIACOMI de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, que je remercie de son appui financier.

Le manuscrit de ce travail,
la carte géologique et les profils originaux,
la collection de roches et de fossiles,
les coupes minces
et le catalogue de la collection sont déposés à l'Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

INTRODUCTION

Situation

La région étudiée dans la présente monographie se trouve au centre du bassin de la Broye, sur le Plateau suisse occidental. Elle est axée sur le bourg de Lucens, et correspond à la partie W de la Feuille 1204 «Romont» de la Carte nationale de la Suisse au 1:25 000 (fig. 1).

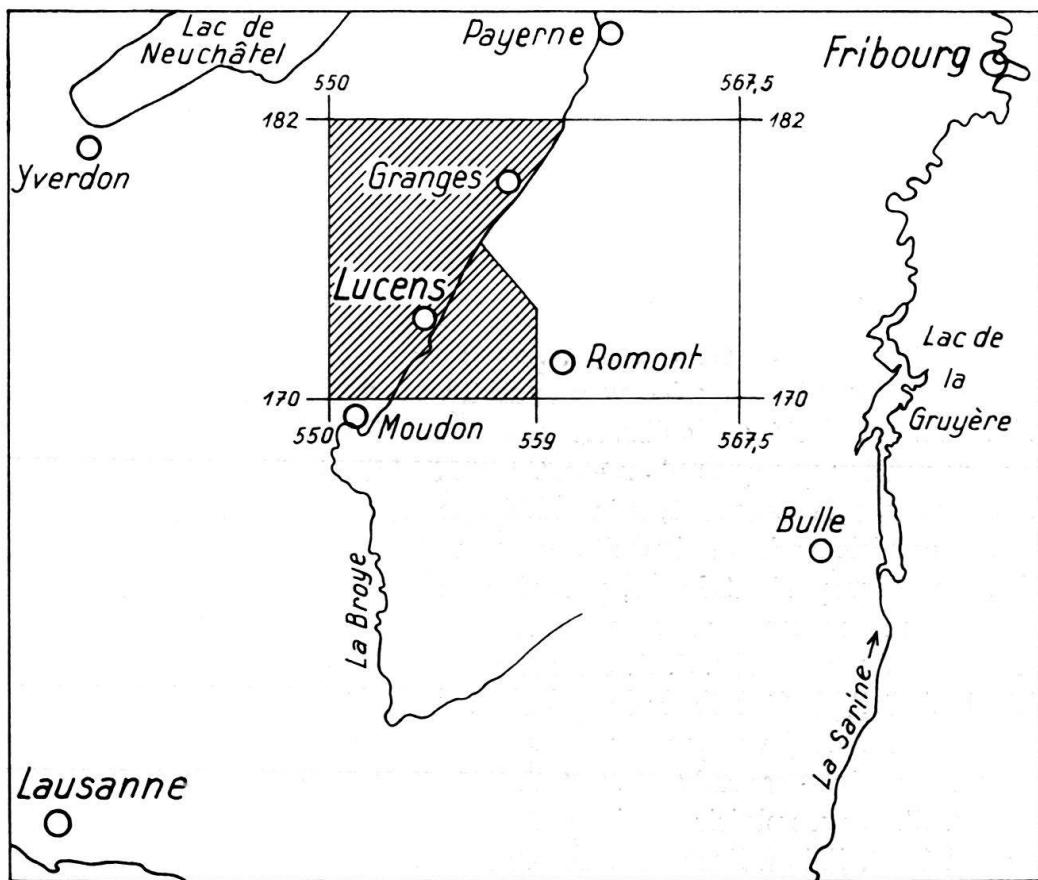


Fig. 1. Plan de situation au 1:400 000. En hachures, la partie W de la Feuille «Romont».

Les limites S, W et N du terrain prospecté coïncident avec celles de la carte; par contre, le tracé de la limite orientale résulte d'une entente avec H. INGLIN, qui a levé l'autre moitié de la Feuille «Romont».

Aperçu topographique

Le territoire ainsi délimité comprend trois unités morphologiques présentant la même orientation générale SW-NE du relief:

1. La vallée de la Broye. Elle revêt l'aspect d'une plaine alluviale rectiligne, d'environ 14 km de longueur, qui va en s'élargissant du SW (± 500 m) au NE ($\pm 1,5$ km à Granges). Les versants qui la bordent sont raides et dissymétriques, celui de la rive gauche étant le plus escarpé. La différence d'altitude entre la plaine et le premier épaulement dépasse 100 m.

2. La rive droite de la Broye forme un vaste talus descendant en cascade des hauteurs de Prévonloup-Lovatens. Le réseau hydrographique est fait de cours d'eau principaux coulant SE-NW ou S-N, et d'affluents parallèles aux grandes lignes du relief. Un petit territoire, entre Hennens et Bossens, dans l'angle SE de la carte, appartient au bassin de la Glâne, tributaire de la Sarine.

3. La rive gauche de la Broye voit se succéder, du S au N, trois bassins fluvia-tiles: celui de la Cerjaule, de la Lembe et de la Petite Glâne. Ces rivières ont la plus grande partie de leur cours parallèle à l'orientation générale du relief; leurs affluents, par contre, coulent NW-SE ou SE-NW.

Cartes

Voici les principales cartes topographiques figurant le terrain prospecté:

1. La Feuille XII (Fribourg-Berne) de la Carte topographique de la Suisse (Carte Dufour) au 1:100 000, édit. 1929.

2. Les Feuilles nos. 340 (Combremont), 341 (Châtonnaye), 342 (Lucens) et 343 (Romont) de l'Atlas topographique de la Suisse (Atlas Siegfried) au 1:25 000.

3. La Feuille 1204 (Romont) de la Carte nationale de la Suisse au 1:25 000, parue en 1956.

La partie occidentale de cette Feuille, agrandie à l'échelle du 1:10 000, a servi de base aux levés géologiques.

Parmi les cartes géologiques et tectoniques qui entrent en ligne de compte , ont paru:

1. En 1885, la carte géologique au 1:100 000 qui accompagne la «Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne», par V. GILLIÉRON.

2. En 1946, la Feuille 5 (Genève-Lausanne) de la Carte géologique générale de la Suisse au 1:200 000, publiée par la Commission Géologique.

3. En 1950, la Geologische Übersichtskarte des Schweizerischen Mittellandes zwischen Solothurn und Moudon, et la Tektonische Übersichtskarte..., toutes deux à l'échelle du 1:100 000, présentées par H. M. SCHUPPLI dans «Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, III. Teil, 8. Abschnitt».

Historique

Les observations géologiques les plus anciennes relatives au pays broyard remontent à 1789, date de parution d'une «Histoire naturelle du Jorat et de ses environs», due à la plume du comte G. DE RAZOUWOWSKY. La section première du tome II contient une description lithologique des rochers qui «constituent les hauteurs et la partie élevée» des bailliages de Moudon et de Payerne, rochers «formés...

en grande partie... d'un grès à gros grains ..., rempli de noyaux de Cames» (p. 41–42). La présence des noyaux de Cames semble d'ailleurs constituer l'unique intérêt géologique de la région, puisque «ces bailliages n'offrent... rien d'intéressant que les beaux cailloux roulés que charrie la Broye» (p. 42).

En 1885, paraît le 18e volume des Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse, consacré à la «Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne», par V. GILLIÉRON. Les pages 372 à 375 sont consacrées à la Molasse d'eau douce inférieure de la zone subjurassienne: «ce qui la distingue surtout de la molasse marine, ce sont les variations de couleur que présentent la plupart des bancs: ils sont panachés de verdâtre, de bleuâtre et de jaunâtre ou de roussâtre», alors qu'«un des caractères appartenant presque exclusivement à la molasse marine, c'est qu'elle présente assez fréquemment des stratifications entrecroisées» (p. 382). L'auteur souligne encore l'absence de discordance entre ces deux formations, et annonce qu'il n'a pas trouvé de fossiles, sauf «des Mollusques sur quelques points le long du Jura» (p. 375).

Au chapitre des «Dépôts quaternaires», GILLIÉRON distingue un «glaciaire informe ou glaciaire proprement dit» et un «glaciaire stratifié». A son avis, ces deux formes du «terrain quaternaire... sont synchroniques, car elles sont entremêlées de toutes les façons» (p. 422).

En 1897, M. LUGEON donne matière à une polémique sur l'hydrographie ancienne de la vallée de la Broye en soutenant qu'«immédiatement après le soulèvement alpin, le Rhône s'écoulait par la vallée morte d'Attalens, suivait le cours actuel de la Broie et se rendait ainsi par le lac de Morat dans le bassin du Rhin» (p. 2).

Cette opinion est aussi celle du géographe E. BÄRTSCHI (1913), alors que pour H. SCHARDT (1908), aucun argument scientifique n'appuie l'hypothèse d'un ancien écoulement du Rhône du Valais dans le bassin du Rhin.

En 1950, H. M. SCHUPPLI présente les résultats des recherches pétrolières effectuées par les experts de la PEK (Petroleumexpertenkommission) entre Soleure et Moudon. Se basant sur une identité de faciès avec la Molasse grise de Lausanne, dont l'âge aquitanien est prouvé par une faune de Mammifères, E. MEYER rattache les 145 m de Molasse grise de Lucens à l'Aquitaniens supérieur et la Molasse bariolée sous-jacente à l'Aquitaniens inférieur.

Par contre, J. KOPP, qui a également cartographié la vallée de la Broye entre Granges et Lucens, fait coïncider la coupure Burdigalien/Aquitaniens avec la limite Molasse grise/Molasse bariolée de MEYER. Aux yeux de SCHUPPLI, cette délimitation est plus logique que la précédente: en effet, rien ne prouve qu'au NE de Lausanne la Molasse grise soit encore aquitanienne. Au contraire, les restes de Mammifères découverts dans la Molasse grise de Châbles, près d'Estavayer, indiqueraient plutôt le Burdigalien inférieur.

La tectonique régionale a fait l'objet de deux publications, signées J. KOPP (1946) et H. M. SCHUPPLI (1950).

PREMIÈRE PARTIE

LE TERTIAIRE

Introduction

Le Tertiaire de la région de Lucens est représenté par la Molasse oligo-miocène, puissante série détritique résultant de l'accumulation, dans le sillon péricalpin, des produits de l'érosion des Alpes oligocènes.

Deux formations affleurent :

1. la *Molasse d'eau douce inférieure (MDI)*, qui se manifeste par son terme final, probablement d'âge aquitanien ;
2. la *Molasse marine supérieure (MMS)*. Cette formation est également incomplète; seules les couches inférieures, attribuées au Burdigalien, sont représentées.

Puissance

Sur les 1423,5 m de Molasse traversés par le sondage de Chapelle 1 (K. LEMCKE, 1959), implanté 4,65 km au SW de Neyruz¹), environ 560 m affleurent dans notre région.

CHAPITRE PREMIER

La Molasse d'eau douce inférieure (Aquitainien?)

Extension

La MDI affleure au NE du territoire étudié. On peut distinguer deux zones :

1. l'une, qui s'étend de Villeneuve à Granges, est axée sur le flanc NW de l'anticlinal de la Broye. Sa limite avec la Molasse marine peut être fixée avec précision, car le contact entre les deux formations est visible à Villeneuve, à 490 m d'altitude. Au NE, il n'affleure plus, mais la limite se dessine dans la morphologie par une rupture de pente due à l'inégale résistance des deux formations à l'érosion. Cette rupture de pente se déplace en accord avec la montée axiale de l'anticlinal de la Broye.

2. Environ 2 km au NW se développe l'anticlinal Cheiry-Sassel, responsable de l'affleurement d'une deuxième zone de Molasse d'eau douce qui va de Neirvaux à Ménières. Sa limite avec la Molasse marine est plus difficile à tracer, car le contact entre les deux formations est invisible. Elle coïncide probablement avec la rupture de pente qui se produit au-dessus des derniers affleurements typiquement d'eau douce.

Puissance et subdivisions

C'est aux environs de Sassel que la Molasse d'eau douce visible atteint sa plus grande épaisseur: 260 m.

Les conditions d'observation sont défavorables: des trois ruisseaux qui l'entaillement, aucun ne permet de lever une coupe lithostratigraphique continue. Pour cette raison, aucune subdivision n'a été tentée.

¹⁾ En dehors du terrain étudié.

I. Lithologie

Les roches de la MDI entrent dans la catégorie des sédiments détritiques. Deux groupes sont représentés: les grès et les marnes. Les grès forment l'essentiel des affleurements.

Comme la polychromie est généralement de règle parmi ces roches, leur couleur constitue le meilleur critère distinctif vis-à-vis des sédiments marins, de teintes plus uniformes.

A. *Les grès*

La classification adoptée est dimensionnelle. Les différentes variétés ont été reconnues par comparaison visuelle avec un étalon granulométrique à l'échelle de WENTWORTH¹⁾.

1. *Grès grossiers* ($1/2$ – $2,0$ mm):

ils sont mal classés, friables, de couleur gris-jaune à gris-vert, très claire. A l'œil nu, on reconnaît des grains de quartz grisâtre, du mica (essentiellement muscovite), du feldspath blanc. Certaines variétés contiennent des petits galets exotiques et des galets marneux.

L'affleurement des Moulins de Granges (coord. 179,370/557,210), au bord de la route Granges-Cheiry, a livré un échantillon sortant de l'ordinaire: il s'agit d'un grès grossier très mal classé, friable, renfermant des concrétions calcaréo-ferrugineuse brunâtres, de forme plus ou moins cylindrique.

Leur taille est variable, pouvant atteindre 2 cm de diamètre sur 5 cm de longueur. Le grès lui-même est de couleur gris-jaune très clair, à ciment calcaire. Les concrétions confèrent à la roche une texture grumeleuse.

2. *Grès moyens* ($1/4$ – $1/2$ mm):

ils représentent le terme de transition entre les grès grossiers et les grès fins. Mise à part la granulométrie, leurs caractères généraux diffèrent peu de ceux des grès grossiers. Le classement est déjà meilleur. Les principaux éléments constitutifs peuvent encore être identifiés à l'œil nu.

C'est à partir de cette classe granulométrique que se manifeste la polychromie. Certaines variétés de grès sont bicolores: jaunes et gris-vert, les teintes étant très pâles.

3. *Grès fins* ($1/16$ – $1/4$ mm):

ils sont marneux, plus ou moins micacés et friables, à ciment calcaréo-argileux ou argilo-ferrugineux. Certaines variétés plaquetées, à ciment franchement calcaire, sont dures.

C'est ici que la gamme des couleurs est la plus riche: à côté de types monochromes de teinte gris-vert clair, on trouve toute une série de grès différemment bigarrés: jaune, gris-vert, lie-de-vin; rouge, brun; gris-bleu, lie-de-vin. Ces diverses teintes, toujours peu accentuées, forment des zones plus ou moins individualisées.

¹⁾ Pour alléger la classification, les grès très grossiers (1,0–2,0 mm) et les grès très fins ($1/16$ à $1/8$ mm) ont été bloqués respectivement avec les grès grossiers (0,5–1,0 mm) et les grès fins ($1/8$ à $1/4$ mm).

Un affleurement du vallon de la Lembe (coord. 179,260/556,370) a fourni un grès fin à moyen, charbonneux, friable, riche en muscovite. Sa couleur d'ensemble est brun-rouge à noire, mais il est parcouru de zones absolument claires. Le passage d'une teinte à l'autre s'effectue sans transition. Ce grès réagit très faiblement à HCl.

Certaines variétés de couleur brune, cimentées par une pâte ferrugineuse, ne réagissent aussi que faiblement à l'acide.

En coupes minces, on reconnaît :

du quartz d'abord, formant l'essentiel des éléments détritiques. Les plages sont subanguleuses à anguleuses, contiennent parfois des inclusions, et présentent le phénomène de l'extinction roulante.

Des fragments de quartzites.

De l'orthose généralement altérée.

Du plagioclase à macles polysynthétiques, souvent altéré.

Du microligne.

Des paillettes de muscovite et de biotite, parfois froissées entre les autres éléments détritiques ; la biotite est en voie d'altération.

Quelques paillettes de chlorite en voie d'altération.

Des débris végétaux et, dans certains cas, des Foraminifères.

Deux plaques minces de grès fins récoltés quelques mètres sous la limite MDI/MMS contiennent des grains de glauconie. Quelques coupes renferment encore des petits galets en argile ou en marne griseuse.

Certaines phyllites sont en voie de limonisation.

Le ciment est soit en calcite, soit calcaréo-argileux à plages de calcite. Une variété de grès brun-rouge est cimenté par une pâte ferrugineuse.

B. Les marnes

Elles sont en général assez pures, c'est-à-dire pauvres en éléments gréseux, et font effervescence à HCl dilué.

Leur texture est compacte ou grossièrement schisteuse. Cette dernière variété présente un litage souligné par des variations d'intensité de la couleur. Les plans de schistosité sont satinés, et recouverts de grosses taches brunes.

Les marnes griseuses renferment des paillettes de muscovite et des débris végétaux.

La gamme des couleurs est assez étendue. Certaines marnes sont monochromes : vertes, brunes, d'autres bigarrées : jaune, lie-de-vin, gris-bleu. Les différentes teintes sont pâles.

Sous le microscope, en lumière naturelle, on distingue une pâte argileuse de couleur brun clair, localement ferrugineuse. Sous nicols croisés, apparaissent des zones de calcite finement cristallisées.

Les marnes pures contiennent toujours quelques éléments détritiques plus grossiers. Il s'agit de plages anguleuses de quartz à extinction roulante, de fragments de quartzites, d'orthose, de plagioclase, de muscovite. Les débris végétaux sont relativement abondants.

Dans les variétés de marnes griseuses, le ciment calcaréo-argileux est plus riche en CaCO₃.

II. Description des affleurements

1. Granges

La coupe représentée par la figure 2 a été levée au bord de la route de Cheiry, 100 m au NW des Moulins de Granges (coord. 179,370/557,210).

Voici la succession observée :

1. Débris
2. Marnes bigarrées 0,50 m
3. grès très fin, friable, rouge-brun 0,35 m
4. Grès moyen friable, gris 3,40 m
5. Débris

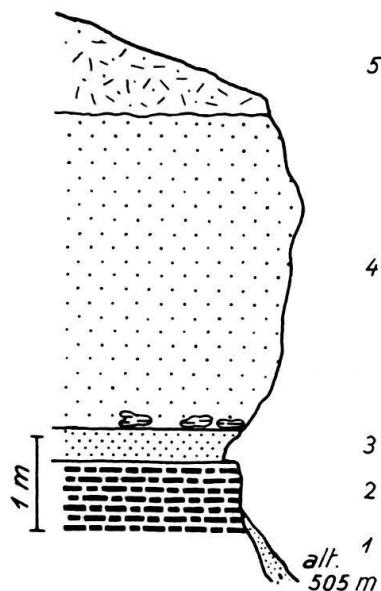


Fig. 2. Coupe dans la Molasse d'eau douce inférieure. Moulins de Granges.

Le passage du grès fin au grès moyen se fait sans transition. A sa base, le banc de grès moyen renferme localement des paquets de marne brunâtre provenant de remaniements.

2. La Lembe

L'affleurement se trouve au bord du ruisseau, sur la rive droite, 250 m en amont des Moulins de Granges (coord. 179,380/557,060).

On trouve, de bas en haut :

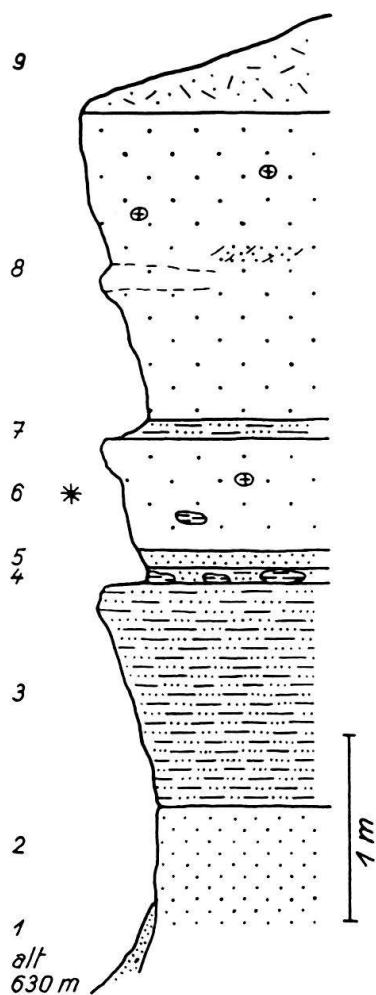
1. Grès très fin, dur 0,35 m
2. Marnes bigarrées 0,40 m
3. Grès moyen à grossier, friable, gris-jaune; galets marneux; galets exotiques de la taille d'un pois 2,75 m

Aux deux tiers de sa base, le banc de grès moyen à grossier est tranché par un niveau de galets marneux bruns pouvant atteindre 2 cm de diamètre. Le niveau lui-même mesure environ 3 cm d'épaisseur sur plus de 7 m de long.

D'après la théorie d'A. BERSIER (1948), cette succession lithologique représente la zone de passage entre deux unités sédimentaires cycliques. Les bancs inférieurs, en détritiques fins, forment le toit du premier cycle, le grès moyen à grossier, chargé de galets exotiques et marneux, la base du deuxième. Le contact entre unités est franc, le passage de l'une à l'autre a lieu sans transition; il correspond à une surface d'érosion.

3. Sassel

Une carrière, aujourd'hui désaffectée, entaille le dôme molassique de Sassel, 400 m à l'E du village. La coupe ci-jointe (fig. 3) a été levée le long de la partie occidentale du front de taille, à droite d'une petite grotte (coord. 180,850/556):



1. Débris	
2. Grès moyen	0,50 m
3. Grès fin, marneux	1,20 m
4. Grès très fin, marneux, friable; galets marneux	0,07 m
5. Grès fin	0,10 m
6. Grès grossier, friable; galets exotiques et marneux; moules de Bivalves; Foraminifères	0,60 m
7. Grès très fin, marneux	0,10 m
8. Grès grossier à galets exotiques; laminæ de grès fin à stratification oblique	1,65 m
9. Débris	

Fig. 3. Coupe dans la Molasse d'eau douce inférieure.
Carrière de Sassel.

Les derniers 2,50 m de l'affleurement sont affectés de concrétions gréseuses (voir p. 225).

Cette coupe est intéressante, car elle prouve que les premières influences marines, annonciatrices de la transgression de la mer molassique supérieure, se font déjà sentir dans la Molasse d'eau douce.

Cette affirmation repose sur plusieurs données :

a) les bancs de grès grossiers (stratification oblique, galets exotiques et marneux, moules de Bivalves) se présentent sous le même faciès que ceux de la Molasse marine. On n'hésiterait pas à lui attribuer cet affleurement s'il n'était surmonté des marnes bigarrées caractéristiques (coord. 181,060/555,300), d'autant plus que nulle part ailleurs la Molasse d'eau douce ne se manifeste sous un tel faciès.

b) L'examen des coupes minces a montré la présence de Foraminifères marins et de glauconie dans les grès grossiers. D'après J. KLAUS, la microfaune est autochtone.

Ces influences marines dans la Molasse dite «d'eau douce» ne sont pas exceptionnelles; il en existe dans d'autres régions. Celles du Jorat, par exemple, sont connues de longue date. Voici ce qu'en dit A. BERSIER (1938a, p. 65):

«Dans l'assise de grès gris à gros éléments... nous avons découvert... une valve supérieure de *Ostrea cf. gryphoides* SCHLOTH. L'examen microscopique de la roche montre en outre la présence de grains de glauconie disséminés qui sont bien autochtones. Ces précieux indices, à défaut d'autres, nous paraissent mettre suffisamment en évidence une influence marine localisée dans une série que jusqu'ici on a toujours tenue pour strictement d'eau douce...»

III. La limite Molasse d'eau douce-Molasse marine

Elle n'affleure que dans le ruisseau de Villeneuve, 200 m à l'W du village du même nom (coord. 177,390/556,260). La coupe de la figure 4 a été levée à côté d'un petit barrage, sur la rive droite:

1. Grès fin plaqueté, dur, gris; les plaques sont recouvertes d'une mince couche de marne; ripple marks 2,90 m
2. Grès fin marneux, alternant avec des niveaux de marne 1,10 m
3. Grès très fin, dur, finement lité 0,80 m
4. Marnes gréseuses 0,30 m
5. Grès fin 0,40 m
6. Marnes vertes 0,40 m
7. Marnes brunes 0,20 m
8. Grès grossier gris clair; galets exotiques et marneux; débris de bois; stratification entrecroisée 4,10 m
9. Grès fin plaqueté 0,50 m
10. Débris

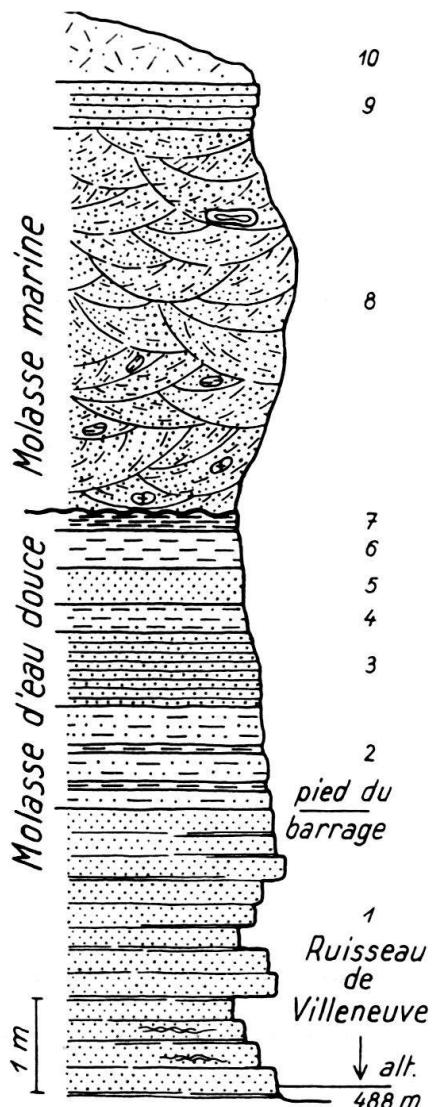


Fig. 4. Coupe du contact Molasse d'eau douce inférieure/Molasse marine supérieure. Ruisseau de Villeneuve.

Le passage de la Molasse d'eau douce à la Molasse marine est brutal: on passe sans transition des marnes brunes aux grès grossiers. Ceux-ci affleurent sous le faciès qui leur est propre à la base de la Molasse marine, c'est-à-dire chargés de galets exotiques et marneux, de gros fragments de troncs transformés en lignite, et frappés de stratification entrecroisée.

En coupe, la surface de séparation entre les deux formations dessine une ligne ondulée, traduisant une phase d'érosion avant le dépôt des sédiments marins.

IV. Paléontologie et âge de la Molasse d'eau douce inférieure

La Molasse d'eau douce est très peu fossile. Seul l'affleurement à influences marines de Sassel a livré des organismes: un Bivalve, indéterminable, et quelques Foraminifères.

M. J. KLAUS a eu l'amabilité d'assumer la détermination de la microfaune en coupes minces. Elle appartient à la superfamille des Rotaliidea; il est impossible d'être plus précis. Il s'agit d'organismes marins (au sens large du mot) qui semblent bien autochtones.

Les résidus de lavages de marnes ne contenaient pas d'Ostracodes.

Au Mont Vully (R. RAMSEYER, 1952), une faune de Mammifères indique que le contact MDI/MMS coïncide à peu près avec la limite Aquitanien/Burdigalien. Les sédiments de la Molasse d'eau douce peuvent donc être attribués avec une assez grande sûreté à l'Aquitanien.

A Cheyres, J. HÜRZELER (H. A. JORDI, 1955) a découvert des dents de Mammifères qui sont caractéristiques de la limite Aquitanien-Burdigalien. Elles se trouvent dans l'horizon de marnes vertes qui se développe au contact de la MDI avec la MMS. Ici également, l'âge aquitanien de la Molasse d'eau douce est prouvé.

Les conditions sont-elles les mêmes dans les parages de Lucens? Probablement. La faune récoltée, pour sa part, ne permet pas de trancher la question.

V. Conditions de sédimentation

La MDI est trop mal représentée dans les environs de Lucens pour qu'on ose donner une vue d'ensemble de ses conditions génétiques. Il faut se contenter d'un rappel des données acquises sur les régions limitrophes.

Telles que les décrit R. RUTSCH (1936, p. 604, traduit) les conditions sédimentaires de la Molasse d'eau douce du Seeland ont pu régner dans la Broye:

«Il semble que l'idée qu'on se faisait jusqu'à présent sur la formation de nos «molasses d'eau douce» et «molasses marines» ne soit pas tout à fait exacte: certaines parties de ces sédiments ne s'accumulèrent pas dans un lac ou bras de mer, mais ont une origine fluviotérrestre et représentent des dépôts de cours d'eau sur une plaine émergée. Le Plateau était sans doute temporairement une plaine alluviale sur laquelle des mares et lacs plus grands alternaien avec des aires deltaïques asséchées. Les «molasses d'eau douce» correspondent plutôt à des dépôts formés dans de petits lacs isolés au milieu de zones de terre ferme que dans un grand lac unique. Ainsi s'explique de la façon la plus simple la difficulté de paralléliser des horizons lithologiques déterminés dans ces «molasses d'eau douce». Les aires émergées étaient recouvertes d'arbres et de buissons, peuplées par les Gastéropodes et Vertébrés terrestres que nous trouvons aujourd'hui dans les sédiments, mélangés à des feuilles et bois flottés, sans doute assez près, en général, de leur habitat originel. Le bon état de conservation de beaucoup de ces fossiles ne s'accorde pas très bien avec un transport lointain, depuis les Alpes, quoiqu'il ne puisse, bien sûr,... être considéré comme absolument exclu. Les galets «alpins» de la «molasse marine supérieure» miocène ont aussi été transportés sur de telles plaines deltaïques jusque dans la région des actuelles vallées synclinale du Jura plissé. En supposant un lac ou une mer molassiques uniques, leur présence, là-bas, serait inexplicable. Des affaissements tectoniques saccadés¹⁾ conduisaient, par moments, à l'inondation de régions plus étendues par de l'eau douce, et lors d'enfoncements particulièrement prononcés, par de l'eau marine; mais cette mer peu profonde était bientôt comblée, découpée en bras, golfes et mares d'eau saumâtre isolés».

¹⁾ A. BERSIER (1952) soutient l'hypothèse d'une subsidence continue.

CHAPITRE II

La Molasse marine supérieure (Burdigalien?)

Extension

La MMS forme l'essentiel du Tertiaire affleurant aux environs de Lucens. Seule la région de Granges-Sassel-Ménières en est privée, les anticlinaux de la Broye et de Cheiry-Sassel étant ouverts jusqu'à l'Aquitanién.

La surface occupée par la Molasse marine affleurante ou sous faible couverture quaternaire est variable d'une rive à l'autre de la Broye. Sur la rive droite, elle se manifeste essentiellement dans les thalwegs profonds. Ailleurs, l'épaisseur du revêtement quaternaire est telle que la Molasse marine n'est visible qu'à la suite d'une action humaine: carrières, routes, etc. Sur l'autre rive, par contre, elle vient plus souvent à jour: du Riau Gresin à Vigny, elle affleure presque sans interruption sur le versant de la vallée de la Broye; au NW, c'est encore elle qui couronne les hauteurs séparant les bassins de la Petite Glâne, de la Lembe et de la Cerjaule.

Puissance

Elle varie suivant les régions considérées. C'est à Prévondavaux que la MMS atteint son maximum d'épaisseur: environ 300 m. Vers le NE, on enregistre une diminution de puissance, car cette direction est celle d'une montée axiale doublée d'un abaissement progressif de l'altitude moyenne de la surface topographique. A Surpierre, par exemple, dans l'axe du synclinal, la MMS ne mesure plus que 210 m d'épaisseur.

Une réduction de puissance se produit également du SE vers le NW. En effet, en allant des Alpes au Jura, on s'éloigne des zones où sédimentation et subsidence furent les plus actives. La MMS atteint 650 m au Gibloux (L. MORNOD, 1949), 500 m au S de Romont (H. INGLIN, 1960), 270 m à Hennens, au SE de la carte, 245 m au lieudit La Vignette, au SSW de Surpierre et plus ou moins 115 m à Yverdon (H. A. JORDI, 1955).

I. Pétrographie sédimentaire*A. Classification*

Le 90% environ des sédiments de la Molasse marine est purement détritique; le reste appartient à la catégorie des roches bioclastiques.

1. Roches détritiques

Dans cette catégorie, les grès dominent largement. Leur classification est basée sur les variations de la granulométrie. Les différents types ont été identifiés par comparaison visuelle avec un étalon granulométrique à l'échelle de WENTWORTH, et décrits macroscopiquement. La classe des grès très grossiers (1,0–2,0 mm) a été bloquée avec celle des grès grossiers ($\frac{1}{2}$ –1,0 mm). Enfin, comme certains grès grossiers contiennent, en proportion assez élevée, des éléments d'un diamètre supérieur à 2 mm, une nouvelle classe a dû être introduite, celle des grès conglomératiques.

Les marnes sont peu abondantes. Elles se présentent en niveaux de quelques millimètres d'épaisseur sur plusieurs mètres de long au maximum, ou sous forme de fines lentilles sans grande extension latérale.

a) Marnes:

elles sont toujours gréuses, riches en muscovite et souvent en débris végétaux brunâtres finement divisés. La taille de ces débris est parfois assez grande pour qu'on puisse reconnaître à l'œil nu leur structure organique.

A l'affleurement, les marnes sont peu compactes. Leur couleur est gris-vert clair, brun clair ou gris-bleu. Certaines variétés montrent une alternance de zones vert clair et de zones brun clair, parallèles au plan de stratification. Ce dernier est souvent couvert de grosses taches brun-noir.

Toutes les marnes réagissent à HCl dilué.

b) Grès très fins ($^{1/16}$ - $^{1/8}$ mm):

ils se présentent sous deux variétés. L'une est micacée, très dure, de couleur bleuâtre, et contient relativement peu de restes végétaux. Ce grès est le plus dur de la Molasse marine. A l'affleurement, il s'altère en jaune, et montre localement des dendrites.

L'autre variété est marneuse, micacée, friable, et renferme beaucoup de débris végétaux à l'état finement divisé.

Le ciment est calcaire ou calcaréo-argileux.

c) Grès fins ($^{1/8}$ - $^{1/4}$ mm):

ils sont micacés (muscovite essentiellement) et souvent chargés de petits débris végétaux. Un échantillon récolté dans la Cerjaule (coord. 173,870/553,730) a livré une empreinte de feuille et des Bivalves.

On peut distinguer deux sortes de grès fins: l'une est marneuse, généralement friable, de couleur jaune-vert clair, à liant calcaréo-argileux; l'autre est peu marneuse, assez dure, gris-vert clair, à ciment calcaire. Ce type est le plus foncé des sédiments de la Molasse marine.

Les grès fins montrent parfois une stratification interne horizontale, provoquée par une orientation des particules. Elle est mise en évidence du fait que les débris végétaux se groupent en laminae brunâtres.

L'homogénéité peut être détruite par la présence de zones de granulométrie moyenne ou de zones de marnes micacées à restes végétaux.

Les grès fins sont en général homométriques. Un affleurement, dans le Recoulet¹⁾ (coord. 174, 290/553, 310), a livré une variété mal classée, riche en éléments grossiers.

d) Grès moyens ($^{1/4}$ - $^{1/2}$ mm):

les variétés marneuses sont vert-jaune clair et friables, les types non marneux gris-vert clair et relativement durs. Le ciment est toujours à base de CaCO_3 .

Certains échantillons contiennent de la muscovite, des restes végétaux, des Bivalves, des zones de grès fin ou de marnes micacées.

Les grès moyens sont très abondants.

¹⁾ Plusieurs noms de ruisseaux ont été empruntés à la toponymie de la Carte Siegfried.

e) Grès grossiers ($1/2$ –2,0 mm):

Ils sont hétérométriques: la roche est à base d'éléments grossiers auxquels s'associent des clastiques moyens et fins. Elle est friable, à liant calcaire, de couleur gris-vert ou jaunâtre. A l'œil nu, on identifie des grains de quartz, de plagioclase, d'orthose et de glauconie. Le mica est rare.

Les grès grossiers contiennent souvent des galets exotiques, des galets marneux, des restes végétaux grossiers et des moules de Bivalves en grès fin.

Beaucoup d'affleurements montrent une stratification interne, sous forme d'une alternance de laminae blanchâtres en clastiques grossiers et de laminae grises ou vert-jaune en matériel moyen ou fin.

f) Grès conglomératiques:

Ce sont les plus hétérométriques des sédiments de la Molasse marine. Le grès est très mal classé, dur, de couleur jaune-vert clair, à ciment clacaire. A l'œil nu, on reconnaît du quartz, du plagioclase, de l'orthose, de la glauconie. La matrice, de granulométrie grossière, renferme de nombreux éléments conglomératiques (jusqu'à 1 cm de diamètre maximum) répartis de façon quelconque, sans se toucher. Ils sont anguleux à subarrondis, de sphéricité variable.

Un échantillon montre des zones de calcite finement cristallisées.

2. Roches bioclastiques

a) Grès lumachelliques:

Il s'agit d'un grès mal classé, moyen à grossier, à éléments conglomératiques, fortement cimenté par du CaCO_3 . Le 30% environ de la roche est formé de valves de Lamellibranches. Elles se présentent surtout à l'état de petits fragments en calcite rosée sur cassure fraîche, localement sous forme de moules en grès. La roche contient des vacuoles remplies de petits cristaux de calcite.

Le grès est gris-vert clair à la cassure; il s'altère en gris-noir, parfois en jaune, mais les valves sont toujours moins foncées.

Le grès lumachelique contient des galets exotiques et des fragments végétaux grossiers.

b) Lumachelles gréseuses (fig. 24):

Ici, les valves participent au moins pour 50–70% à la constitution de la roche. Le grès est fortement cimenté par du CaCO_3 , et mal classé: la matrice, de granulométrie moyenne ou parfois grossière, contient des éléments grossiers ou conglomératiques.

Les valves de Lamellibranches sont isolées, généralement brisées, en calcite rosée sur cassure fraîche; elles peuvent dépasser 2 mm d'épaisseur.

La roche n'est pas absolument compacte: il y a quelques vacuoles aux parois localement tapissées de petits cristaux de calcite.

Comme les valves sont plus abondantes que dans le grès lumachelique, la roche prend, sur cassure fraîche, une couleur jaune-vert clair ou franchement jaunâtre. A l'affleurement, elle s'altère en gris foncé ou gris-vert foncé; les valves conservent une teinte plus claire, grisâtre.

Les lumachelles gréseuses se chargent de galets exotiques, de débris végétaux grossiers, tels des fragments de troncs, et de restes de Vertébrés.

B. Composition

Cette étude, faite en coupes minces, ne porte que sur les grès.

1. Eléments détritiques

Formés en dehors du sédiment, ils ont été transportés à l'endroit de dépôt.

Dans toutes les coupes minces, le quartz est l'élément dominant. Il forme 20 à 50%¹⁾ des grès fins et très fins, 40 à 50%¹⁾ des grès moyens et grossiers. Il se présente en plages fraîches, à extinction généralement roulante. Quelques cristaux contiennent des inclusions.

Les feldspaths viennent en deuxième position pour la fréquence. Ils se présentent à tous les stades d'altération. On reconnaît des plagioclases à macles polysynthétiques, parfois altérés, du microcline toujours frais, de l'orthose généralement très altérée. Les feldspaths sont moins abondants dans les grès fins et très fins que dans les variétés plus grossières.

Les phyllites sont relativement fréquentes dans les grès fins et très fins. Il s'agit de lamelles de muscovite, plus rarement de biotite, souvent froissées entre les autres éléments détritiques. La chlorite est rare.

H. H. RENZ (1937), H. A. JORDI (1955), F. HOFMANN (1955) et d'autres auteurs soutiennent que la glauconie des sédiments molassiques est authigène. Il est vrai que ce minéral est éminemment sensible aux remaniements en raison de sa constitution (NIGGLI, in H. H. RENZ, 1937, p. 113), mais il n'a pas pris naissance à l'endroit où on le trouve maintenant. Formé dans la mer molassique, il a été remanié par érosion sous-marine, retransporté et déposé à nouveau. Sous le microscope, la glauconie se présente en grains verts subarrondis à arrondis, à structure cryptocrystalline, ou sous le faciès mica. Elle épigénise parfois des débris organiques.

Les grès grossiers et conglomératiques contiennent des fragments de quartzites, montrant l'enrèglement caractéristique des grains de quartz les uns dans les autres, des petits galets de marne, de grès fin marneux et de calcaire.

Les valves de Lamellibranches des roches bioclastiques se présentent en calcite macrogranulaire très pure. Certaines sections révèlent la structure du test.

Presque toutes les coupes minces montrent des Foraminifères. On trouve encore des fragments de Lithothamnies, de Bryozoaires, de Crinoïdes.

Les débris végétaux abondent dans les clastiques fins et très fins.

2. Eléments authigènes

Ils sont nés sur place, c'est-à-dire à l'endroit où on les trouve maintenant.

Tous les grès sont cimentés par du CaCO₃. Il se présente à différents degrés de cristallisation et de pureté.

Dans les grès conglomératiques, les grès grossiers et les roches bioclastiques, il est très pur, à texture micro- ou macrogranulaire.

¹⁾ D'après TERRY, R. D., & CHILINGAR, G. V. (1955, p. 230-233).

Dans les grès moyens et fins, il se présente avec une texture microgranulaire, et se charge d'argile (allogène).

La glauconie renseigne sur la physico-chimie du milieu dans lequel elle s'est formée. Pour un développement optimum, elle exige, on le sait, des eaux marines relativement chaudes, peu profondes, agitées, légèrement réductrices, et une sédimentation lente.

Comparés à certaines roches du Gault, les grès de la Molasse marine sont pauvres en glauconie. Cette faible teneur peut s'expliquer de deux façons :

a) la sédimentation était trop rapide (voir p. 247). De fait, MURRAY & RENARD (1891) constatent que la glauconie est relativement rare, bien que toujours présente, dans les zones où les fleuves apportent une grande quantité de matériel détritique et où l'accumulation est rapide.

b) Les conditions étaient plutôt oxydantes. La mer, très peu profonde (voir p. 245-246), était agitée et aérée sur toute la hauteur de la tranche d'eau.

C. Texture

Les caractères de texture ont été analysés en coupes minces. Seule la dimension des grains a été précisée par observation macroscopique. Les marnes n'entrent pas dans cette étude.

1. Taille

Suivant la classification de WENTWORTH, les particules appartiennent à la catégorie des sables, couvrant l'intervalle compris entre $\frac{1}{16}$ et 2 mm de diamètre. Comme clastiques accidentels, certains sédiments grossiers contiennent des éléments de la taille des graviers ou des galets (plus grand diamètre mesuré : 75 mm).

Les particules ne peuvent pas toujours être toutes rangées dans l'intervalle dimensionnel d'une classe ; il en est donc la taille est supérieure ou inférieure aux valeurs limites. L'hétérométrie, très élevée dans le cas des grès conglomératiques, est un caractère propre à beaucoup de sédiments de la MMS.

2. Forme

a) Arrondi¹⁾:

la plupart des particules sont subanguleuses à anguleuses, quelques-unes subarrondies. La glauconie se présente en grains subarrondis à arrondis.

b) Sphéricité¹⁾:

elle varie en fonction de la nature des particules : basse pour les phyllites, variable pour les feldspaths, relativement élevée pour le quartz.

Elle dépend aussi de la taille des éléments. Dans le cas du quartz, par exemple, la proportion de particules à faible sphéricité augmente parallèlement à la diminution de taille des éléments.

3. Arrangement

a) Orientation :

elle n'existe que dans certains grès fins et dans les roches à tests de Lamellibranches. Dans le premier cas, les éléments à faible sphéricité : phyllites, débris végétaux et autres particules de forme plus ou moins feuillettée ou tabulaire sont disposés avec leur grand axe parallèle au plan de stratification.

¹⁾ D'après KRUMBEIN, W. C., & SLOSS, L. L. (1951, p. 81).

Avec les grès à Lamellibranches, ce sont les fragments de valves qui sont orientés : plus grand diamètre parallèle au plan de stratification. Des valves isolées, mais entières, ont leur convexité dirigée vers le haut.

b) Distribution :

elle est indépendante de la forme et de la nature des particules. Celles-ci sont mélangées de façon quelconque.

Parmi les caractères pétrographiques qui fournissent des renseignements sur les conditions de formation d'un sédiment, la structure occupe sans doute la première place. Toutefois, dans le cas des séries gréseuses, la texture est un agent de diagnose dont il faut également tenir compte.

La taille des particules, et surtout la présence de galets, indiquent une province distributive au relief vigoureux, située en bordure immédiate du bassin de sédimentation. Les cours d'eau devaient avoir une capacité élevée.

La granulométrie reflète, d'autre part, la dynamique du milieu de sédimentation. Les grès fins, souvent finement stratifiés, riches en lamelles de mica et en petits débris végétaux, ont toujours les caractères d'un dépôt formé en eaux calmes, en dehors des aires à forte alimentation

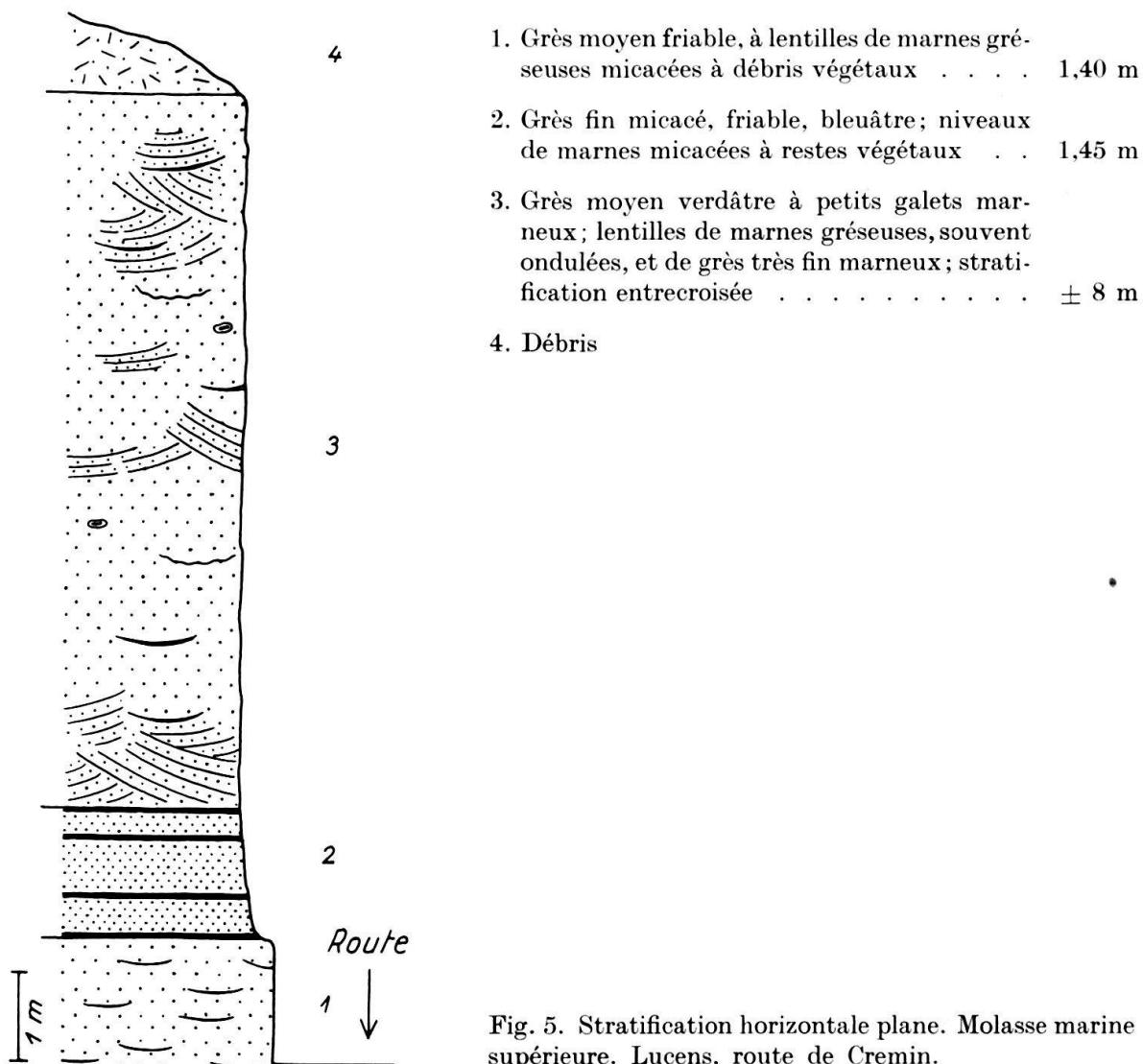


Fig. 5. Stratification horizontale plane. Molasse marine supérieure. Lucens, route de Cremin.

détritique. Les grès grossiers, chargés de galets et frappés de stratifications diagonales, se sont déposés dans des zones d'apport actif, en eaux turbulentes.

Pour M. RECH-FROLLO (1952), l'anisométrie des grès de la Molasse peut résulter du règne, à un moment donné, de conditions fluviatiles en milieu marin. Elle peut aussi être due à une très grande jeunesse du matériel. Les deux hypothèses sont à retenir, particulièrement la dernière.

Beaucoup de sédiments contiennent très peu ou pas d'argile, leur fraction non argileuse (silt, sable ou gravier) est mal classée, les grains sont anguleux. D'après R. L. FOLK (1951), ce type de grès très peu «mûr» caractériserait des zones à subsidence assez rapide, où le tri des particules est imparfaitement réalisé par suite du manque de temps.

Le faible indice d'émussé du matériel détritique provient d'une courte durée de transport. Rapidement amenés jusqu'à la mer, les grains de sable préservent leur angulosité par un enfouissement assez rapide.

D. Structure

1. Stratification horizontale plane

a) Lucens:

La partie moyenne de la Molasse marine consiste souvent en gros bancs de grès fin séparés par des joints marno-gréseux. A l'affleurement de la route de Cremin, 650 m au NE de Lucens (coord. 173,950/554,410), les conditions lithologiques se présentent ainsi (figs. 5, 19).

Les niveaux de marnes gréseuses du terme 2 sont horizontaux planes. Ils mesurent 1 à 3 mm d'épaisseur. On peut les suivre à travers tout l'affleurement. Leur couleur est identique à celle du grès encaissant. Le contact niveaux marno-gréseux/grès fin est brutal; on passe sans transition du joint au banc.

Les lentilles marno-gréseuses du terme 3 mesurent 2-3 mm d'épaisseur sur environ 1,70 m de longueur, les lentilles de grès très fin, 2 cm d'épaisseur.

Pour le terme 2, l'épandage du matériel s'est effectué sur un fond plan, en eaux calmes. L'alimentation détritique est peu abondante, le sable s'étale normalement en couches planes-parallèles horizontales. L'apport est discontinu; durant les phases de ralentissement de la sédimentation, seules les fines particules amenées en suspension se déposent. Elles s'accumulent en niveaux de quelques millimètres d'épaisseur dont l'extension horizontale est fonction de l'étendue de la zone calme.

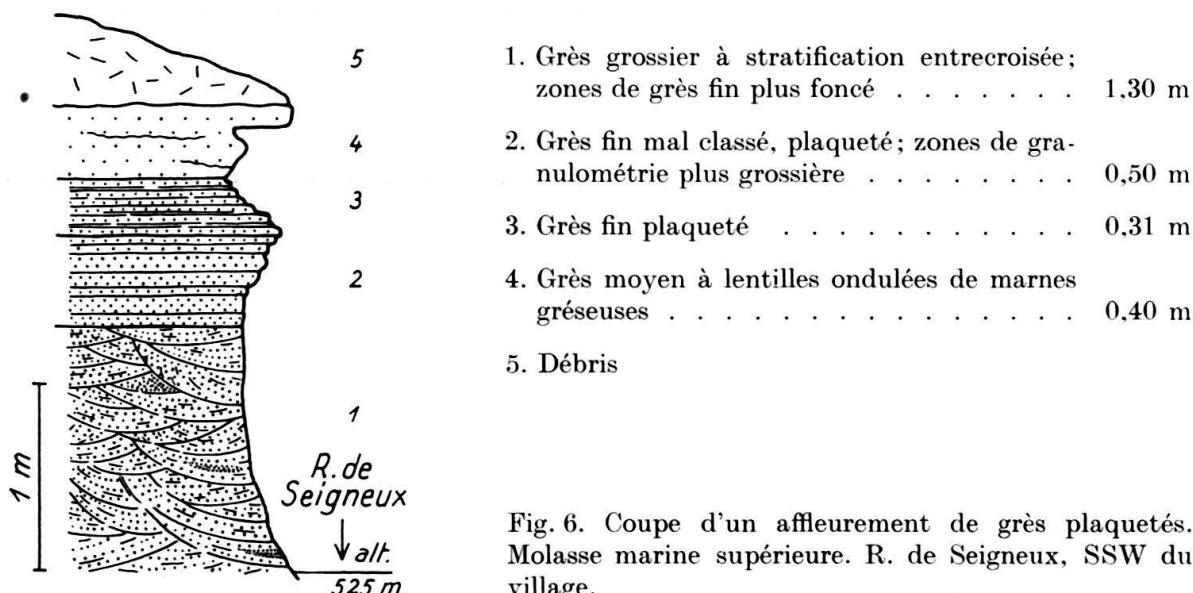


Fig. 6. Coupe d'un affleurement de grès plaquetés. Molasse marine supérieure. R. de Seigneux, SSW du village.

b) R. de Seigneux:

L'affleurement détaillé page 210 (fig. 6) se trouve 400 m au SW du village de Seigneux, sur la rive gauche du ruisseau, au pied du glissement (coord. 175,040/556,990).

En voici la description.

La stratification des niveaux plaquetés est horizontale plane. Le terme 2 de la coupe est formé d'une succession de petits bancs de granulométrie fine, à passes grossières, mesurant 6 à 8 cm d'épaisseur. Le passage de l'un à l'autre est brutal; il n'y a ni joint marneux, ni surface d'érosion. La structure plaquetée semble résulter, dans ce cas, d'interruptions de la sédimentation.

Dans le terme 3, les plaques sont séparées les unes des autres par un joint de marne micacée à débris végétaux, mesurant moins d'1 mm d'épaisseur. Les plaques elles-mêmes ont 2,5 à 4 cm d'épaisseur. Ici, le plaquetage est produit par des ralentissements de l'apport détritique.

La surface de stratification des bancs est recouverte de quelques paillettes de mica, essentiellement de la muscovite, disposées à plat.

Comme dans le cas précédent, l'alimentation est peu abondante. Le sable se dépose sur une topographie plane, en eaux calmes. La sédimentation joue encore suivant un mécanisme à deux phases, mais plus rapide :

a) phase positive-active: dépôt du sable;

b) phase positive-passive: formation d'un joint marneux; ou phase négative: pas de dépôt.

Les bancs sont séparés par un diastème, chaque plaque repose directement sur la précédente.

c) Ruisseau de Villeneuve:

L'échantillon de la figure 7 provient du niveau 4 de la coupe du ruisseau de Villeneuve (voir p. 231). Sa stratification est formée par un classement du diamètre des grains qui se présente ainsi (voir page 212).

Le contact entre lits est net; il n'y a pas de graded bedding. Le toit du terme 7 correspond à une surface d'érosion ondulée.

Chaque banc se laisse suivre latéralement sur plus de 20 m.

d) R. du Grau Pissiau:

Le terme 6 de l'affleurement de grès à galets marneux (voir p. 223) montre une stratification horizontale sans variations granulométriques.

Sur 30 cm d'épaisseur, le grès fin se débite en minces feuillets de 1 à 5 mm. Les surfaces de stratification sont planes, recouvertes d'un peu de muscovite et de restes végétaux finement divisés. A l'œil nu, on ne distingue aucune variation granulométrique au sein de la roche.

Le sable s'est déposé en eaux calmes, sur un fond plan. La sédimentation est lente, mais continue. Les paillettes de mica, toujours plus abondantes dans le sable fin, se déposent en adoptant une orientation préférentielle: leur plus grande surface se dispose parallèlement au fond de la mer. Cette structure interne est aujourd'hui mise en évidence par l'altération, la roche se débitant en feuillets à surface de stratification horizontale plane.

2. Stratification horizontale ondulée

a) Riau Gresin :

Le terme 5 de la coupe du Riau Gresin au SSE de Bussy (voir p. 235 et fig. 20) se compose d'un grès mal classé, à niveaux marno-gréseux ondulés. Le grès est gris-

vert, assez dur, fin à moyen, à passées grossières et rares galets exotiques de la taille d'un pois. Il montre une stratification interne oblique et entrecroisée (voir p. 219).

Les niveaux marno-gréseux sont micacés, riches en débris végétaux. Ils mesurent 2 à 10 mm d'épaisseur, pouvant atteindre 20 mm dans le creux des ondulations. Ils se répètent tous les 1 à 4 cm. Les longueurs d'onde et creux des ondulations sont variables: 15/1 cm, 15/1,5 cm, 18/2 cm, 23/2,5 cm. Les ripples sont presque toutes asymétriques.

La couleur des niveaux marneux est généralement identique à celle du grès; elle est noirâtre quand la matière végétale est particulièrement abondante.

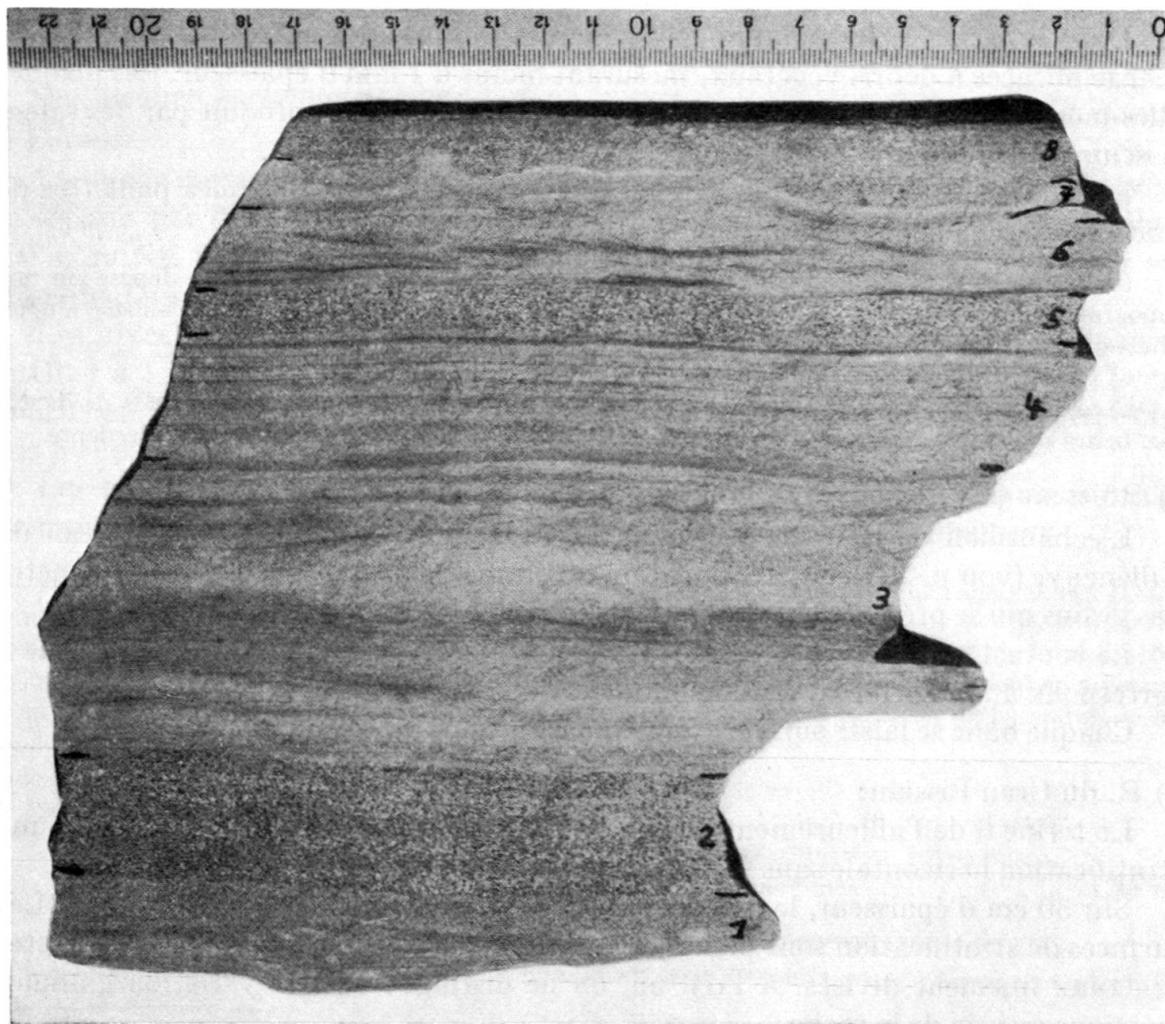


Fig. 7. Stratification horizontale plane. Molasse marine supérieure. Ruisseau de Villeneuve, à l'W du village.

1. Grès fin	1-2 cm
2. Grès moyen lité	2,3 cm
3. Grès très fin, lité; zones foncées à débris végétaux; au centre, stratification interne oblique	6,4 cm
4. Grès fin lité	2,2 cm
5. Grès moyen	1 cm
6. Grès fin à très fin; zones à débris végétaux	1,5 em
7. Grès très fin; rainures d'érosion	0,7-1 cm
8. Idem 1	1,3 cm

A droite, l'affleurement est affecté d'une faille du type «panamien».

b) R. de Seigneux:

L'échantillon de ripple marks décrit ci-dessous est différent. Il a été récolté sur la rive gauche du R. de Seigneux, à la hauteur de la grande faille (coord. 174, 520/557,180).

Il s'agit d'une dalle de grès fin à moyen, dur, de 2 cm d'épaisseur, recouverte d'un film de marnes gréseuses à traces de vers. Ce revêtement est discontinu, érodé sur la crête des ondulations.

La longueur d'onde des ripples varie entre 5 et 7 cm, le creux entre 5 et 7 mm. Les flancs de crêtes sont dissymétriques, la section sous le courant étant la plus inclinée et la plus courte. En plan, les ondulations dessinent une bande sinuuse qui s'élargit et se rétrécit. L'axe des crêtes, vu en coupe longitudinale, est lui-même ondulé.

Les ondulations de courant sont communes dans la Molasse marine.

Les ripple marks subaquatiques sont dues aux vagues ou aux courants, ou encore à l'action combinée de ces deux facteurs. En présence de courants unidirectionnels balayant le fond de la mer, les ondulations adoptent un profil asymétrique : le flanc le plus raide regarde dans la direction d'écoulement de l'eau. Si l'eau oscille sur le fond, les ondulations sont symétriques.

La présence de ripple marks dans un sédiment ne fournit aucune indication sur la profondeur à laquelle il s'est déposé. En effet, on trouve aujourd'hui ces structures à des profondeurs comprises entre quelques centimètres et plus de 1000 m.

3. Stratification oblique

a) Aclex:

L'affleurement illustré par la figure 8 constitue le front de taille d'une petite carrière de grès coquillier située 200 m au SE du hameau d'Aclex, à l'W de Sassel (coord. 180,650/554,480).

Les conditions lithologiques sont les suivantes :

1. A la base, un niveau de lumachelle grésueuse très dure, à galets exotiques; zones de grès idem 2; Foraminifères	1,75 m
2. Grès moyen moins dur, se débitant en plaques de 3,5 à 5,5 cm d'épaisseur; rares petits galets exotiques; localement, stratification entrecroisée; zones peu épaisses de grès lumachellique à galets exotiques	0,70 m
3. Au sommet, idem 1; couleur vert-jaune clair	$\pm 2,00$ m

La structure oblique est du type diagonal, c'est-à-dire formée de couches rectilignes, parallèles les unes aux autres. Elles sont inclinées de 11° vers 301°.

La stratification est mise en évidence par la structure plaquetée du terme 2 et par une orientation préférentielle des valves dans les niveaux 1 et 3. Elles ont tendance, en effet, à se disposer parallèlement les unes aux autres; on obtient ainsi une succession de petits bancs de 8 à 10 cm d'épaisseur mis en relief par l'érosion.

La stratification est encore soulignée par des changements de structure sédimentaire: un niveau de grès pour ainsi dire azoïque est encadré de bancs pétris de Bivalves. Ce banc, plus friable, est en retrait. Sa cimentation moins poussée est imputable à l'absence des valves qui, dans les autres niveaux, fournissent une grande partie de la phase carbonatée du liant.

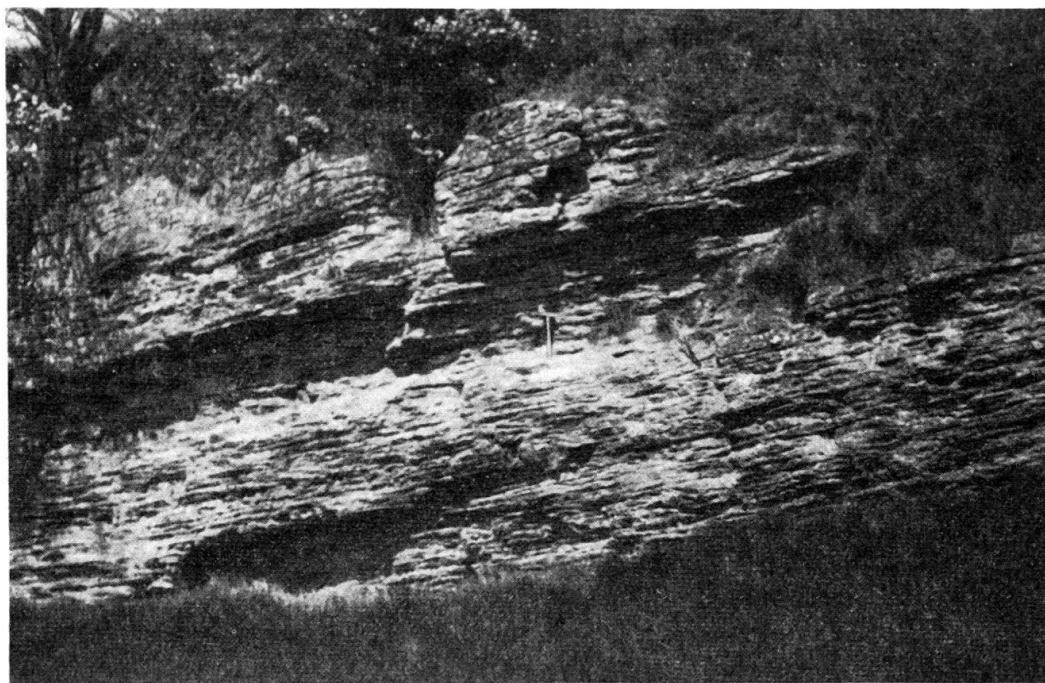


Fig. 8. Stratification oblique diagonale. Grès coquillier. Aclex, à l'W de Sassel.

La proportion des valves est variable d'un terme à l'autre. Dans l'inférieur, il y a des zones azoïques semblables à 2, dans le suivant, des zones de lumachelle gréuseuse.

b) La Cerjaule:

L'affleurement de la figure 9 est situé au bord de la route Lucens-Oulens, 500 m au SW de l'embouchure du Recoulet (coord. 173,620/552,950).

On observe les conditions suivantes:

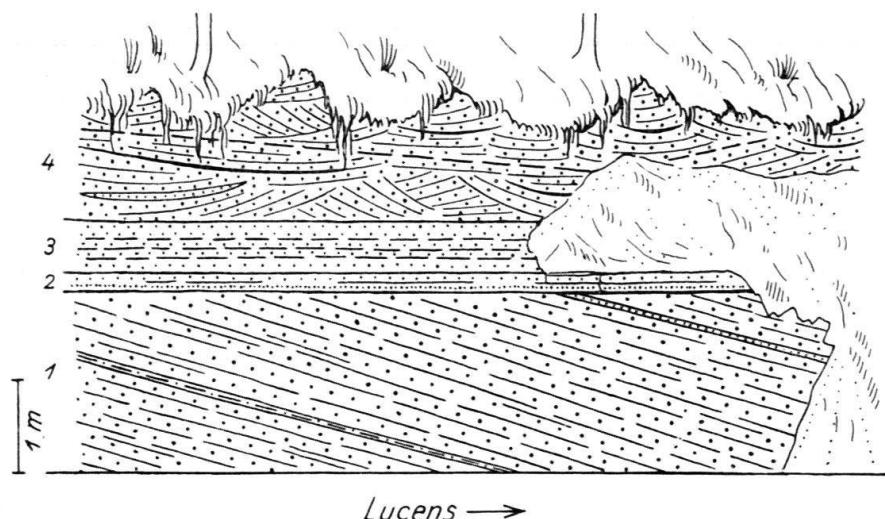


Fig. 9. Stratification oblique diagonale. Molasse marine supérieure. La Cerjaule, route Lucens-Oulens.

- | | |
|--|--------|
| 1. Grès grossier à stratification oblique; niveaux de marnes gréseuses et de grès très fin | 2,00 m |
| 2. Grès fin lité, passant vers le haut à un grès moyen lité | 0,04 m |

3. Grès fin à moyen, à niveaux de marnes micacées et de grès très fin	0,50 m
4. Grès moyen à grossier, à stratification entrecroisée; lentilles de marnes gréseuses et de grès fin micacé, gris foncé; niveaux marneux inclinés	1,30 m

Le banc qui nous intéresse se trouve à la base de l'affleurement. Il est formé d'une alternance de laminae claires en grès grossier et de laminae plus foncées en détritiques fins. A gauche, s'intercale un niveau de marnes gréseuses de 3 cm d'épaisseur, à droite, un niveau de grès très fin, lité, de même épaisseur. Les laminae sont planes, parallèles les unes aux autres. Elles sont inclinées de 15°.

Le contact entre bancs 1 et 2 est brutal; il correspond à une surface d'érosion.

Ce type de stratification oblique se développe sur des fronts de pente sous-marine.

c) Lucens:

L'affleurement décrit ci-dessous (fig. 21) se trouve au bord de la route Lucens-Cremin, au P. 605 (coord. 173,960/554,250).

1. La base de l'affleurement est formée d'un grès grossier à galets exotiques, parcouru de niveaux de grès très fin, micacé; la stratification est oblique, le pendage apparent de 20° vers 46°	1,35 m
2. Au sommet, se développe un niveau de grès grossier, à stratification entrecroisée, à quelques petits galets exotiques	0,80 m

Une autre coupe de grès stratifiés obliquement affleure au bord de la route de Cremin, juste à la sortie de Lucens (coord. 173,800/554,390).

La coupe s'ordonne ainsi, de bas en haut (fig. 10):

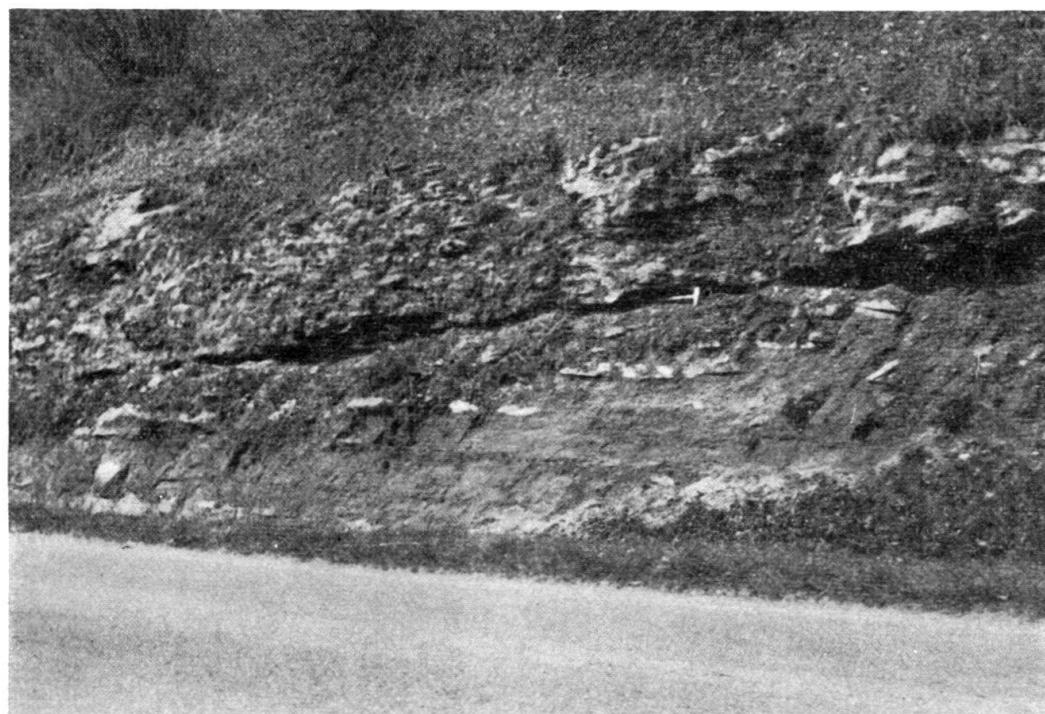


Fig. 10. Stratification de chenal. Molasse marine supérieure. Lucens, route de Cremin.

1. Grès grossier friable, surface d'érosion à niveaux marno-gréseux; débris de bois lignitisés	0,85 m
--	--------

2. Sable graveleux à niveaux marneux brun clair; galets molassiques	0,30 m
3. Grès grossier à niveaux de marnes gréseuses	0,20 m
4. Idem 2; la moitié supérieure du banc, dépourvue de gravier, contient des niveaux marneux ondulés, brun clair, de 2 à 5 mm d'épaisseur; le toit du banc est ondulé . . .	0,12 m
5. Grès grossier plaqué, dur, à galets exotiques et moules de Bivalves; débris végétaux; stratification oblique	2,50 m

Au pied de l'affleurement, à droite sur la photographie, les couches sont horizontales.

Une surface d'érosion, correspondant au toit du banc 1, forme la base du complexe à stratification oblique. Le terme 5, en saillie à l'affleurement, est particulièrement bien visible sur la photo. Il est formé d'une série de plaques gréseuses de 2 à 10 cm d'épaisseur, inclinées (pendage apparent) de 11° vers 196° . L'angle des foreset beds augmente de la base vers le sommet du niveau.

Les bancs graveleux représentent des bottomset beds; le gravier, très mal classé (plus grand diamètre mesuré: 4,5 cm), subanguleux, nage dans une matrice de sable hétérométrique, moyen à grossier. Quelques galets de molasse affleurent, sans orientation préférentielle; ils sont anguleux.

Les niveaux graveleux, la surface d'érosion inclinée et la stratification oblique permettent d'attribuer les termes 2 à 5 à un remblayage de chenal d'érosion. L'axe du chenal, perpendiculaire au plan de la photographie, se trouve à gauche.

d) Riod:

Ce ruisseau qui coule au SE de Combremont le Grand a mis à jour un chenal d'érosion. L'affleurement se trouve au sommet d'une petite chute, sur la rive gauche, 80 m en amont de la confluence du ruisseau avec le Flon (coord. 178,300/553,280).

En voici un croquis (fig. 11):

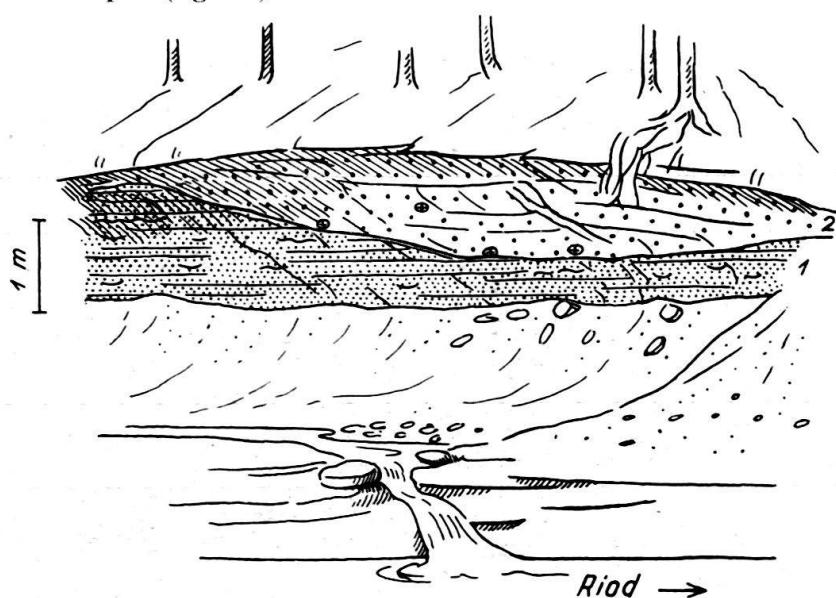


Fig. 11. Chenal d'érosion remblayé. Molasse marine supérieure. Riod, au SE de Combremont le Grand.

1. Le niveau érodé est en grès fin micacé, localement plaqué; il montre des ripple marks et de courts niveaux ondulés de marnes gréseuses.
2. Le remplissage du chenal consiste en un grès grossier bleuâtre, à galets exotiques et moules de Bivalves.

Les galets exotiques se rencontrent surtout au fond du chenal.

Le grès grossier, bien cimenté, forme un surplomb au-dessus du grès fin plus tendre. Sa surface d'altération est grumeleuse. Vers le haut, le grès devient plaqué.

La figure montre que la surface d'érosion correspondant au contact grès fin/grès grossier n'est pas horizontale, mais convexe vers le bas. Il n'y a donc pas de doute qu'on se trouve en présence d'un chenal d'érosion remblayé, dont l'axe est orienté perpendiculairement au plan du croquis.

On doit à A. LOMBARD (1956) une étude détaillée sur la stratification des formations anciennes et actuelles. D'après cet auteur, les conditions nécessaires à la réalisation de la stratification oblique sont: a) une alimentation abondante, b) de l'eau animée d'un mouvement continu et dirigé, c) une certaine topographie du fond qui concentre les filets d'eau, d) un fond plat ou peu incliné sur lequel progresse le front de l'accumulation sédimentaire. Le facteur primordial réside dans un apport abondant et même excédant.

Pour LOMBARD, la stratification oblique ne résulte pas d'une accumulation dans des courants, bien que ces derniers existent incontestablement. Mais elle est due en premier lieu à un excès d'alimentation en sédiments. Lorsque l'apport en matériel détritique est trop fort et trop rapide, le fond n'en assure pas la répartition en couches horizontales, sa pente étant insuffisante pour l'absorber, l'étaler et le stratifier normalement. Cet excédent qui ne peut se répartir s'accumule sur place, obliquement.

La disposition diagonale des couches résulte de la progression, sur un fond dégagé, d'un front de masse sédimentaire active dont le talus aval est plan et rectiligne. Lorsque le fond se relève en contre-pente, ou que l'activité de l'alimentation se ralentit, la stratification s'aplatit et devient horizontale. L'équilibre est atteint; de l'envahissement hâtif, on passe au remplissage régulier.

Dans le cas des chenaux, la sédimentation s'est effectuée latéralement; les sables se sont déposés depuis les bords vers le centre du sillon d'érosion.



Fig. 12. Stratification entrecroisée. Molasse marine supérieure. Les Marchets, au SEE de Com-bremont le Grand.

4. Stratification entrecroisée

a) Les Marchets:

L'affleurement se trouve 1,2 km au SEE de Combremont le Grand, à la limite des cantons de Vaud et de Fribourg (coord. 178,730/553,730).

Les conditions lithologiques sont les suivantes (fig. 12):

1. A la base: grès fin à moyen, friable, à niveaux marno-gréseux	0,90 m
2. A droite: grès grossier plaqueté, dur, à galets exotiques	1,70 m
3. A gauche: grès moyen à grossier, friable, jaune-vert clair, à galets exotiques; lentilles de grès très fin micacé, dur, de couleur plus foncée	3,00 m

Le terme inférieur traverse tout l'affleurement. Les niveaux marno-gréseux, souvent ondulés, se succèdent tous les 1 à 2 cm; ils mesurent entre 2 et 5 mm d'épaisseur. Le pendage est de 5° vers 29°.

Une coupure d'érosion très nette sépare deux complexes à stratification oblique.

A droite, sur la photographie, le grès forme une succession de plaques de 2 à 10 cm d'épaisseur, séparées par des niveaux de marnes gréseuses de 2 à 5 mm. Le pendage est de 17° vers l'azimut 32°.

A gauche, les couches sont inclinées de 17° vers 320°. Le grès moyen à grossier contient des lentilles de grès très fin mesurant plus ou moins 5 cm d'épaisseur sur 1 à 1,5 m de longueur.

b) La Cerjaule:

L'affleurement de la figure 13 se trouve sur la rive droite du ruisseau, 380 m au SW de l'embouchure du Recoulet (coord. 173,660/553,050):

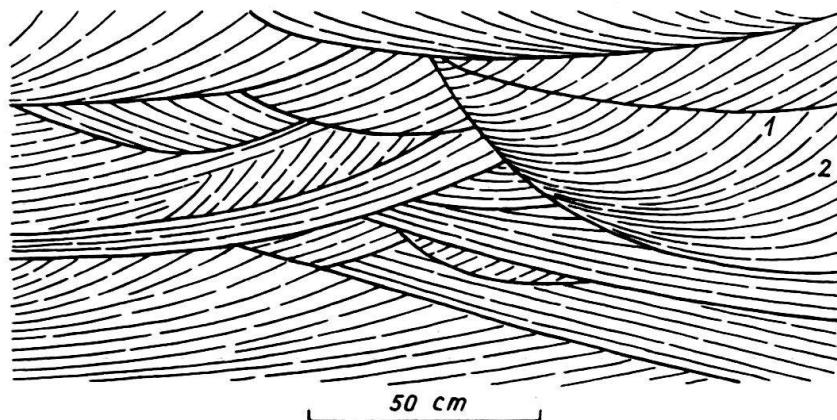


Fig. 13. Croquis d'un affleurement à stratification entrecroisée. Molasse marine supérieure. La Cerjaule, 380 m au SW de l'embouchure du Recoulet.

L'affleurement est fait de groupes de laminae obliques arquées, limités par des surfaces d'érosion (discordances internes) convexes vers le bas, plus rarement planes. L'inclinaison des laminae est variable d'un groupe à l'autre et à l'intérieur d'un même groupe: par exemple, 40° en 1), 20° en 2). Suivant une verticale à l'affleurement, l'angle des foreset beds augmente de la base vers le sommet des groupes.

La stratification à l'intérieur des groupes est faite d'une alternance de laminae de grès très grossier, clair, chargé de galets exotiques, et de laminae de grès fin à moyen, gris. Leur épaisseur varie entre 1 et 5 mm. Elles sont généralement convexes vers le bas, parfois rectilignes. La granulométrie des bottomset beds est moins grossière ; ici, les laminae se resserrent jusqu'à perdre leur individualité, formant une zone de teinte plus foncée.

c) Riau Gresin :

Le terme 5 de la coupe du Riau Gresin (voir p. 235) montre une stratification oblique et entrecroisée à très petite échelle.

Voici la description de l'échantillon de la figure 14 :

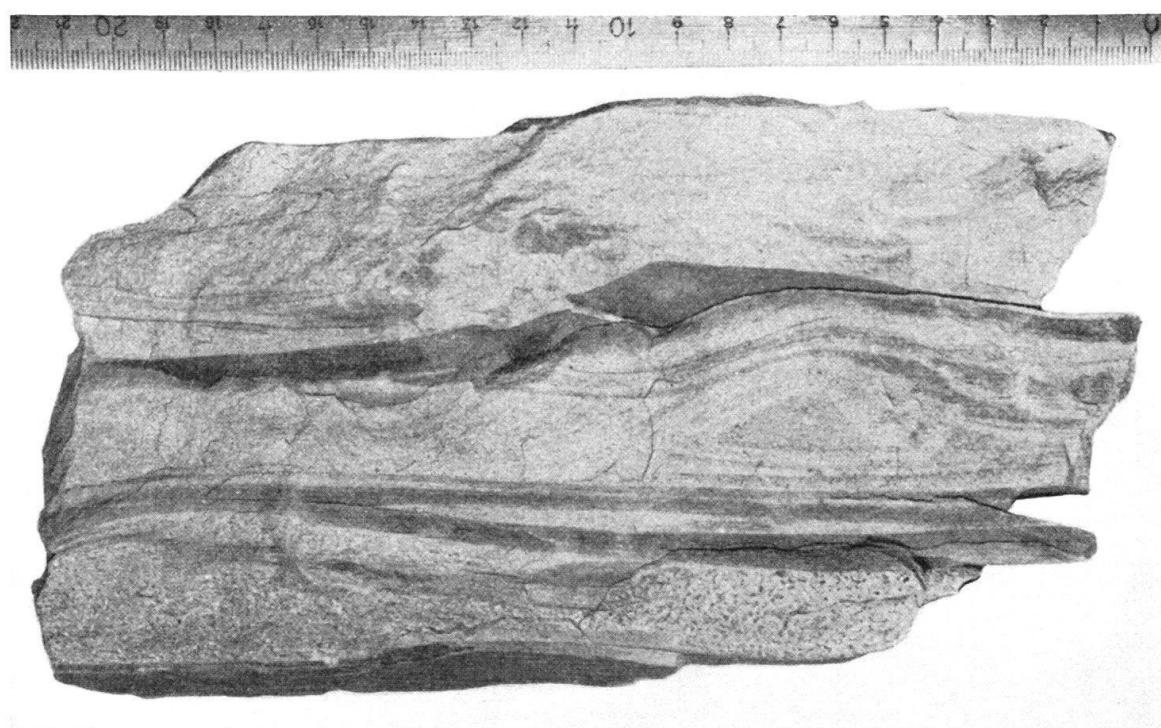


Fig. 14. Stratification oblique et entrecroisée. Molasse marine supérieure. Riau Gresin, 130 m en amont de la route Moudon-Lucens.

Sa base est formée par environ 2 cm de grès mal classé : la matrice, en détritiques très fins, contient des éléments moyens et même grossiers. La stratification oblique est révélée par une alternance de zones riches en éléments grossiers et de zones où prédominent les fins.

On passe ensuite, après deux horizons de marnes gréseuses, à un niveau de 2 à 3,5 cm d'épaisseur de grès très fin micacé, à stratification entrecroisée. Celle-ci est marquée par une alternance de zones claires et foncées. Dans ces dernières, les particules sombres (biotite ou débris végétaux) sont orientées parallèlement au plan de stratification. Le sommet de ce niveau correspond à une surface d'érosion.

La dernière strate, de 3 à 4 cm d'épaisseur, est formée du même grès que le précédent. La stratification, légèrement oblique, est visible dans l'angle gauche de l'échantillon, où il y a quelques zones à éléments foncés.

d) Pisseyache:

Dans la partie moyenne de la Molasse marine, des lentilles sont associées à la stratification entrecroisée.

L'affleurement de Pisseyache est situé au bord du chemin Forel-les Onchires, à quelques mètres du Recoulet, sur la rive gauche (coord. 174,590/552,650).

Voici un croquis de détail de l'affleurement (fig. 15):

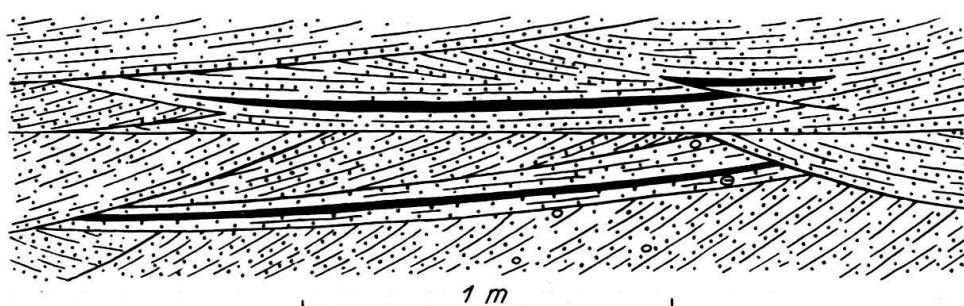


Fig. 15. Stratification entrecroisée à lentilles. Molasse marine supérieure. Pisseyache, au SSW de Forel.

Dans un grès grossier à stratification entrecroisée, à rares petits galets exotiques, s'intercalent des lentilles de grès très fin micacé, parcouru de niveaux de débris végétaux finement divisés. Elles mesurent 2–3 cm d'épaisseur sur 45 à 200 cm de long. Leur couleur gris foncé, et le contact brutal lentilles/grès encaissant les font nettement ressortir sur le fond plus clair de la matrice. La base des lentilles est plane, parfois ondulée. Leur toit, dans la partie supérieure de l'affleurement (non représentée sur le croquis), peut être érodé, et on trouve alors des galets du même grès que la lentille dispersés dans la matrice.

Sur environ 5 cm au-dessous et au-dessus de la lentille, les laminae grossières ont tendance à adopter une position voisine de l'horizontale, avec une faible convexité dirigée vers le bas. Par contre, dans les zones sans lentilles, les laminae sont toujours plus inclinées, l'angle des foreset beds augmentant de la base vers le sommet des groupes de laminae. Les discordances internes qui séparent les groupes correspondent à des surfaces d'érosion.

e) Lucens:

L'affleurement de la figure 16 se trouve au bord de la route Lucens-Cremin, au point 174/554,270.

Dans un grès grossier à très grossier, riche en galets exotiques de toutes tailles (plus grand diamètre mesuré: 7,5 cm), s'intercalent des lentilles de grès fin micacé, dur, épaisses de 0,5 à 5 cm et plus¹⁾. À la base de l'affleurement, elles sont inclinées de 18° vers la droite, au centre de 16° vers la gauche, au sommet, de 13° vers la droite. La paroi de l'affleurement est orientée NE-SW. Ces changements dans la direction de l'inclinaison des lentilles indiquent une stratification entrecroisée.

¹⁾ Les lentilles qui ressortent en gris clair sur la figure ne comprennent pas seulement le grès fin, mais aussi une partie du grès grossier sus-jacent, fortement cimenté (voir p. 225).



Fig. 16. Stratification entrecroisée à lentilles. Molasse marine supérieure. Lucens, route de Cremin.

f) Au Devin :

200 m à l'W du chemin Forel-Pissevache, le Recoulet se divise en deux branches. Celle qui remonte vers l'W est coupée par une chute, quelques mètres en amont de la confluence. L'affleurement décrit ci-dessous (fig. 17) est à mi-hauteur de la chute (coord. 174,490/552,430).

Dans un banc de grès fin micacé, friable, gris-vert, à stratification entrecroisée, de 1,50 m d'épaisseur, se trouvent d'innombrables lentilles ondulées de marnes micacées brunâtres. Elles mesurent 2 à 5 mm d'épaisseur sur 1 à 2 m de long.

La courbure des lentilles est peu prononcée. Associées à une stratification entrecroisée, elles sont inclinées en tous sens. Beaucoup de lentilles ont leurs extrémités érodées.

L'inclinaison des laminae indique que la stratification entrecroisée est également produite par une alimentation détritique excédante. Mais, cette fois, les courants sous-marins jouent un rôle de première importance dans la mise en place du matériel. Comme ils s'écoulent une fois dans un sens, puis dans un autre, la direction de progression des rides sableuses change constamment. Les laminae s'assemblent en groupes aux pendage et direction variables. A tout moment, les vagues ou les courants érodent les sables déposés, les remettent en mouvement pour les resédimentent ailleurs.

D'après L. B. RUCHIN (1958), la stratification entrecroisée du type Cerjaule caractérise des dépôts marins peu profonds, littoraux.

Les données d'observation de la stratification entrecroisée à lentilles de Pissevache suggèrent le mécanisme de formation suivant : à une période d'alimentation détritique active dans un milieu parcouru de courants divaguants, succède une phase de ralentissement de la sédimentation. L'étalement du matériel se réalise alors presque normalement, c'est-à-dire en laminae plus ou moins horizontales. Puis la violence des courants diminue, l'apport détritique grossier cesse. Les petites particules tenues en suspension durant les phases d'agitation se déposent sur une topo-

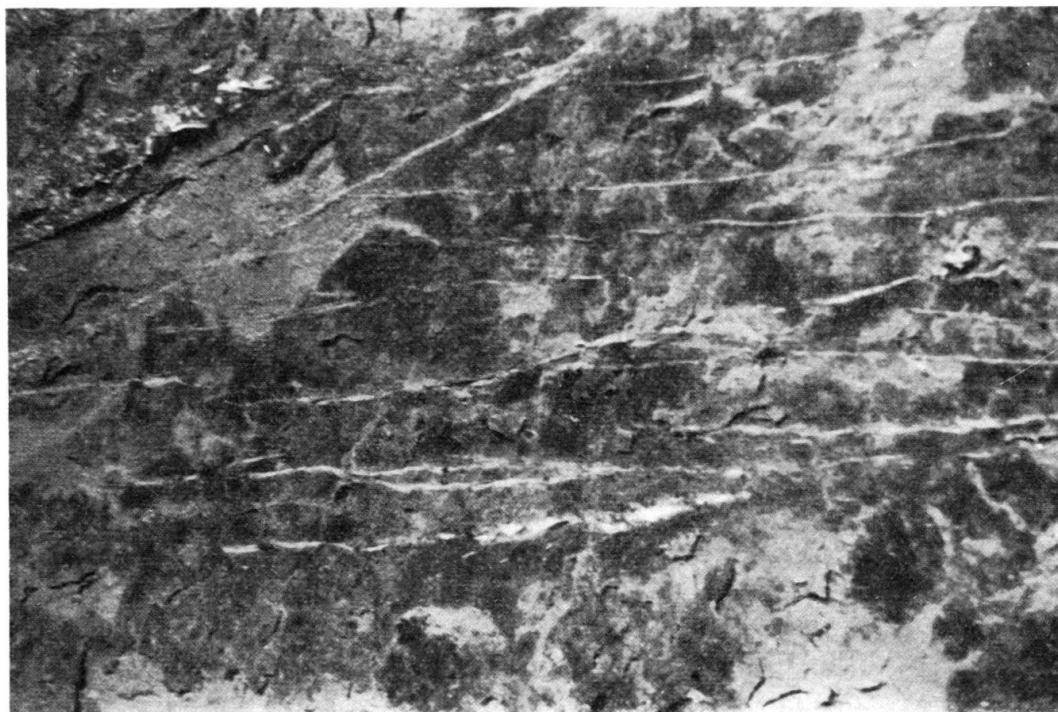


Fig. 17. Stratification entrecroisée à lentilles. Molasse marine supérieure. Au Devin, au SW de Forel.

graphie bosselée, se concentrent entre les rides sableuses, où l'agitation de l'eau est pratiquement nulle. Il se forme ainsi des lentilles en clastiques ultrafins.

A ce stade, la sédimentation grossière reprend, parfois précédée d'une phase d'érosion remenant les lentilles. Le sable s'étale d'abord plus ou moins horizontalement, puis, l'alimentation étant toujours plus active, il s'accumule en laminae inclinées.

L'érosion est parfois assez puissante pour remanier des lentilles enfouies en voie de consolidation et disperser leur matériel sous forme de petits galets.

La stratification de l'échantillon du Riau Gresin ressemble aux stratifications fines de marées qui se forment actuellement sur les côtes de la Mer du Nord.

5. Traces d'écoulement

Un échantillon prélevé dans le R. de Seigneux (coord. 174,520/557,180) montre un figuré qui pourrait correspondre à des marques d'écoulement.

Il s'agit de petits sillons subparallèles d'1 mm de profondeur, qui se succèdent tous les 3 à 5 mm. Ils se profilent sur un flanc de ripple marks, dans une marne gréseuse micacée à débris végétaux. Dans le creux de l'ondulation, les rides se resserrent, et passent à une zone bosselée représentant de petits amas de sable soliflué.

6. Load casts

L'échantillon décrit ci-dessous provient du même affleurement que l'échantillon à traces d'écoulement.

Il se présente sous forme d'une plaque de 1–2,5 cm d'épaisseur, en grès fin, dur, enduite d'un film de marnes gréseuses micacées à débris végétaux. Les load casts consistent en boursouflures assez bien individualisées, mais de formes et tailles

très variables. Elles mesurent 1/1,5 cm, 1,5/4,5 cm, 2,2/3 cm, 3/3,5 cm de diamètre; leur profil atteint 1 cm de hauteur au maximum.

7. Galets exotiques

Ils sont associés aux dépôts formés à la suite d'une alimentation détritique très active (faciès coquillier, faciès à stratification oblique et entrecroisée).

La gamme des tailles représentées va de quelques millimètres à plusieurs centimètres (plus grand diamètre mesuré: 7,5 cm). La plupart des galets sont subarrondis, quelques-uns arrondis. Beaucoup ont leur surface profondément corrodée. Comme ils sont plus ou moins sphériques, il est difficile de leur trouver une orientation préférentielle au sein de la roche encaissante. Leur distribution dans la matrice est quelconque: les galets y sont isolés, et ne forment pas de zones à forte ou faible concentration. L'affleurement de Lucens (voir p. 215) fait seul exception: à certains niveaux, les galets sont tellement nombreux qu'ils forment de véritables lits graveleux.

Quelques éléments ont été échantillonnés aux fins d'une détermination pétrographique. M. J. DUDLER¹⁾ a identifié: granites communs, granites à deux micas et hornblende, granites rouges, diabases, quartzites, gneiss, schistes à hornblende et schistes métamorphiques divers; enfin, de rares éléments sédimentaires: grès du Carbonifère, grès du Permien, grès siliceux, calcaires siliceux, radiolarites.

Quartzites et granites sont les variétés les plus fréquentes. Les granites et les gneiss sont altérés.

La forme subarrondie des galets, et la prédominance d'éléments cristallins, durs, suggère une longue phase de transport. Elle explique peut-être aussi leur distribution dans la matrice: isolés, et non en nids. Seuls quelques galets ayant acquis un certain degré d'arrondi pouvaient être roulés au large par les courants marins.

Devant la taille souvent considérable des éléments, il faut admettre que la mer était peu profonde, et sillonnée de courants violents. Dans la Manche, par exemple, mer particulièrement agitée, les courants ne déplacent plus les petites pierres au-delà de l'isobathe —30. (L. DAN-GEARD, 1929). «C'est donc à une profondeur moindre que se sont déposés les sédiments contenant des graviers, petits à galets... Les véritables galets, de plusieurs centimètres, impliquent des courants de l'ordre de 1 m/sec., ce qui, sauf localement pour les courants de marée, ne peut guère exister au delà de 10 à 12 m au-dessous du niveau des plus basses mers.» (M. DREYFUSS, 1951, p. 522-523).

La nature pétrographique des galets révèle une origine alpine.

8. Galets marneux

On en trouve dans la MDI et dans la MMS; mais comme ils sont associés aux faciès grossiers, c'est dans les niveaux inférieurs de cette dernière formation qu'ils sont les plus nombreux.

L'affleurement type a été choisi dans le R. du Grau Pissiau, petit affluent de la Broye qui coule entre Lucens et Villeneuve. En remontant le chemin qui longe sa rive gauche depuis la ferme de la Baume, on atteint un gué. L'affleurement décrit ci-dessous (fig. 18) se trouve juste à droite (coord. 175,710/555,280).

1. Débris	
2. Grès fin micacé	0,95 m

¹⁾ Assistant à l'Institut de Minéralogie et Pétrographie.

3. Grès grossier à galets exotiques et marneux; fragments de bois	0,82 m
4. Grès fin à zones de marnes gréseuses	0,07 m
5. Grès moyen à galets marneux et quelques petits galets exotiques	0,55 m
6. Grès fin, feuilleté	0,30 m

C'est au milieu du banc 3 que les galets marneux sont les plus abondants. A l'affleurement, ils présentent une section de forme généralement ovale (avec grand axe parallèle à la stratification), parfois circulaire. Ceci indique que leur forme actuelle est primaire et que la forme ovale de certains galets n'est pas due au poids des sédiments superposés. Tous sont bien arrondis. Ils sont répartis de façon quelconque dans la matrice, mais sans se toucher.

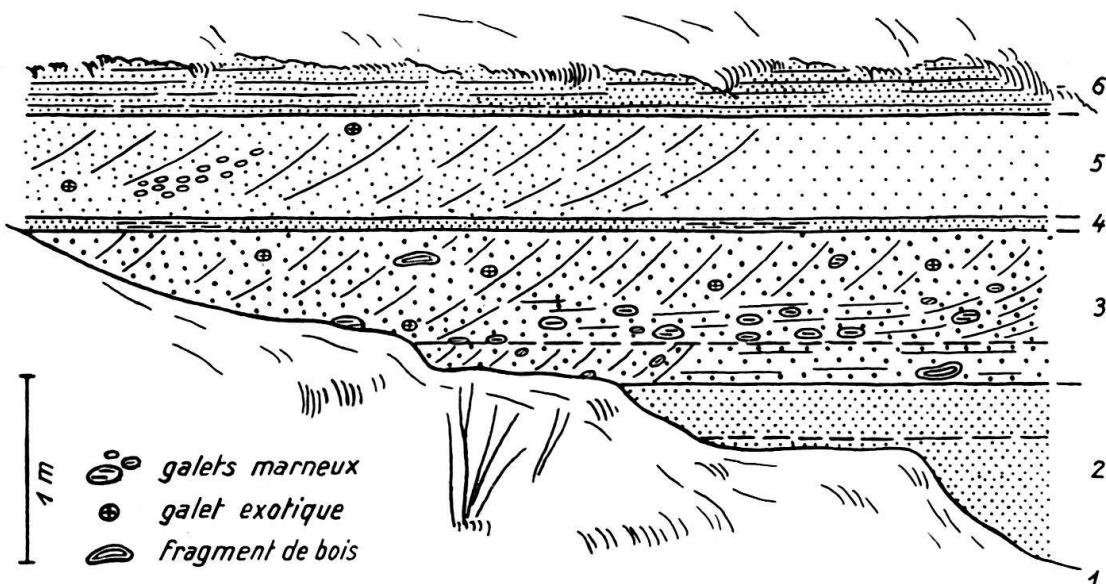


Fig. 18. Affleurement de grès à galets marneux. Molasse marine supérieure. R. du Grau Pissiau, rive gauche de la Broye.

La marne qui les compose est compacte, très pure; elle contient parfois des paillettes de mica à peine visibles à l'œil nu. Sa couleur est verte, gris clair, ou noire. Voici quelques dimensions de galets: 2/2,5 cm, 4/12 cm, 6/12 cm, 7/14 cm, 7/15 cm.

Dans le banc 5, les galets marneux se concentrent en traînées. Ils sont plus petits: 0,5 à 2,5 cm de diamètre maximum.

Ces galets ne résultent pas de l'érosion de niveaux marneux formés dans la mer des environs de Lucens. En effet, les marnes qui sont stratifiées dans la Molasse marine sont différentes: gréseuses, peu compactes, et jamais de couleur verte. D'autre part, elles se présentent sous forme de niveaux de quelques millimètres d'épaisseur, alors que la taille des galets indique qu'ils ont pris naissance aux dépens de lits beaucoup plus épais.

La marne des galets ressemble plus aux marnes d'eau douce. Elle doit s'être déposée en milieu lacustre ou fluviatile, sur les aires deltaïques qui bordaient la mer au SE. En période de crues, les fleuves remanient de grandes lentilles d'argile en voie de consolidation, en dispersaient une partie du matériel sous forme de galets qui roulaient jusqu'à la mer. Repris par les courants, ces galets sont transportés au large, mêlés à des sables grossiers, des galets exotiques et des fragments de bois. La sédimentation de ce matériel grossier donne un faciès caractéristique, d'où se dégage avec force l'impression d'un apport actif.

Signalons que d'après L. BERTHOIS (1952, p. 266), «les galets argileux paraissent pouvoir supporter un transport important avant d'être totalement désagrégés.»

9. Concrétions gréuses

Les affleurements de grès moyen et grossier, particulièrement ceux du faciès à lentilles, montrent souvent des zones en saillie de forme plus ou moins lenticulaire. Il s'agit de concrétions gréuses résultant d'une cimentation locale très poussée.

Ce phénomène de concrétionnement est réalisé à l'affleurement à stratification entrecroisée de Lucens, étudié p. 220. Sur la figure 16, on distingue de grandes lentilles gris clair en saillie. Leur mur, sur 0,5 à 5 cm d'épaisseur, est en grès fin micacé. Leur toit, qui représente en général plus de la moitié de l'épaisseur, est pétrographiquement identique à la roche encaissante, ici un grès grossier à très grossier, chargé de galets exotiques.

Il s'agit donc de lentilles de surcimentation.

Comme ces concrétions se forment au-dessus de niveaux en clastiques fins ou ultrafins, on peut expliquer leur genèse de la façon suivante: la circulation, dans les grès moyen et grossier, d'eaux chargées de bicarbonate de calcium est bloquée par des horizons de grès fin ou de marnes gréuses. L'eau se rassemble au-dessus de ce niveau plus ou moins imperméable. Si les conditions locales le permettent, elle s'écoule vers la surface topographique, où il y a évaporation et précipitation du carbonate de calcium. Pendant ce temps, l'érosion de l'affleurement joue de façon sélective: la roche mal cimentée se désagrège rapidement, alors que la tranche de grès à travers laquelle s'écoule l'eau reste en saillie, sa cimentation par le CaCO_3 étant beaucoup plus poussée.

10. Nodules

Sur la rive droite du Recoulet, 70 m en amont de sa confluence avec la Cerjaule (coord. 173,920/553,320), un banc de grès grossier a livré un nodule pyriteux.

La partie échantillonnée est lourde, de forme subrectangulaire aux arêtes arrondies, et mesure 2/6, 5/7 cm. Elle est faite d'un grès fin très mal classé, à éléments moyens. Sur la cassure, les teintes se disposent concentriquement: le cœur du nodule est grisâtre, l'auréole externe gris-brun foncé sur environ 5 mm d'épaisseur. L'ensemble est constellé de petits points jaunes, brillants, qui représentent la pyrite. Quelques clastiques grossiers ressortent en blanc.

Ce grès réagit très faiblement à HCl concentré.

En coupe mince, on reconnaît des grains de quartz subanguleux à extinction roulante, du plagioclase à macles polysynthétiques, parfois altéré, de l'orthose altérée, le tout pris dans un ciment pyriteux noir.

11. Géodes

Ce type de structure chimique n'a été rencontré qu'à un seul affleurement. Sur la rive droite de la Cerjaule, 700 m au NW de Lucens (coord. 173,870/553,730), un banc de grès moyen à grossier renferme une poche de grès fin micacé, à Bivalves et fragment de feuille.

Dans l'échantillon récolté, les valves, à l'état de moules ou recristallisées, sont disposées sans orientation préférentielle. Elles sont le plus souvent isolées, mais on trouve des moules internes et externes figurant les deux valves en connexion. Dans ce cas, il arrive que l'espace compris entre les deux valves, c'est-à-dire l'habitat, se présente sous forme d'une cavité lenticulaire aux parois tapissées de petits cristaux de calcite.

Ces géodes ont pu se former de la façon suivante: des coquilles de Bivalves transportées par les courants marins se sédimentent mélangées à du sable fin. L'ajustement d'une valve sur l'autre

s'étant préalablement réalisé de telle manière qu'il n'existe aucune ouverture par où le matériel détritique puisse s'infiltrer, il se forme une cavité dans la roche. Au cours de la diagénèse, elle a servi de chambre de cristallisation à d'innombrables petits cristaux de calcite formés aux dépens d'eaux minéralisées circulant à l'intérieur du grès.

E. Pétrographie sédimentaire et faciès

Les caractères lithologiques analysés au cours de ce chapitre, particulièrement ceux qui ont trait à la structure et à la texture des sédiments, n'apparaissent pas de façon quelconque à l'affleurement. Ils se groupent en associations déterminées pour former des faciès¹⁾. L'originalité de chacun d'eux résulte de l'existence, au moment de leur genèse, d'un «climat» sous-marin particulier.

Voici les faciès reconnus²⁾:

1. *Faciès des grès dallés* (= f. à niveaux marneux continus, RUMEAU, 1954, p. 47;
= f. à moellons, CRAUSAZ, 1959, p. 43)



Fig. 19. Faciès des grès dallés. Lucens, route de Cremin.

Caractères distinctifs: ce faciès est formé d'une succession de bancs de grès fin micacé, mesurant une cinquantaine de centimètres d'épaisseur, séparés par des joints marno-gréseux de quelques millimètres d'épaisseur.

Affleurement type: Lucens (fig. 19; description p. 210).

¹⁾ Le terme «faciès» est pris dans le sens que lui donne E. HAUG (1921): «... la somme des caractères lithologiques et paléontologiques que présente un dépôt en un point déterminé.» (p. 145).

²⁾ Au cours de l'été 1960, MM. L. PUGIN, CH. EMMENEGGER, J. P. DORTHE et l'auteur ont repris l'étude d'une série d'affleurements de Molasse marine, répartis sur l'ensemble du Plateau fribourgeois. La classification adoptée ici tient largement compte des suggestions émises à cette occasion.

2. *Faciès des grès plaquetés* (= id. CRAUSAZ, 1959, p. 44;
 = f. des grès litées, SIEBER, 1959, p. 168;
 = f. à niveaux marneux, INGLIN, 1960, p. 36)

Ce faciès est illustré dans le travail de C. U. CRAUSAZ (1959, fig. 15, p. 45).

Caractères distinctifs: il s'agit d'une succession de petits bancs de grès fin de 0,7 à 8 cm et plus d'épaisseur, ou d'une alternance de niveaux de grès très fin, fin et moyen. Les bancs sont séparés ou non par des joints marno-gréseux. La stratification est horizontale plane.

Affleurement type: R. de Seigneux (description p. 211).

3. *Faciès des grès à ripple marks* (= f. à rides de plage, CRAUSAZ, 1959, p. 45;
 = f. onduleux concrétionné, CRAUSAZ, 1959, p. 46;
 = f. des grès onduleux, SIEBER, 1959, p. 170;
 = f. à grès plaquetés, INGLIN, 1960, p. 30)

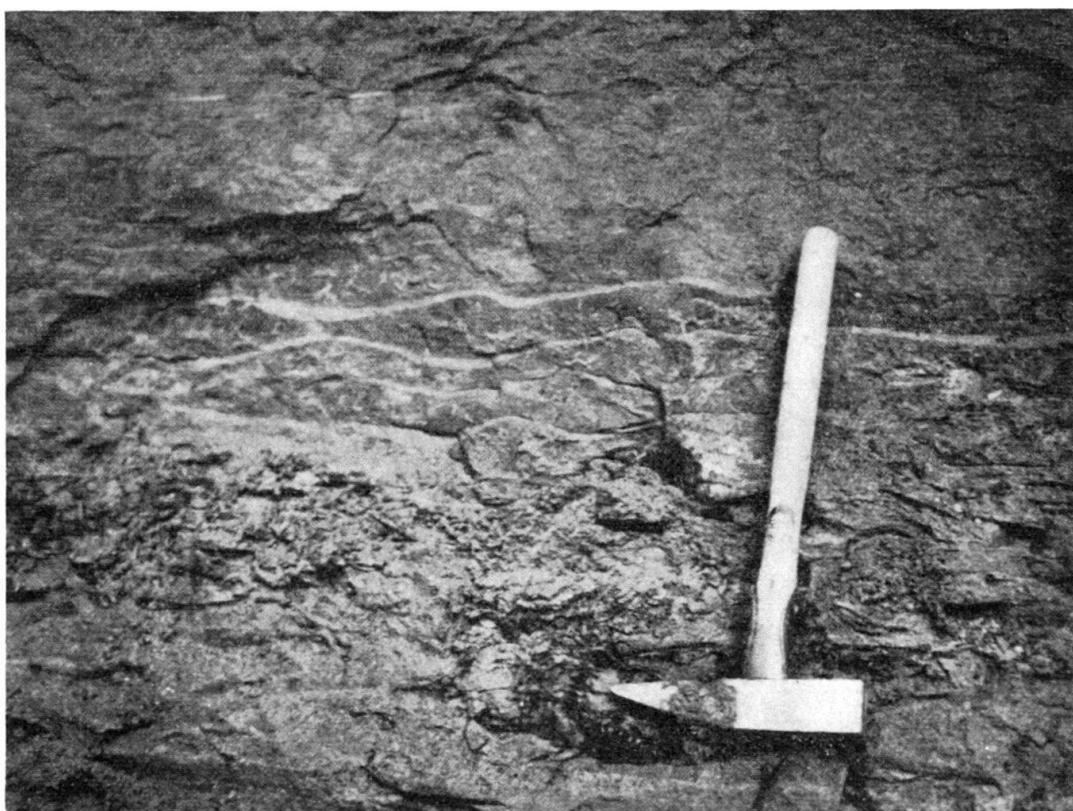


Fig. 20. Faciès des grès à ripple marks. Riau Gresin, 130 m en amont de la route Moudon-Lucens.

Caractères distinctifs: le grès est fin à moyen, parcouru de niveaux marno-gréseux ondulés de 2 à 20 mm d'épaisseur, se succédant tous les 1 à 4 cm.

Affleurement type: Riau Gresin (fig. 20; description p. 211).

4. *Faciès des grès à stratification oblique*

Caractères distinctifs: on a, soit une alternance de laminae de grès moyen à grossier et de laminae en clastiques fins, soit un grès grossier plaqué. Les galets

exotiques et les Bivalves sont plus ou moins abondants. La structure oblique est du type diagonal ou arqué, le pendage apparent compris entre 11 et 20°.

Affleurement type: Lucens (fig. 21, partie inférieure; description p. 215).



Fig. 21. Faciès des grès à stratification oblique. Lucens, route de Cremin.



Fig. 22. Faciès des grès à stratification entrecroisée (vue oblique). Ruisseau de Villeneuve, à l'W du village.

5. Faciès des grès à stratification entrecroisée (= f. à stratification entrecroisée, INGLIN, 1960, p. 25)

Caractères distinctifs: en général, il s'agit de laminae arquées de granulométrie alternativement moyenne ou grossière et fine, assemblées en groupes limités par des surfaces d'érosion. Les galets exotiques et marneux, les débris végétaux grossiers sont relativement abondants.

Affleurement type: ruisseau de Villeneuve (fig. 22; description p. 231).

6. Faciès des grès à lentilles (= f. à lentilles, RUMEAU, 1954, p. 43;
 = f. à lentilles ou à stratification entrecroisée, CRAUSAZ, 1959, p. 48;
 = f. à lentilles, SIEBER, 1959, p. 172;
 = f. à lentilles, INGLIN, 1960, p. 32)

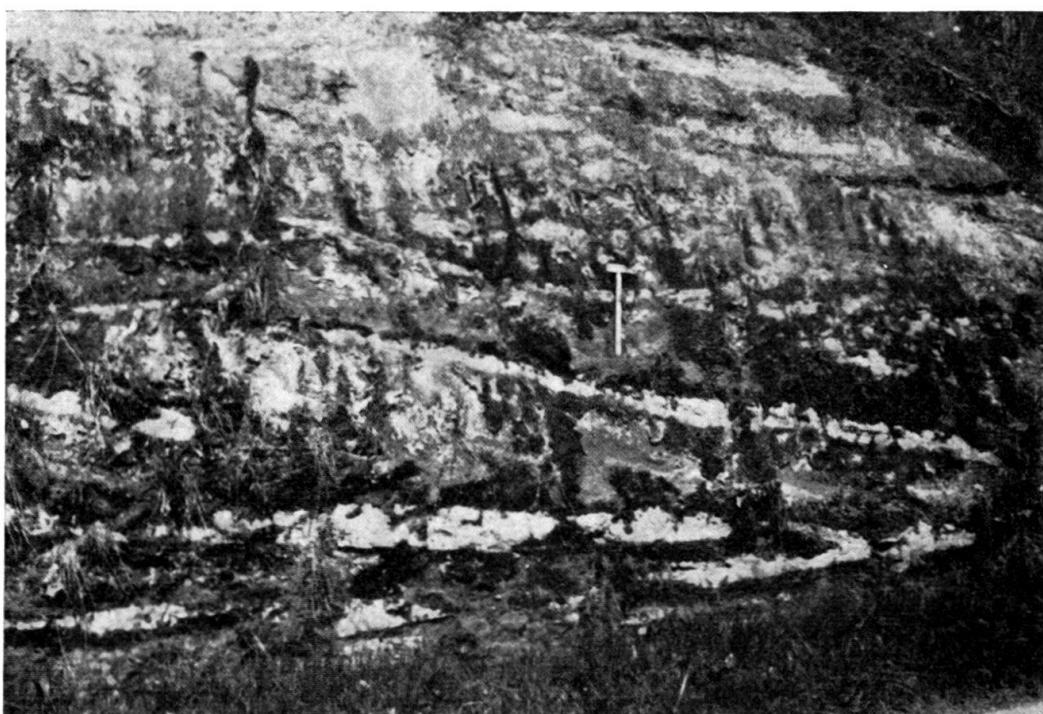


Fig. 23. Faciès des grès à lentilles. Lucens, route de Cremin.

Ce faciès se présente sous deux variétés:

a) grès grossier à très grossier, à galets exotiques, lardé de lentilles de grès fin ou très fin, mesurant 1 à 5 cm d'épaisseur sur 50 à 200 cm de long; les galets exotiques et marneux abondent localement;

b) grès fin à lentilles de marnes gréseuses mesurant 2 à 5 mm sur 1 à 2 m.

Dans les deux cas, la stratification est entrecroisée.

Affleurement type: Lucens (fig. 23). Il se trouve quelques mètres au SW de l'affleurement de grès à stratification oblique décrit p. 215.

Dans un grès grossier friable, jaune-vert clair, à galets exotiques, s'intercalent des lentilles de grès fin micacé, assez dur, de couleur gris-vert. Elles mesurent 1 à

4,5 cm d'épaisseur sur 1 à 2 m de long. La stratification est entrecroisée.
A la base de l'affleurement, le grès adopte une structure oblique.

7. *Faciès des grès coquilliers* (= f. coquillier, RUMEAU, 1954, p. 52;
= f. coquillier, INGLIN, 1960, p. 39)

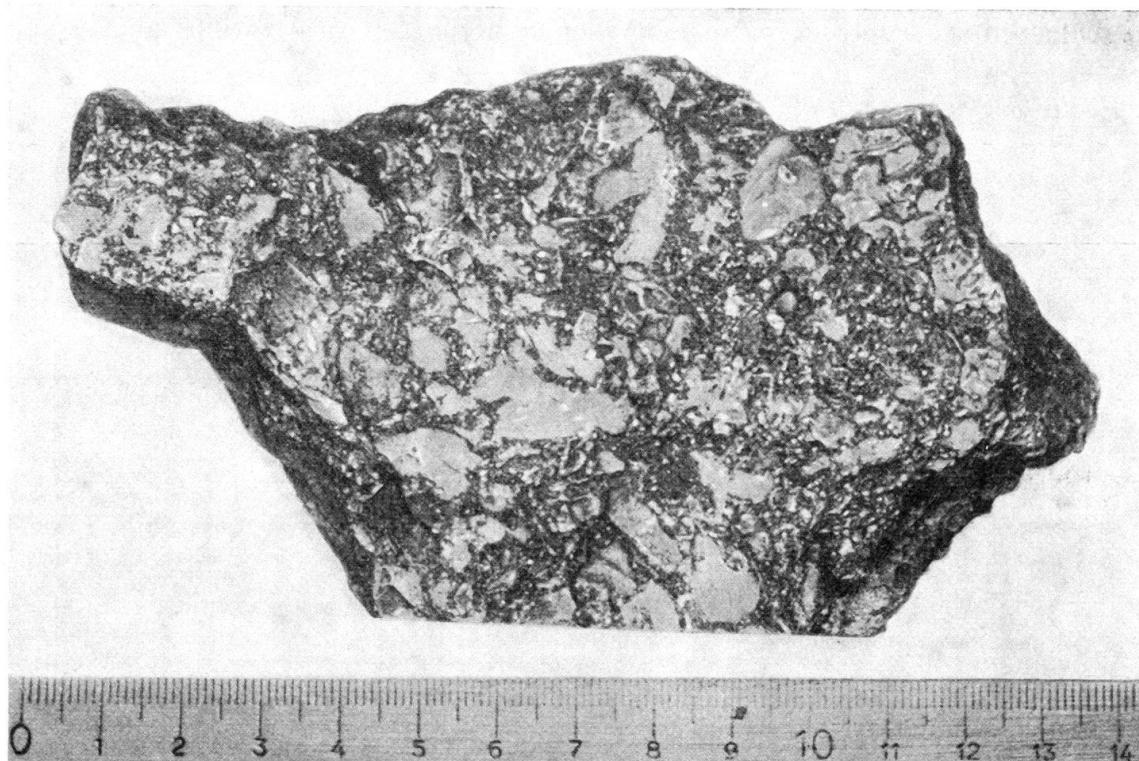


Fig. 24. Lumachelle gréseuse (les débris de valves apparaissent en gris clair sur la photographie).
Molasse marine supérieure. Aclex, au SE de Nuvilly.

Bien que la structure du grès coquillier soit oblique ou entrecroisée, il est préférable, pour des raisons paléogéographiques, de le considérer sous l'angle du bio-faciès.

Le faciès coquillier sera étudié en détail au chapitre consacré à la stratigraphie.
Affleurement type: Aclex (voir p. 239).

II. Stratigraphie

Faciès et subdivisions

Une subdivision lithostratigraphique de la MMS est la seule qui puisse être envisagée, car la faune est inutilisable.

Les subdivisions ont été établies en fonction de la distribution verticale des faciès. En remontant les petits affluents de la Broye, on constate qu'ils ont tendance à se localiser à des niveaux déterminés de la MMS¹⁾: les faciès à stratification oblique

¹⁾ Cette localisation n'est pas rigoureuse, certains faciès sont récurrents. Mais ils ne jouent alors qu'un rôle secondaire vis-à-vis d'un autre faciès dominant.

et entrecroisée dominent à la base, le faciès à lentilles dans la partie moyenne, et le faciès coquillier au sommet.

On peut donc distinguer trois niveaux lithologiques caractérisés chacun par la prédominance d'un ou de plusieurs faciès.

Voici comment s'ordonne la coupe lithostratigraphique schématique (fig. 25):

Molasse marine supérieure	niv. sup.	Série des grès coquilliers	$\pm 60 + X$ m
	niv. moy.	Série des grès à lentilles	± 155 m
	niv. inf.	Série des grès à stratification entrecroisée	± 55 m

Fig. 25. Coupe lithostratigraphique schématique de la MMS des environs de Lucens.

A. La «Série des grès à stratification entrecroisée»

Caractères distinctifs

Les 50 premiers mètres de Molasse marine sont caractérisés par la prédominance du faciès à stratification entrecroisée. Les grès qui le composent appartiennent, pour une grande part, aux variétés grossières, et se chargent de galets exotiques et marneux, de restes végétaux grossiers.

Ces caractères n'affectent pas l'ensemble de la série. Ils sont cependant assez fréquemment réalisés pour conférer une personnalité propre au niveau inférieur de la Molasse marine.

L'impression d'ensemble qui se dégage de l'analyse lithologique est celle d'un changement continual et rapide des processus de sédimentation, reflet de l'instabilité extrême d'un régime en voie d'établissement.

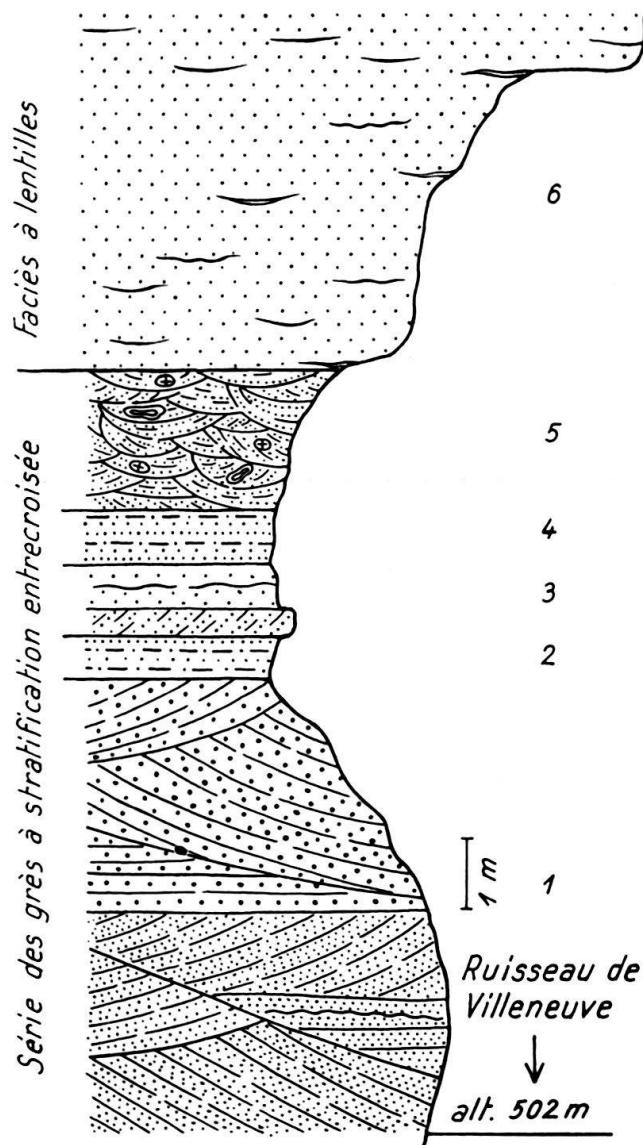
Affleurement type du ruisseau de Villeneuve

Avant de sortir des gorges de Surpierre, 400 m à l'W de Villeneuve, le ruisseau coule au pied d'un surplomb molassique (coord. 177,390/556,040). L'affleurement, bien dégagé, mesure plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Sa partie inférieure, seule accessible, présente la succession lithologique illustrée par la figure 26.

Dans le terme 1, la stratification entrecroisée se présente à grande échelle.

Le banc 3 se terminant en biseau vers l'amont, les niveaux 2 et 4 fusionnent pour former un banc unique de 1,10 m d'épaisseur sur une vingtaine de mètres de longueur. Sa succession lithologique très particulière a déjà fait l'objet d'une étude détaillée (voir p. 211).

L'avant-dernier banc montre une superbe stratification entrecroisée (voir fig. 22): alternance de laminae claires en détritiques grossiers et de laminae foncées en matériel plus fin. La direction de plongement des laminae change d'un groupe à l'autre.



1. Grès fin devenant grossier vers le haut, à stratification entrecroisée; niveaux marno-gréseux rectilignes ou ondulés 6,50 m
2. Alternance de lits de grès moyen, fin, très fin et de marnes gréuses 0,60 m
3. Grès moyen à stratification oblique; vers le haut, niveaux ondulés de marnes gréuses à débris végétaux . . . 1,00 m
4. Idem 2 0,80 m
5. Grès grossier à stratification entrecroisée; galets exotiques et fragments de bois 2,00 m
6. Faciès à lentilles . . . 10 + x m

Fig. 26. Coupe dans la Série des grès à stratification entrecroisée. Molasse marine supérieure. Ruisseau de Villeneuve.

Localement, la stratification est visible dans les trois dimensions, mais l'une est trop mal développée pour qu'on ose tirer des conclusions sur la forme des groupes de laminae.

A partir du terme 6, on passe à la Série des grès à lentilles.

La transgression de la mer molassique supérieure

D'après C. GOUVERNÉT (1958, p. 388) elle « résulte de déplacements verticaux de l'écorce terrestre, certainement en relation avec des mouvements du socle. »

Au cours de ces déplacements, le relief, anté-miocène (relief tectonique et relief d'érosion) s'est trouvé ramené, avant d'avoir été transformé en pénéplaine parfaite à des cotes permettant la transgression de la mer jusqu'à dans le bassin de Vienne.»

D'où vient la mer ? Les documents réunis sur la géologie des environs de Lucens ne permettent pas de répondre à cette question. Pour l'heure, deux écoles s'affrontent : l'une défend une transgression d'E en W, à partir du bassin de Vienne ; l'autre est favorable à une origine méditerranéenne : la mer aurait gagné la Suisse en remontant le couloir rhodanien.

Il faut mentionner, à l'appui de cette dernière théorie, les influences marines décelées dans la MDI de la Perte du Rhône (Ain, France. A. JAYET, 1927), du Jorat et de Sassel.

B. La «Série des grès à lentilles»

Caractères distinctifs

A une cinquantaine de mètres de la base de la MMS, les conditions lithologiques d'ensemble changent. Les grès fins deviennent prépondérants, les clastiques moyens sont relativement abondants, les détritiques grossiers plutôt rares.

On rencontre encore des galets marneux, mais en moindre quantité que dans la Série des grès à stratification entrecroisée, et leur taille est généralement plus réduite. Quant aux galets exotiques et aux débris végétaux grossiers, ils sont peu fréquents.

Le faciès à lentilles domine. Il se présente sous forme de niveaux de grès fin à lentilles marno-gréseuses ou de clastiques plus grossiers à lentilles de grès fin micacé. Les lentilles sont souvent disposées en structure entrecroisée. Ces niveaux peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

Les faciès des grès dallés, plaquetés, et à ripple marks se manifestent aussi.

Par contre, les faciès des grès à stratification oblique et à stratification entrecroisée sont peu répandus.

La Série des grès à lentilles se développe sur environ 120 m de hauteur dans la vallée de la Broye, 190 m dans la région d'Hennens. Elle a été élaborée durant la phase d'inondation du cycle de la MMS. En s'étendant plus largement dans le sillon péricalpin, la mer a déplacé ses rivages. Les conditions de sédimentation, dans les environs de Lucens, ne sont plus aussi instables que durant la phase de transgression.

Description des affleurements

1. Ruisseau de Roche Cuennat:

Un petit affluent rive gauche de la Broye, 2,2 km au SW de Lucens, permet de lever une coupe continue sur une cinquantaine de mètres de hauteur. Elle débute 350 m en amont de la confluence du ruisseau avec la Broye, soit à 530 m d'altitude (coord. 171, 470/553, 050), et se termine à environ 580 m d'altitude.

La figure 27 illustre la succession rencontrée.

Les niveaux de marnes gréseuses sont rectilignes ou ondulés, ce dernier type étant le moins souvent réalisé. Leur inclinaison dépend de la topographie du substratum sur lequel ils se sont formés.

Dans le banc 4, le grès sus-jacent aux lentilles de marnes gréseuses a subi une cimentation plus poussée, donnant de grandes lentilles blanchâtres pareilles à celles de Lucens (voir p. 221).

La structure oblique réalisée au banc 9 consiste en groupes de laminae traversant le banc sur toute son épaisseur.

Comparée à la coupe de Villeneuve, celle de Roche Cuennat dégage une impression de calme: les grès grossiers, les galets exotiques et marneux ont disparu, céderont la place aux détritiques fins. De fréquents ralentissements de l'apport sédimentaire permettent aux particules en suspension de se décanter sur une topographie du fond plus ou moins horizontale.

Le banc 13 forme la base de la Série des grès coquilliers.

- | | |
|---|---------|
| 1. Grès fin à lentilles de marnes gréseuses | 1,50 m |
| 2. Grès fin à petits galets marneux; zones de grès moyen et lentilles de marnes gréseuses parfois ondulées | 5,10 m |
| 3. Grès fin à niveaux marneux | 2,30 m |
| 4. Grès fin à moyen à fragments de bois; stratification entrecroisée; lentilles ondulées de marnes gréseuses micacées à débris végétaux | 10,00 m |
| 5. Grès fin à très fin, micacé; niveaux ondulés de marnes gréseuses | 2,00 m |
| 6. Grès moyen passant vers le haut à un grès fin; lentilles de marnes gréseuses | 5,80 m |
| 7. Grès moyen; lentilles et niveaux marneux inclinés ou horizontaux | 3,35 m |
| 8. Idem 3 | 1,40 m |
| 9. Grès moyen à stratification oblique | 5,00 m |
| 10. Idem 1 | 2,00 m |
| 11. Idem 3; niveaux marneux rectilignes ou ondulés, horizontaux ou obliques | 1,20 m |
| 12. Idem 1 | 9,00 m |
| 13. Grès coquillier: grès grossier à galets exotiques et fragments de bois; moules de Bivalves; bancs de grès fin | 3,00 m |
| 14. Débris | |

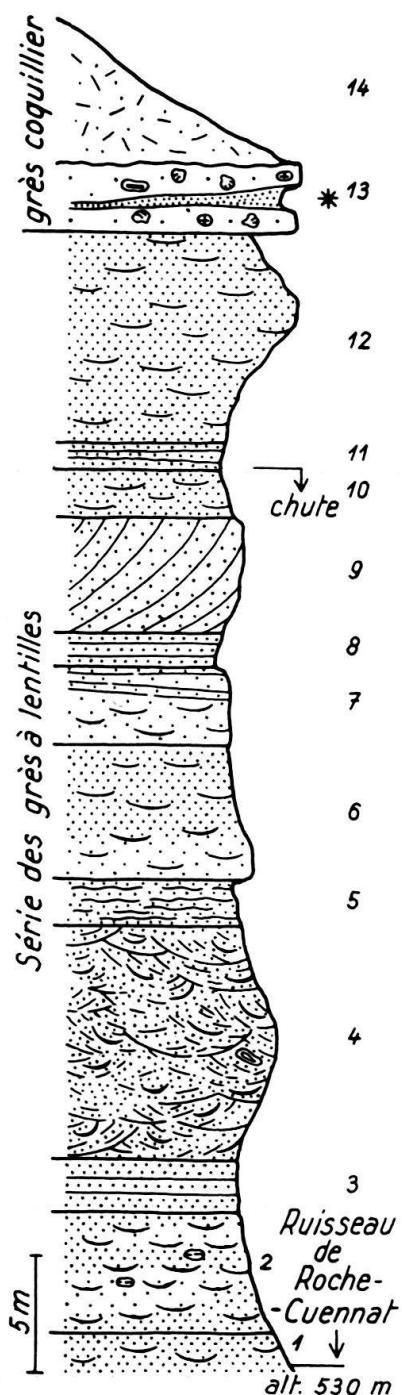


Fig. 27. Coupe dans la Série des grès à lentilles. Molasse marine supérieure. Ruisseau de Roche Cuennat, rive gauche de la Broye.

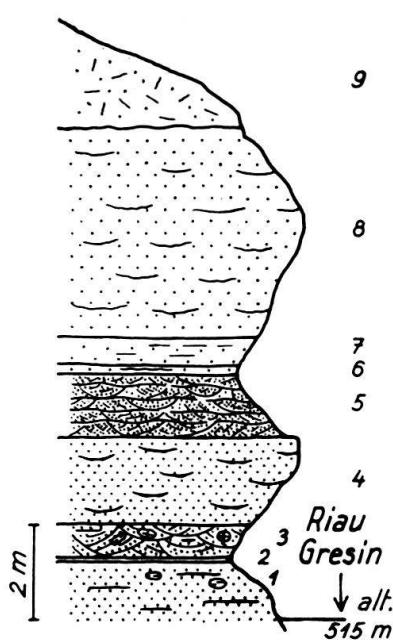
2. Lucens: Voir p. 210.

3. Riau Gresin:

Ce ruisseau longe la limite SW de la carte. 130 m en amont de la route Moudon-Lucens, il fait un coude brusque, et coule au pied d'une paroi molassique de 10 m de haut (coord. 170,100/552,250).

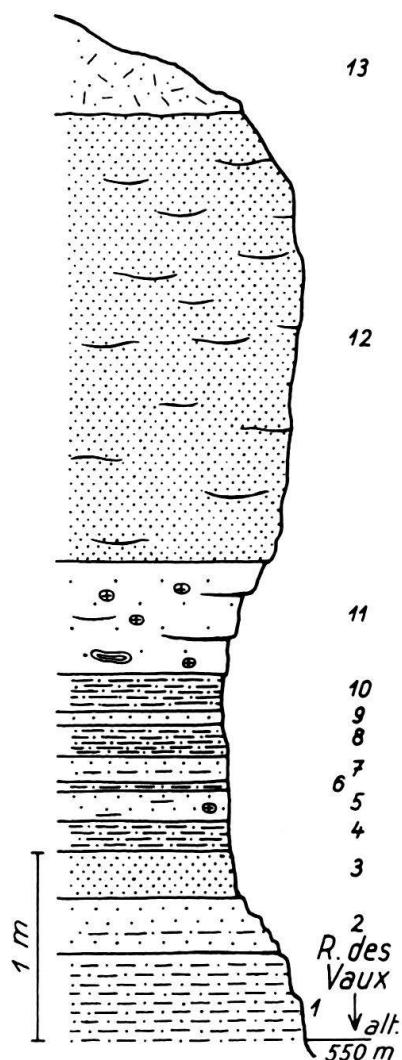
En voici la coupe (fig. 28).

Dans le banc 3, les galets marneux sont aplatis, leur grand axe étant parallèle à la stratification. Ils peuvent atteindre 11 cm de diamètre.



1.	Grès fin, à zones et galets marneux	0,70 m
2.	Marnes gréseuses gris foncé, à débris végétaux; au sommet, marnes brunes	0,09 m
3.	Grès moyen à grossier, à galets exotiques et marneux; fragments de bois; stratification entrecroisée; lentilles de marnes gréseuses	0,70 m
4.	Grès fin à lentilles ondulées de marnes gréseuses	1,80 m
5.	Grès fin à moyen, gris-vert, à laminae de grès grossier; stratification interne entrecroisée; niveaux ondulés de marnes gréseuses à débris végétaux . . .	1,35 m
6.	Grès moyen à niveaux ondulés de marnes gréseuses brunâtres	0,20 m
7.	Grès moyen lité	0,60 m
8.	Grès fin à moyen, à lentilles de marnes gréseuses	4,50 m
9.	Débris	

Fig. 28. Coupe dans la Série des grès à lentilles. Molasse marine supérieure. Riau Gresin, rive gauche de la Broye.



1.	Marnes gréseuses dures, brunes	0,45 m
2.	Grès moyen à niveaux de marnes gréseuses	0,30 m
3.	Grès très fin, micacé, dur, de couleur bleuâtre	0,25 m
4.	Idem 1	0,15 m
5.	Grès moyen à rares galets exotiques; zones intramarneuses	0,16 m
6.	Idem 1; zones de grès moyen; couleur verte et brune	0,06 m
7.	Grès fin à moyen, brun, dur, à niveaux de marnes gréseuses brunes	0,13 m
8.	Idem 1; couleur brune et bleue; zones de grès moyen	0,17 m
9.	Grès moyen dur, brun, à cœur bleuâtre	0,06 m
10.	Idem 8	0,20 m
11.	Grès grossier à très grossier, à galets exotiques et fragments de bois; lentilles marno-gréseuses	0,60 m
12.	Grès fin à lentilles de marnes gréseuses	2,40 m
13.	Débris	

Fig. 29. Coupe dans la Série des grès à lentilles. Molasse marine supérieure. R. des Vaux.

Le terme 5 appartient au faciès des grès à ripple marks. Il est fait d'une succession de niveaux marno-gréseux ondulés qui se répètent tous les 1 à 4 cm. Ces niveaux moulent des grès mal classés, qui se débitent en bâtons subrectangulaires. Leur stratification interne est décrite p. 219.

4. R. des Vaux:

Ce ruisseau a mis à jour un faciès de la MMS qu'on ne trouve nulle part ailleurs dans la région prospectée. L'affleurement est situé 300 m au S du moulin de Curtilles, dans un coude du R. des Vaux, sur la rive gauche (coord. 171,540/555,230).

La succession lithologique est représentée par la figure 29.

Les bancs 1 à 10 forment une unité lithogénétique. Sa stratification, horizontale, est bien marquée. La roche se débite en plaques rectangulaires.

La répartition de la couleur est indépendante de la granulométrie, les limites de teintes recoupent les strates obliquement. Dans le banc 8, par exemple, on passe latéralement du bleu au brun.

Les zones de grès moyen lardant les marnes gréseuses ne sont pas continues, mais forment de petites lentilles de quelques centimètres de longueur. Les marnes gréseuses sont finement litées.

Le contact entre bancs 10 et 11 est horizontal, le passage de l'un à l'autre se fait sans transition. Le complexe supérieur appartient au faciès à lentilles.

C. La «Série des grès coquilliers»

Caractères distinctifs

Le toit de la MMS est caractérisé par la présence d'horizons de grès coquillier. Ils mesurent entre 1 et plus de 10 m d'épaisseur. Sur le versant gauche de la vallée de la Broye, le premier apparaît à 170 ou 200 m de la base de la formation.

Entre les horizons de grès coquillier se développent le faciès à lentilles et le faciès plaqueté. Ce dernier niveau de la subdivision lithostratigraphique ne correspond donc pas à un changement d'ensemble des conditions de sédimentation.

L'épaisseur de la Série des grès coquilliers est variable: 30 m à Roche Cuennat, 50 m dans la région de Neyruz-Villars le Comte, 70 m à la Vignette, au SSW de Surpierre. Son toit est érodé.

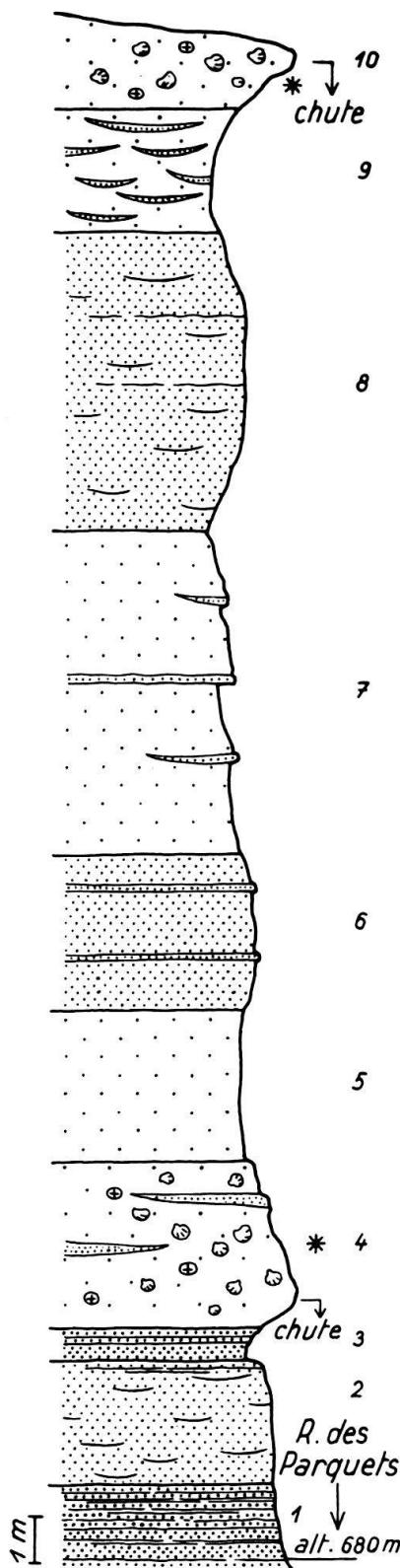
La coupe du R. des Parquets

Cet affluent rive gauche de la Cerjaule coule au SW d'Oulens. Dans les 300 premiers mètres de son cours, il recoupe trois bancs de grès coquillier, situés respectivement à 710, 685 et 660 m d'altitude.

La coupe ci-jointe (fig. 30), levée à partir de l'intersection des coordonnées 172, 660 et 551, 100, montre la succession reconnue entre les deux bancs supérieurs.

L'épaisseur des dalles du grès plaqueté varie d'un terme à l'autre: 1,5 à 2 cm (t. 3), 2 à 13 cm (t. 1). Elle peut aussi varier à l'intérieur d'un même niveau: 13 cm à la base, 2 cm au sommet du terme 1. Ici, la diminution d'épaisseur a lieu progressivement.

Les zones en saillie qui zèbrent l'affleurement résultent d'une surcimentation du grès au toit des lits marneux. Leurs dimensions sont variables: 0,08/2 m (t. 7), 0,08/quelques dizaines de mètres (t. 6).



- | | |
|---|--------|
| 1. Grès fin rendu plaqué par des niveaux de marnes gréseuses bleuâtres | 1,60 m |
| 2. Grès fin à lentilles marno-gréseuses; vers le haut, idem 1 | 2,70 m |
| 3. Grès fin très dur, bleuâtre; les 14 derniers cm sont plaqués | 0,70 m |
| 4. Grès coquillier: grès grossier à galets exotiques et moules de Bivalves; bancs de grès très fin, dur, bleuâtre | 3,60 m |
| 5. Grès moyen à grossier | 3,30 m |
| 6. Grès fin friable; zones dures en saillie . . | 3,40 m |
| 7. Grès moyen à grossier, à lentilles de grès fin, dur, en saillie | 7,00 m |
| 8. Grès fin à niveaux et lentilles de marnes gréseuses | 6,50 m |
| 9. Grès grossier à lentilles de grès fin, dur | 2,70 m |
| 10. Grès coquillier: grès grossier, dur, à galets exotiques et moules de Bivalves | 2,00 m |

Fig. 30. Coupe dans la Série des grès coquilliers. Molasse marine supérieure. R. des Parquets, au S de Vil-lars le Comte.

Dans le banc 9, les lentilles se succèdent très rapidement de bas en haut. Elles présentent également le phénomène de surcimentation du grès sus-jacent, et ressortent en clair sur le fond sombre de la matrice.

Le faciès coquillier

Au point de vue lithologique, il se présente sous deux aspects: grès à empreintes de Bivalves, grès lumachellique-lumachelle gréuseuse.

1. Grès à empreintes de Bivalves (voir H. INGLIN, 1960, p. 42, fig. 11)

Il s'agit d'un grès moyen, grossier ou conglomératique où les valves de Lamelli-branches, généralement intactes et sous forme de moules en grès fin, sont relativement abondantes, pas assez, cependant, pour que la roche puisse être qualifiée de grès lumachellique. Ces roches sont assez dures, chargées de galets exotiques et de débris végétaux souvent grossiers.

Les grès à empreintes de Bivalves forment des complexes à stratification oblique ou entrecroisée.

Dans la carrière du Bois de Verrey (voir ci-dessous), ce type de grès affleure en alternance avec des bancs de grès fin micacé, renfermant de petits débris végétaux, mais pas de Bivalves.

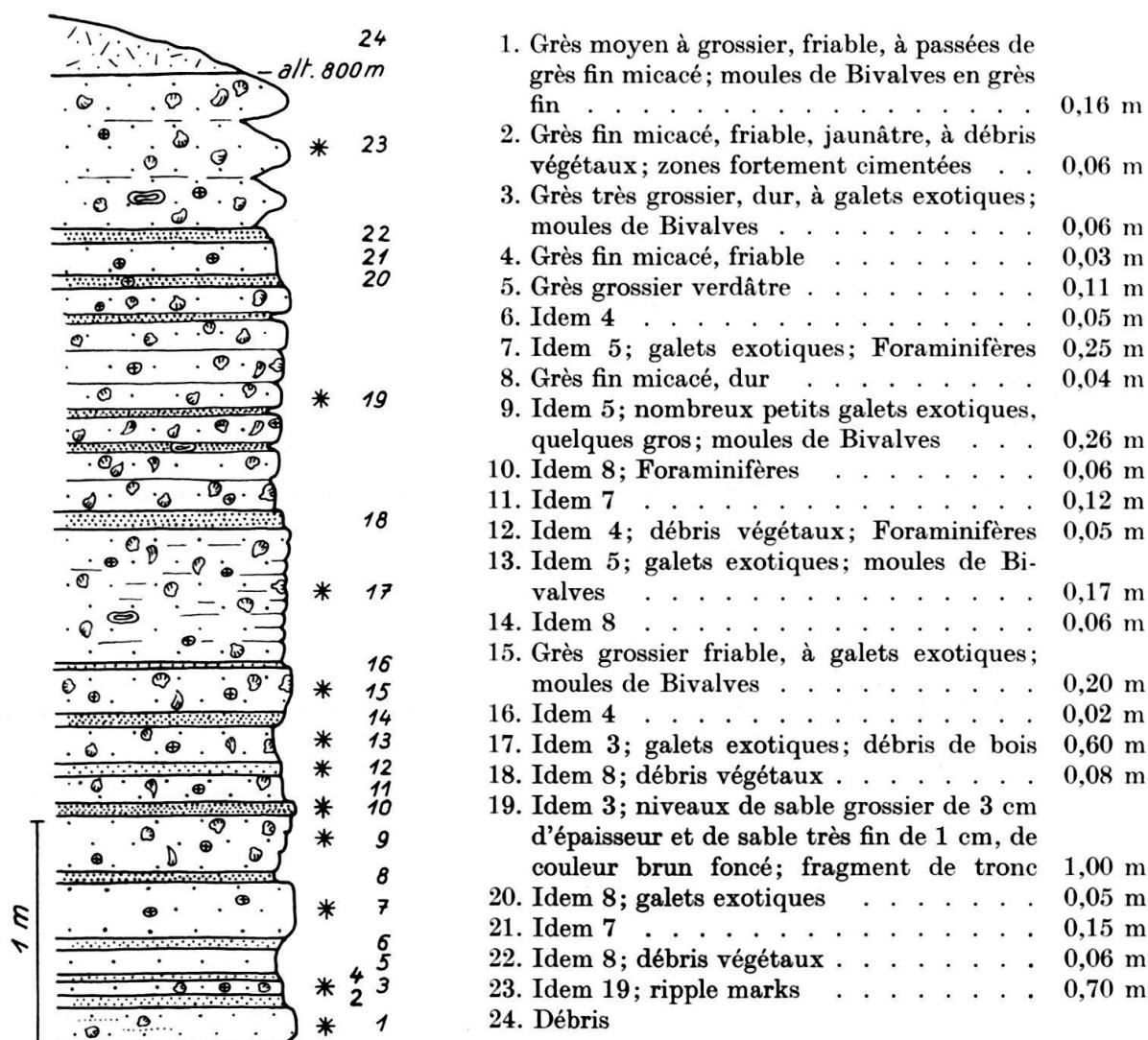


Fig. 31. Coupe dans le faciès coquillier (variété: grès à empreintes de Bivalves). Molasse marine supérieure. Carrière du Bois de Verrey, à l'W de Billens.

Affleurement type du Bois de Verrey:

La figure 31 représente la coupe levée le long du front de taille de l'ancienne carrière du Bois de Verrey, située 1,160 km au SSW de Prévonloup, sur la rive droite de la Broye (coord. 171,150/557).

L'affleurement est formé d'une alternance de bancs de grès grossier vert-jaune clair et de bancs de grès fin plus sombre, gris-vert ou gris foncé. Les niveaux grossiers sont les plus épais.

Cette coupe illustre de façon caractéristique la notion d'association de textures et structures :

a) seuls les détritiques grossiers renferment des galets exotiques (plus grand diamètre mesuré: 49 mm), de gros fragments de bois et des moules de Bivalves. Le banc 20, en grès fin, fait exception: il a livré un petit galet exotique de 7 mm de diamètre.

b) Les grès fins sont riches en muscovite et en débris végétaux pulvérulents. Ils présentent les caractères d'un dépôt de milieu calme.

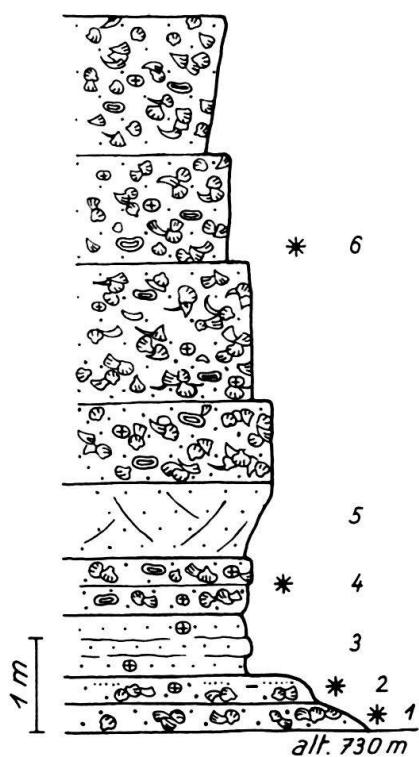
L'affleurement est parcouru de petites failles verticales d'un rejet de quelques centimètres. Elles se succèdent tous les 1 à 1,40 m.

2. Grès lumachellique-lumachelle gréseuse (= grès de la Molière)

Description p. 206.

Ces types de grès forment également des complexes à stratification oblique ou entrecroisée.

Affleurement type d'Aclex NW:



- | | |
|--|--------|
| 1. Grès lumachellique bleuâtre | 0,30 m |
| 2. Grès lumachellique gris, devenant azoïque vers le haut; galets exotiques et fragments de bois lignitisé; zones de grès fin | 0,30 m |
| 3. Grès moyen à galets exotiques; niveaux ondulés de marnes micacées à débris végétaux | 0,65 m |
| 4. Grès lumachellique gris et bleu, à galets exotiques et fragments de bois; le grès se débite en plaques de 5 à 12 cm d'épaisseur | 0,60 m |
| 5. Grès moyen à grossier, à lentilles de marnes gréseuses; stratification entrecroisée | 0,80 m |
| 6. Idem 4; en grosses dalles; Foraminifères | 5,00 m |

Fig. 32. Coupe dans le faciès coquillier (variété: grès lumachellique). Molasse marine supérieure. Aclex, au SE de Nuvilly.

La figure 32 représente une coupe levée au centre du front de taille d'une ancienne carrière, tout près du hameau d'Aclex (coord. 180,830/554,390), au SE de Nuvilly.

Les zones de grès fin qui s'intercalent dans le banc 2 mesurent 5 mm d'épaisseur sur quelques centimètres à 50 cm de long.

Le dernier banc se débite en grosses dalles. Leurs surfaces de contact, soulignées par un liséré brunâtre, traduisent des ralentissements de la sédimentation. Elles correspondent parfois à des niveaux de grès fin de 2-3 mm d'épaisseur.

Le banc 5 montre une stratification interne: des petites lentilles de marnes gréseuses sont inclinées en tous sens, soulignant une structure entrecroisée.

Il est difficile de voir si les changements de couleur sont en relation avec des variations lithologiques; une teinte peut être strictement confinée à un banc, ailleurs (terme 4), on trouve des zones bleues dans un ensemble de couleur grise, sans qu'il y ait, apparemment, changement de la nature de la roche.

3. Biostratonomie

Les Lamellibranches du faciès coquillier ne sont pas en position primaire vraie. Après la mort de l'organisme, les valves ont été déplacées par les vagues ou les courants marins.

Voici les indices qui permettent de conclure au caractère allochtone de la faune:

- a) Les valves ne sont jamais en position de vie.
- b) On ne trouve qu'exceptionnellement les deux valves en connexion naturelle; elles sont isolées.
- c) Les coquilles sont rarement entières, sauf dans le grès à empreintes de Bivalves. Il s'agit de fragments plus ou moins usés, roulés.
- d) Dans le grès à empreintes de Bivalves, le côté convexe de la coquille est tourné vers le haut. Pour A. H. MÜLLER (1950), cette position est l'indice d'un dépôt en milieu subaquatique agité. Sur la plage N de l'Ile d'Ameland (Iles frisonnes occidentales, Pays-Bas), les coquilles de Cardium et de Mya transportées par les vagues et les courants sont déposées avec le côté convexe tourné vers le haut. (Observation personnelle).
- e) Certains niveaux de grès coquillier (Aclex SE) montrent une stratification interne. Elle aurait été détruite par l'activité vitale des organismes (bioremaniemens) si ces derniers étaient en position primaire vraie.
- f) Les bancs de clastiques fins formés en eaux tranquilles ne contiennent pas de Bivalves. Ceux-ci sont toujours associés à des sédiments déposés en présence de courants violents. On est donc conduit à penser que les coquilles ont été apportées par l'eau en mouvement.

Le lieu d'accumulation était vraisemblablement très proche du lieu d'habitat.

4. Conditions de sédimentation

Le faciès coquillier résulte d'une sédimentation rapide en zone littorale prodeltaïque. Le sable, auquel se mêlent des galets exotiques, des valves de Lamellibranches et des restes végétaux flottés par les courants, s'accumule sous une faible tranche d'eau marine en adoptant la structure oblique ou entrecroisée. Des courants violents érodent les sédiments déposés.

Dans les aires calmes, des Bivalves prospèrent. Le remaniement de ces zones par les vagues et les courants entraîne la dispersion des coquilles qui vont se sédimerter ailleurs.

Au NW de la Broye, les conditions biologiques sont très favorables aux Bivalves: les eaux sont moins troubles, et la calcarinité du milieu est plus élevée. Les valves sont plus épaisses, et par suite mieux conservées.

5. Signification paléogéographique

E. GERBER (1932) constate que les galets exotiques du faciès coquillier sont d'origine alpine. Pour arriver dans le Seeland, ils ont dû être transportés par des fleuves depuis le bord alpin à travers un Plateau plus ou moins à sec avant d'être finalement déposés dans la zone subjurassienne. Dans ce cas, le faciès coquillier serait un dépôt de régression.

Mais GERBER note qu'il pourrait également indiquer une transgression.

Vis-à-vis de la Série des grès à lentilles, le faciès coquillier dénoterait plutôt une diminution de la profondeur de la mer. La cause de cette régression peut être vue dans un gain de la sédimentation sur la subsidence.

6. Répartition stratigraphique

Elle diffère suivant les régions. Sur le versant gauche de la Broye, le premier horizon coquillier affleure à environ 170 m du mur de la Molasse marine dans le ruisseau de Cremin, et à 200 m, au S du village de Surpierre. Ces deux niveaux ne sont pas synchroniques.

Au NW de la Lembe, on trouve le premier horizon déjà plus bas dans la série. Voici, à titre d'exemple, la coupe schématique de la Molasse marine du Flon-Riod, près de Cheiry (fig. 33).

Le premier niveau coquillier visible apparaît à une soixantaine de mètres au-dessus du contact MDI/MMS. Les autres à 85, 94, 118 et 125 m. Ils sont du type grès à empreintes de Bivalves. Le niveau 3 forme un remblaiement de chenal d'érosion.

Dans la région de Cheiry, des conditions propices au développement du faciès coquillier ont existé beaucoup plus tôt qu'aux environs de la Broye. Mais les aires soumises à ce type de sédimentation n'occupent, pour la plupart, que des surfaces peu étendues: tous ces niveaux, à part le quatrième, ont une extension latérale restreinte.

7. Extension latérale

En gros, la ligne Ménières-Combremont le Petit sépare l'aire des grès lumachelliques, au NW, de celle des grès à empreintes de Bivalves, au SE.

Cette limite n'est pas rigoureuse: au cours d'une excursion avec MM. L. PUGIN et CH. EMMENEGGER nous avons trouvé des zones de grès lumachellique dans la carrière de Rossens (ct. Vaud; coord. 176,240/561,370), sur la rive droite de la Broye.

L'extension latérale des différents niveaux coquilliers est difficile à préciser, en raison de la dispersion des affleurements. Toute corrélation est donc impossible.

Un niveau qui se laisse suivre sur 620 m affleure au SE de Bussy, à la cote 600 environ. Le versant rive gauche de la vallée de la Broye montre également un horizon à environ 630 m d'altitude; il est visible sur 1,2 km de distance, entre Cremin et Surpierre.

Au NW de la ligne Ménières-Combremont le Petit, on peut calculer localement la surface couverte par le faciès coquillier: au moins 0,165 km² à Aclex, par exemple, en restant strictement dans la zone des carrières. Cet horizon se poursuit probablement vers le SW jusqu'au lieudit les Mollerettes, où l'on retrouve des carrières dans le grès coquillier.

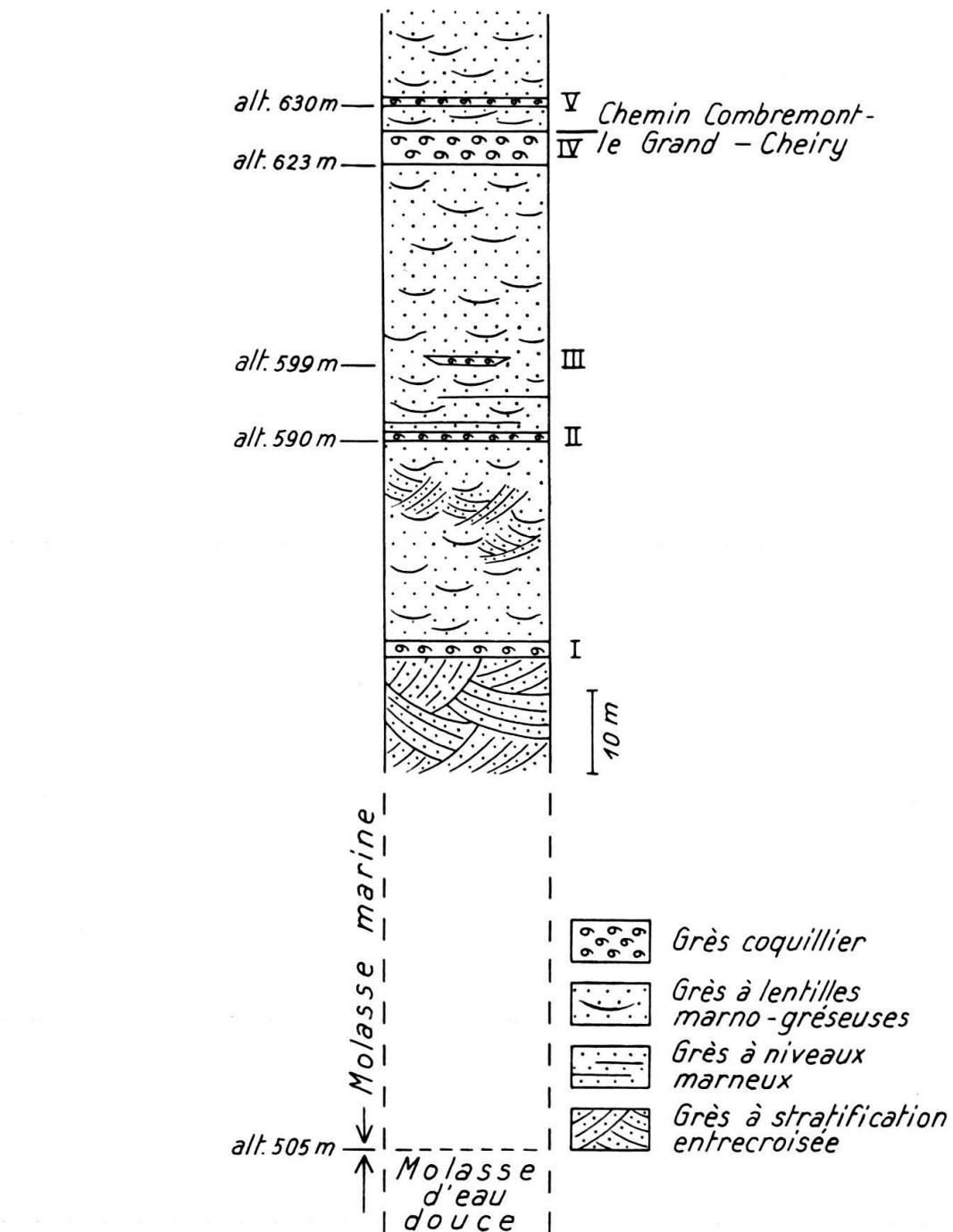


Fig. 33. Coupe schématique de la MMS du Flon-Riod, au SE de Combremont le Grand.

III. Paléontologie et âge de la Molasse marine supérieure

Introduction

Les formations molassiques ont la réputation d'être pauvres en fossiles, du moins les séries d'eau douce. Et la faune qu'on trouve compte peu d'espèces, mais beaucoup d'individus.

Dans les limites du territoire prospecté, la MMS peut être qualifiée de fossilifère. Richesse en microfaune d'abord, puisque la plupart des coupes minces – elles cou-

vrent la gamme entière des variétés pétrographiques – contiennent des Foraminifères. D'autre part, certains horizons de la Molasse marine sont presque entièrement composés de restes organiques appartenant à des Lamellibranches.

Cependant, cette richesse relative en fossiles ne sera pas d'un grand intérêt stratigraphique, comme on le verra dans la suite.

1. Paléobotanique

La MMS renferme d'innombrables débris végétaux. Ils se présentent sous deux aspects :

a) dans les grès grossiers (faciès coquillier, faciès à stratification entrecroisée), il s'agit de fragments de troncs pouvant atteindre plus de 10 cm de diamètre. Les cas de lignitisation, voire même de carbonification sont plutôt rares. En général, on trouve un moule du tronc en grès brunâtre à débris ligniteux.

Le tronc qui affleure à la carrière du Bois de Verrey (banc 23) est écrasé; il mesure 11 cm sur 3. Cet aplatissement dû au poids des sédiments superposés a été favorisé par la disparition du canal médullaire au cours de la diagénèse.

b) Dans les niveaux de grès fin et de marnes gréseuses, la matière végétale se présente sous forme de débris finement divisés, de couleur brune ou noire. Un affleurement de la Cerjaule (coord. 173,870/553,730) a livré une empreinte de feuille.

Le mauvais état de conservation de ces restes végétaux exclut toute détermination.

En se basant sur la flore, O. HEER (1872) a pu déterminer le type de climat qui régnait durant le dépôt de la Molasse. Il était «beaucoup plus chaud que celui de nos jours et à peu près subtropical.» (p. 568).

«La grande richesse de la flore en végétaux ligneux et en arbres à feuillage persistant, ainsi que les nombreuses plantes marécageuses et les tourbières immenses transformées en lignite, attestent que le climat était humide et que les jours de pluie étaient nombreux pendant l'année.» (p. 584).

2. Foraminifères

Le 90% des coupes minces renferme des Foraminifères. M. J. KLAUS, qui a bien voulu se charger des déterminations, a reconnu :

Cibicides
Nonion
Globigerina
Loxostomum
Amphistegina
Pullenia

ainsi que de nombreux Rotaliidés, entre autres *Gyroidina*, des Textulariidés, Lagénidés (*Robulus*, *Darbyella*, *Lenticulina*), Orbitoidiidés, Miliolidés.

Une détermination spécifique est impossible.

Quelques Foraminifères ont pu être isolés par traitement de la roche, préalablement broyée, au perhydrol. En voici la liste, établie par M. J. KLAUS :

Elphidium crispum (LINNE)
Elphidium macellum (FICHTEL & MOLL)

Elphidium sp.
Nonion cf. *boueanum* (D'ORB.)
Nonion sp.
Cibicides cf. *ungerianus* (D'ORB.).
Cibicides sp.
Robulus sp.
Nodosaria sp.
Lagena sp.
Discorbis cf. *mira* ou *squamula*
Rotalia sp.
Globigerina sp.
Orbulina sp.

Cette faune est autochtone.

H. HAGN (R. RAMSEYER, 1952) a étudié les Foraminifères de la Molasse marine du Mt. Vully. Pour cet auteur, l'apparition fréquente de *Cibicides lobatulus* (W. & J.), ainsi que les nombreux *Elphidium* associés à *Nonion commune* (D'ORB.) sont caractéristiques du Burdigalien.

Dans la molasse marine des environs de Lucens, les *Elphidium* sont également nombreux. *Nonion* et *Cibicides* existent aussi, mais appartiennent à d'autres espèces ; vu le petit nombre d'échantillons désagrégés, on ne peut conclure que les espèces citées par HAGN soient absentes.

Encore une fois, les documents paléontologiques sont insuffisants pour assigner un âge précis à la Molasse marine. Mais si les conditions litho-chronostratigraphiques restent inchangées entre le Vully et Cheyres (voir p. 202), il est permis de supposer qu'elles sont encore les mêmes dans la région de Lucens. On peut donc, sans grand risque d'erreur, ranger la Molasse marine dans le Burdigalien.

L'association *Elphidium*, *Rotalia*, *Nonion*, *Cibicides* fournit des renseignements d'ordre écologique. Voici les conclusions d'une étude de C. W. DROOGER (R. F. RUTSCH, C. W. DROOGER, H. J. OERTLI, 1958) sur les Foraminifères de l'Helvétien de Niederhüning (ct. Berne) :

« La faune de Foraminifères de l'Helvétien de Niederhüning [*Elphidium macellum* (FICHTEL & MOLL), *Rotalia beccarii* (LINNE), *Nonion boueanum* (D'ORBIGNY), *Cibicides lobatulus* (WALKER & JACOB)] indique un milieu marin très peu profond¹⁾ à influence saumâtre plus ou moins prononcée. Des faunes comprenant presque exclusivement *R. beccarii* ou des *Elphidium*, ou les deux ensemble, dénotent de grandes oscillations de la teneur en sel. Quand *N. boueanum* et d'autres espèces sont encore présentes, des conditions marines légèrement plus prononcées pouvaient bien avoir régné (p. 10. Traduit).

Les rares Foraminifères déterminés dans la faune de Niederhüning ne fournissent aucun renseignement sur la teneur en sel ; les possibilités vont d'une concentration normale à un adoucissement très fort» (p. 31. Traduit).

3. Traces d'organismes

Un affleurement de la rive gauche du R. de Seigneux (coord. 174,520/557,180) a livré des pistes de vers inscrites sur une marne gréseuse micacée à débris végétaux. Il s'agit de traces de reptation.

¹⁾ Dans la zone marine bordant le delta du Rhône, C. KRUIT (1955) a trouvé un optimum relatif pour l'espèce *Rotalia beccarii* à une profondeur inférieure à 25 m.

BANDY (1954) mentionne une faune où prédominent *R. beccarii* et des espèces d'*Elphidium* dans la zone la plus élevée (jusqu'à environ 18 m de profondeur) de la côte du Golfe du Mexique.

4. Lamellibranches

Ils apparaissent dès la base de la Molasse marine. Dans les niveaux inférieur et moyen de la formation, ils sont rares. Mais dès qu'on approche du toit, ils peuvent être assez nombreux pour former des horizons de grès coquillier.

Qu'il s'agisse de valves recristallisées ou de moules en grès, l'état de conservation est mauvais. D'autre part, les coquilles sont presque toujours brisées. Il est donc impossible de pousser les déterminations plus loin que le genre. Et même à ce stade, des doutes subsistent quant à l'exactitude des résultats.

Voici les trois genres identifiés :

Tapes
Venus
Lutraria

Ces Lamellibranches vivent dans le sable des zones littorales, en eaux peu profondes (15 à 25 m pour le genre *Tapes*). *Lutraria* marque une préférence pour les embouchures fluviatiles.

5. Vertébrés

Le grès coquillier a livré deux dents de Squaloïdes. Il s'agit de :

Odontaspis cuspidata (L. AGASSIZ)
Oxyrhina hastalis (L. AGASSIZ)

A Surpierre, un petit affleurement au sommet de l'éboulement a fourni une structure organique qui ressemble aux dents latérales de

Rhinopteris

un Sélacien bathoïde.

Si ces organismes ne permettent guère de préciser les conditions bathymétriques de la mer, ils fournissent, par contre, des indications d'ordre climatique. En comparant les Poissons de la Molasse suisse avec les genres existant actuellement, M. LERICHE (1927) conclut que la faune est presque tropicale.

IV. Paléogéographie de la Molasse marine

L'étude pétrographique, stratigraphique et paléontologique de la MMS fournit quelques renseignements d'ordre paléogéographique.

1. Nature du milieu :

la présence de Foraminifères, de Bivalves, de dents de Squaloïdes et de glauconie à travers toute la MMS dénote la persistance d'un régime marin (sensu lato) durant le dépôt de la formation.

2. Bathymétrie :

D. J. DOEGLAS (1951) signale qu'à une profondeur supérieure à 30 m, les courants ou les vagues sont incapables de transporter du sable, même en conjuguant leur action.

Tous les auteurs admettent que la stratification entrecroisée est l'indice d'une faible tranche d'eau (inférieure à 40–50 m d'après M. DREYFUSS, 1951).

Les galets exotiques, les chenaux d'érosion comblés de sables grossiers à lits de gravier et la stratification deltaïque du faciès coquillier sont également des indications d'eau peu profonde. Les traces d'écoulement impliquent peut-être même des phases d'émersion.

Quoique la glauconie ait été signalée aujourd'hui à des profondeurs dépassant 1000 m, elle se forme généralement sous une faible tranche d'eau.

Les Foraminifères eux-mêmes semblent indiquer une faible profondeur.

M. LERICHE (1927, p. 102) arrive à la même conclusion en se basant sur l'état de conservation défectueux des restes de Poissons : «ils sont disséminés, fragmentaires, très rarement entiers et

fréquemment roulés», ce qui prouve «que le dépôt de la Molasse marine s'est effectué dans des eaux fort agitées et par suite très peu profondes.»

Sur la base de ces données, on doit accorder à la mer une profondeur de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres au maximum.

3. Topographie:

le fond de la mer est subhorizontal, bosselé, par suite de l'épandage très irrégulier du matériel et de phénomènes d'érosion. Cette notion d'irrégularité du fond est importante: comme la topographie détermine en grande partie la répartition des courants marins, elle a une influence considérable sur la texture et la structure des sables en voie de sédimentation.

4. Température:

les eaux devaient être relativement chaudes, puisque les fossiles révèlent l'existence, à cette époque, d'un climat subtropical. D'autre part, la glauconie se forme en eau marine relativement chaude. Comme la mer est peu profonde, l'homothermie règne sur toute la hauteur de la tranche d'eau.

5. Salinité:

la paléontologie ne fournit pas d'indications précises à ce sujet. Mais il est peu probable que la concentration en sels ait été normale. La mer qui occupe le sillon péricalpin n'a que de mauvaises communications avec la mer ouverte; il s'agit d'une mer intérieure, d'un golfe aux eaux continuellement adoucies par l'apport fluviatile.

6. Mouvements de l'eau:

ses caractères varient dans l'espace et dans le temps. Il est possible de reconnaître des courants unidirectionnels, auxquels on doit les ripple marks asymétriques et la stratification oblique, et des courants de direction changeante, donnant la stratification entrecroisée. Ils peuvent être violents (faciès coquillier, faciès à stratification oblique et entrecroisée) ou calmes (faciès plaqueté et dallé).

7. Conditions biologiques:

dans l'ensemble, le milieu est plutôt défavorable à la vie. Seule une faune euryhaline peut s'adapter aux variations de salinité des eaux.

8. Sédimentation:

durant le dépôt de la Série des grès à stratification entrecroisée, elle est essentiellement grossière, et s'effectue dans une mer peu profonde. Mais les conditions de sédimentation ont changé rapidement dans l'espace et dans le temps. A chaque instant, le fond de la mer était constitué d'une juxtaposition d'aires à sédimentation différente.

Sur le trajet de courants marins relativement puissants se déposent des sables grossiers, auxquels se mêlent des galets exotiques et marneux, des débris végétaux. L'alimentation en matériel détritique étant souvent trop forte, les dépôts se stratifient obliquement. Les courants, éventuellement aussi les vagues, érodent les sédiments déposés, les remanient, introduisent la stratification entrecroisée.

A côté de ces zones à turbulence forte existent des aires calmes soumises à une sédimentation moins grossière. Ici se déposent les sables fins, riches en muscovite et en restes végétaux finement divisés.

Avec le temps, le schéma de dispersion du matériel se transforme, par suite d'un déplacement des bras actifs du delta en zone littorale, du jeu de la subsidence ou de modifications de la topographie sous-marine par sédimentation. Ces phénomènes provoquent un changement de parcours des courants. Une région précédemment sujette à une accumulation grossière y est soustraite et voit se déposer du sable fin. Inversement, une aire jusqu'alors soumise à une sédimentation de caractère fin se trouve maintenant sur le trajet des courants et connaît un dépôt grossier.

Ces modifications continues de la répartition des lithosomes expliquent les rapides variations latérales et verticales de faciès.

Avec la Série des grès à lentilles, les conditions de sédimentation sont moins désordonnées. Le milieu agité et instable qui accompagnait les premiers pas de la transgression miocène évolue

vers une stabilité plus grande. Cette transformation s'accomplice parallèlement à l'extension de la mer dans le sillon péricalpin : les lignes de rivage sont déplacées vers le NW et le SE, c'est-à-dire que les environs de Lucens n'appartiennent plus aux zones côtières, généralement caractérisées par une sédimentation variée.

Le fond de la mer est toujours formé d'une juxtaposition de lithosomes, mais ils occupent des surfaces plus considérables. Dans l'ensemble, les sables sont plus fins, car la région considérée est trop éloignée des zones émettrices de matériel pour être régulièrement fournie en détritiques grossiers.

Dans les zones calmes se déposent des sédiments fins et des boues en niveaux peu épais sur une topographie horizontale ou faiblement ripple marquée. Les aires jalonnant les trajets des courants voient s'accumuler des clastiques plus grossiers. Travailé par l'eau en mouvement, le fond de la mer est modelé en creux et bosses ; durant les phases de non-turbulence, du matériel fin ou ultrafin s'étale entre les rides pour former des lentilles. L'agitation des eaux est toujours assez forte pour introduire la stratification entrecroisée, les galets exotiques et marneux. Des phases d'alimentation active gênent l'épandage régulier du matériel, le forçant à adopter la structure oblique. Exceptionnellement, la puissance des courants est telle que des chenaux s'ouvrent dans les sédiments en voie de consolidation, chenaux comblés dans la suite de sables grossiers à galets et valves de Lamellibranches.

Au NW de la Lembe, les conditions biologiques sont parfois assez favorables pour que des Bivalves prospèrent en grand nombre.

Comme dans le cas précédent, le schéma de répartition des lithosomes change avec le temps, mais moins rapidement.

Les conditions de sédimentation de la Série des grès coquilliers ne diffèrent de celles de la Série des grès à lentilles que par la participation, localisée dans l'espace et dans le temps, d'innombrables Lamellibranches à la sédimentation (voir p. 240).

La préservation de débris végétaux et des structures sédimentaires permet de conclure à une vitesse de sédimentation assez élevée, du moins pour les horizons de grès grossiers. Si ce n'était pas le cas, l'activité vitale des organismes benthoniques aurait produit un remaniement de la couche superficielle du dépôt au fur et à mesure de son accumulation, et la stratification aurait été détruite.

9. Origine du matériel :

la pétrographie des dépôts, et particulièrement celle des galets exotiques, indique une origine unilatérale alpine du matériel.

10. Tectonique :

les 300 m de Molasse marine présentent les caractères d'un dépôt de mer peu profonde. Il faut donc admettre que des mouvements tectoniques verticaux ont joué durant toute la sédimentation, sous forme d'une lente subsidence du sillon péricalpin.

En résumé, la MMS présente les caractères de la sédimentation parallique telle que l'a définie J. TERCIER en 1939 : sédimentation de plateforme intracontinentale, soumise à un intense alluvionnement terrigène ; faciès d'eau peu profonde, marine à saumâtre, caractérisés par la prédominance de roches détritiques, les roches organogènes ne jouant qu'un rôle subordonné ; subsidence considérable et le plus souvent continue, déterminant l'accumulation de séries très monotones dans l'ensemble, variées dans le détail, avec de rapides changements latéraux et verticaux de faciès ; épaisseur considérable des dépôts.

CHAPITRE III

Tectonique

Caractères généraux

Les dislocations de la Molasse du Plateau sont du type tangentiel: anticlinaux et synclinaux à peine marqués, à grand rayon de courbure, généralement orientés parallèlement au bord du Jura ou de la Molasse subalpine, c'est-à-dire, dans la région de Lucens, SW-NE.

Les dislocations verticales ne jouent qu'un rôle effacé.

I. Les éléments plastiques

Méthode de travail

Les éléments structuraux sont difficiles à individualiser, car on risque à chaque pas de prendre pour tectoniques des pendages qui ne sont dus qu'à la nature de la sédimentation (stratification oblique ou entrecroisée, surfaces d'érosion inclinées).

D'autre part, dans les régions pauvres en affleurements, le réseau de pendages n'a pas la densité requise pour qu'on puisse délimiter les structures avec un peu d'exactitude.

Les bancs de grès plaquetés ont permis de mesurer quelques pendages directs. Mais, dans la plupart des cas, il faut procéder par voie indirecte: mesurer le pendage apparent suivant deux azimuts et calculer le pendage réel par la géométrie.

Description des structures

Voici, du SE au NW, les éléments reconnus (voir Pl. II):

1. Anticlinal Misery-Corserey

Il s'agit d'une structure d'orientation générale SW-NE, qui s'individualise entre Misery et Siviriez, sur une trentaine de km de longueur.

La section qui emprunte le territoire étudié sur 4,1 km, entre Villars Bramard et Hennens, appartient à la terminaison SW de l'anticlinal.

Le flanc NW du pli est nettement mis en évidence par l'inclinaison des couches dans les ruisseaux rive droite de la Broye. Mais pour fixer la position de l'axe, le réseau de pendages mesurés n'est pas assez dense; il faut sortir des limites de la carte et se baser sur les travaux de H. INGLIN (1960) et des experts de la PEK (H. M. SCHUPPLI, 1950).

2. Synclinal Moudon-Bois de Châtel

Il forme la bordure NW de l'anticlinal Misery-Corserey. Le synclinal s'amorce 4 km au NEE d'Avenches, passe par Henniez, Seigneux, Curtilles et péricline 4 km au SW de Corcelles le Jorat. Il mesure 45 km de longueur, c'est-à-dire qu'il déborde aussi du cadre du terrain de recherches.

Entre Moudon et le grand méandre de la Broye, au S de Lucens, les deux flancs du synclinal sont plus ou moins symétriques, affectés de pendages de 1 à 8°. A partir d'ici, le flanc NW se réduit considérablement à cause de la présence du synclinal

Lucens-Surpierre et de l'anticlinal de la Broye, qui le serre de très près. Le flanc SE, par contre, se développe normalement, avec des pendages de 2 à 6°.

Entre le R. de Seigneux et le R. des Vaux, le tracé de l'axe du synclinal est facile à délimiter. Une dépression se produit à Carmet, 1 km au NE de Curtilles.

Au SW, les choses se compliquent: le fond du synclinal s'élargit brusquement par suite de la disparition de l'anticlinal de la Broye. D'après les pendages horizontaux de Bergère et Roche Cuennat, l'axe du synclinal, qui courrait NE-SW, devrait se diriger vers le SWW et passer sur la rive gauche de la Broye. Mais les mesures effectuées par la PEK dans la région de Moudon, au S de la carte, interdisent d'envisager un tel tracé; l'axe reste bel et bien sur la rive droite de la Broye.

3. Anticlinal de la Broye¹⁾

Il se développe entre Lucens et Granges, plus ou moins parallèlement à la Broye, et mesure 6,5 km de longueur. De toutes les structures reconnues, c'est la plus facile à individualiser, car elle s'ouvre jusqu'à la Molasse d'eau douce.

Sur le flanc NW, les occasions de relever des pendages sont nombreuses, et les valeurs mesurées relativement élevées (jusqu'à 12°). A partir de Villeneuve, le pli s'élargit et fait disparaître le synclinal Lucens-Surpierre.

La partie SW de l'autre flanc est plus difficile à individualiser, car peu d'affleurements se prêtent à des mesures de pendages. Il semble que son inclinaison soit moins forte. La section NE a été étudiée par H. INGLIN (1960).

Du SW au NE, on enregistre une montée axiale assez forte. Elle est mise en évidence par la direction que prennent les couches, oblique par rapport à la direction de l'axe anticlinal, et par les différences d'altitude de la limite Molasse d'eau douce/Molasse marine: 490 m à Villeneuve, 530 m à Granges. A partir d'ici la Molasse disparaît, il n'y a donc plus la possibilité de suivre l'anticlinal.

4. Synclinal Lucens-Surpierre

Il débute au SW de Lucens. Dans cette zone, le tracé de l'axe peut être fixé avec précision, car on possède des pendages appartenant aux deux flancs. A la hauteur du Recoulet, le synclinal tourne légèrement, et se dirige vers le NNE, adoptant une direction oblique par rapport à celle de l'anticlinal de la Broye. Une dépression axiale se manifeste à Cremin, puis la structure péricline 1,1 km au N de Surpierre, sans doute en réponse à l'élargissement de l'anticlinal de la Broye.

Le flanc SE du synclinal est bien développé, avec des inclinaisons comprises entre 1 et 12°. La plus forte inclinaison se fait sentir aux environs de Surpierre.

L'autre flanc, par contre, n'est connu qu'au SW, où quelques pendages ont pu être mesurés.

Le synclinal Lucens-Surpierre mesure 6,5 km de longueur.

5. Anticlinal de Neyruz

Les pendages mesurés dans la région d'Oulens et dans le cours de la Cerjaule indiquent qu'un anticlinal doit se développer au NW du ruisseau de Neyruz.

¹⁾ H. INGLIN (1960, p. 63) avance qu'"un relais [de l'anticlinal de la Broye] en profondeur avec l'anticlinal Tours-Belmont ne paraît pas exclu." Les pendages relevés dans la région de Granges-Ménières n'apportent aucune solution à ce problème. D'après la direction donnée par J.-L. RUMEAU (1954, pl. II) à l'anticlinal Tours-Belmont, un relais, s'il existe, intéresserait plutôt l'anticlinal Cheiry-Sassel.

Malheureusement, les pendages relevés appartiennent au flanc SE, et deux probablement à la région axiale. Le flanc NW n'est pas révélé.

Si le tracé de l'axe, tel qu'il a été fixé, est exact, on a une culmination dans les parages de Neyruz, puis une descente axiale rapide de 7° vers le NE. Dans le Recoulet, on ne trouve plus trace de cette structure.

H. E. ALTHAUS (H. M. SCHUPPLI, 1950) pense que l'anticlinal de Neyruz se poursuit vers le SW dans le cours supérieur de la Cerjaule.

Cette structure mesure 5 km de longueur. La section reconnue appartient à la moitié NE de l'anticlinal.

6. Anticlinal Cheiry-Sassel

Il s'individualise sur environ 9 km suivant une direction SW-NE. Entre Cheiry et Sassel, son flanc NW est bien marqué: les occasions de lever des pendages ne manquent pas, et les valeurs mesurées sont relativement élevées (entre 5 et 10°). Au SE de Cheiry, il n'y a plus d'affleurements utilisables, mais si on descend jusqu'à Pisseyache, on relève une terminaison périclinale qui pourrait bien appartenir à cette structure. Sur le flanc SE, un seul pendage a pu être levé, et encore par la méthode directe, dont l'emploi est dangereux dans la Molasse.

Bref, il est impossible de fixer la position de l'axe avec précision.

Le noyau de l'anticlinal est formé de Molasse d'eau douce. A Neirvaux, le contact MDI/MMS est à 600 m d'altitude, à Sassel, à 660 m. Une montée axiale se fait donc sentir en direction du NE. Les pendages la mettent d'ailleurs aussi en évidence.

L'anticlinal doit culminer aux environs de Sassel, puisqu'au N de la carte, dans le R. de Grandvaux¹⁾ (coord. 183,600/556,050), le contact MDI/MMS se trouve à 580 m d'altitude.

Dans la région qui s'étend au NW de l'anticlinal Cheiry-Sassel, il n'y a pas la possibilité de sortir les éléments structuraux. Une grande partie des affleurements est en grès coquillier, dont la stratification oblique ou entrecroisée masque le pendage tectonique. Quant aux coupes qui n'appartiennent pas à ce faciès, elles sont trop rares pour fournir un réseau de pendages assez serré. D'ailleurs, elles ne se prêtent même pas toujours à des mesures d'inclinaison des couches.

II. Les dislocations verticales

Il s'agit d'accidents secondaires qui ne dénaturent pas le style tangentiel des dislocations de la Molasse du Plateau. Une description détaillée se justifie malgré tout, car ils se manifestent assez souvent dans la région étudiée.

1. R. des Vaux

A. Les failles

Entre les points d'intersection des coordonnées 171,030/555,270 et 171,120/555,320, soit sur une distance de 100 m, le R. des Vaux a creusé son cours dans une faille.

La figure 34 représente l'affleurement aval, situé sur la rive droite du ruisseau.

La faille s'y présente sous forme d'une cheminée presque verticale, de 5 m de largeur, faite d'une espèce de schiste verdâtre à noir, à miroirs et stries de faille, se débitant en petits fragments anguleux. La nature pétrographique originelle de la

¹⁾ En dehors des limites du terrain étudié.

roche peut être reconnue dans quelques zones moins fortement broyées, de teinte plus claire: il s'agit d'un grès moyen à grossier, chargé de galets exotiques. Il a été durci par la pression dégagée lors de la dislocation et, en même temps, très fracturé. Il montre en outre de nombreux miroirs et stries de faille.



Fig. 34. Faille dans la Molasse marine. R. des Vaux.

Dans la zone faillée, la stratification a complètement disparu. L'ensemble présente une schistosité de pression parallèle au plan de faille.

La Molasse encaissant cette zone broyée n'a pas subi de transformation pétrographique. Elle est fracturée, mais la stratification y est facilement reconnaissable.

La ligne de la faille est orientée SSW-NNE. Son plan est incliné de 80° vers 120° . Un niveau de grès plaquetés permet d'estimer le rejet vertical à 2,5 m. Le bloc affaissé se trouve à l'E de la faille.

2. R. de Seigneux

Une faille, dont la ligne est orientée SSE-NNW, affleure dans ce cours d'eau à la hauteur de l'embouchure du ruisseau des Granges. Comme le R. de Seigneux méandre, il la recoupe trois fois sur une distance de 150 m.

A l'affleurement aval, la zone faillée, au plan vertical, mesure 6 m de largeur. Elle est faite d'un grès fin fracturé, à miroirs de faille. La limite W de la zone disloquée est brutale : on passe sans transition à la Molasse habituelle, non fracturée.

Un autre affleurement de cette même faille est situé sur la rive droite, 35 m en aval de l'embouchure du ruisseau des Granges. La zone disloquée forme ici une cheminée presque verticale, légèrement en retrait dans le versant du thalweg. Elle se compose d'un grès moyen complètement fracturé, à miroirs de faille, affecté d'une schistosité de pression parallèle au plan de faille. Ce dernier plonge de 80° vers l'W. Toute la partie disloquée est recouverte d'une mince couche d'argile brune.

Un horizon repère d'1 m de puissance, en grès plaqué à ripple marks, permet d'estimer le rejet vertical à environ 5 m. Le compartiment affaissé se trouve à l'W de la faille.

Le dernier affleurement est situé 45 m en amont de l'embouchure du ruisseau des Granges. La roche est ici moins broyée. A la base, on trouve un grès fin à niveaux marneux et ripple marks, vers le haut, un grès grossier à stratification entrecroisée, chargé de galets exotiques, galets marneux, et débris végétaux. Le grès est durci par pression, et montre des stries et miroirs de faille.

B. Les fissures

Elles sont relativement fréquentes dans la Molasse. Signalons celles de l'affleurement de la route Lucens-Cremin (coord. 173,950/554,410), et celles du grès à empreintes de Bivalves du Bois de Verrey.

Les fissures sont presque toujours obliques, et mesurent quelques millimètres de largeur. Le remplissage, lorsqu'il existe, est fait d'argile. Le grès limitrophe n'a subi aucune déformation mécanique.

III. Style tectonique

Les dislocations de la Molasse du Plateau sont en relation avec des mouvements du socle. En réponse à la poussée tangentielle qui s'est développée durant le Pliocène, des cassures sont apparues dans le socle, suivies de déplacements verticaux. Ce sont eux qui ont causé le plissement de la Molasse.

A l'origine des dislocations se trouve donc bien une force tangentielle. Mais ce sont ses composantes verticales qui déterminèrent le plissement proprement dit.

Le schéma tectonique de la zone transversale de Fribourg (H. M. SCHUPPLI, 1950) appuie cette hypothèse. Cette zone est située dans le prolongement méridional du fossé du Rhin ; d'autre part, les plis adoptent ici une direction N-S ou SSW-NNE. Ces conditions indiquent que la zone transversale de Fribourg est en liaison avec le système de dislocations verticales du fossé rhénan.

IV. Groupement régional des éléments structuraux

H. M. SCHUPPLI (1950) termine son rapport sur les recherches pétrolières effectuées entre Soleure et Moudon par une synthèse tectonique régionale. D'après cet auteur, la région de Lucens participe à deux zones, séparées par la Broye :

1. toute la rive gauche, jusqu'au pied du Jura, forme la «zone occidentale». Elle est caractérisée par des anticlinaux et synclinaux orientés parallèlement au bord du Jura ou de la Molasse subalpine. Les plis, comparés à ceux des autres zones, sont relativement courts. Le développement de ces «Kurzstrukturen» aurait été favorisé par des cassures transversales.

2. La rive droite de la Broye appartient à la «zone transversale de Fribourg», large de 15 à 20 km. Elle est formée de plis de direction localement oblique à la précédente ou même N-S. Mais au SW de Morat, ces différences d'orientation d'une zone à l'autre s'atténuent et peuvent même disparaître.

«La géologie des terrains quaternaires... souffre aujourd'hui d'une trop grande liberté d'imagination. Ici plus qu'en tout autre domaine, selon le mot de Poincaré: «l'hypothèse, c'est le fonds qui manque le moins». E. GAGNEBIN (1937, p. 1)

DEUXIÈME PARTIE

LE QUATERNaire

La lacune Tertiaire supérieur-Quaternaire inférieur

En Suisse occidentale, la stratigraphie de la Molasse du Plateau s'arrête en général au Burdigalien. Elle monte jusqu'au Tortonien dans l'E du pays, vraisemblablement jusqu'au Sarmatien dans le Jura. Le Pontien et le Pliocène manquent, car cette époque est celle du plissement de la Molasse.

Que sont devenus l'Helvétien, le Tortonien et le Sarmatien du Plateau suisse occidental? D'aucuns pensent que ces étages ont été érodés, pour d'autres, ils ne se déposèrent pas.

A lire A. HEIM (1919), on peut encore envisager le problème de cette lacune sous un autre angle:

«En Suisse occidentale, le Plateau est recouvert de formations marines, alors que dans l'E du pays on trouve des dépôts limniques riches en lignite et calcaires d'eau douce. Cette différence d'une région à l'autre n'est pas nécessairement due à une érosion plus active à l'W, allant jusqu'à ôter toute la Molasse d'eau douce supérieure; elle résulte plutôt du fait qu'à l'W, de même que dans le bassin du Rhône, l'épisode marin a duré plus longtemps. A l'W, le Vindobonien est généralement marin, vers l'E, en partie d'eau douce.» (p. 102. Traduction libre).

L'hypothèse que notre Molasse marine supérieure soit contemporaine d'une partie de la Molasse d'eau douce supérieure de Suisse orientale peut donc être envisagée. Dans ce cas, la tranche de sédiments érodés durant la phase de pénéplanation prépléistocène ne correspond pas nécessairement à l'Helvétien, Tortonien et Sarmatien.

Encore une fois, ce problème – et bien d’autres – ne seront résolus que le jour où les géologues de la Molasse disposeront de moyens de datation précise. Il sera alors possible d’établir des corrélations chronostratigraphiques qui jettent une lumière nouvelle sur l’histoire du sillon péalpin.

Le début du Quaternaire coïncide avec l’entrée en scène des glaciations. Quatre sont décelables en Bavière et dans le bassin du Rhin, alors qu’en Suisse occidentale, seules les deux dernières ont laissé des traces de leur passage.

Dans la région de Lucens, les dépôts glaciaires doivent tous être attribués au Würm. Le Riss et l’interglaciaire Riss-Würm n’affleurent pas. Les moraines rissiennes ont été érodées après le retrait de l’inlandsis ou incorporées à la moraine würmienne; elles existent peut-être au fond d’anciennes vallées. Quant aux sédiments interglaciaires, ils doivent former une partie du remblayage des vallées pré-würmiennes de la Broye, de la Lembe et de la Petite Glâne.

Stratigraphie

Durant le Quaternaire, le secteur péalpin a été le théâtre de plusieurs invasions glaciaires, dont deux ont laissé des vestiges dans le domaine rhodanien : celles de Riss et de Würm. Sur le terrain prospecté, seuls les deux termes supérieurs du complexe würmien (maximum et retrait) sont représentés.

Au moment où les glaces quittaient définitivement le Plateau suisse, la zone subjurassienne était en grande partie noyée sous les eaux d’un lac qui s’étendait jusqu’à Wangen an der Aare. Par érosion régressive, son niveau s’est progressivement abaissé, les eaux se sont concentrées dans le Seeland, abandonnant la vallée de la Broye.

La stratigraphie du Quaternaire local se présente donc ainsi :

- | | |
|-------------|--|
| 2. Postwürm | { b. récent: la période actuelle
a. ancien: les épisodes lacustres |
| 1. Würm | { b. retrait glaciaire: dépôts fluvio-glaciaires
a. maximum glaciaire: dépôts morainiques |

CHAPITRE PREMIER

Le Würm

Extension et puissance

Les dépôts würmiens recouvrent presque tout le territoire. Une bande d’alluvions récentes et les dépôts des lacs de 510 m et 480 m, dans la vallée de la Broye, sont les seuls témoins importants de l’épisode postwürmien.

Leur épaisseur est variable: réduite sur les dômes molassiques au point de laisser affleurer localement le Tertiaire, elle augmente sur les replats et au fond des dépressions. Dans la Seyve, sur la rive droite de la Broye (coord. 173, 720/557, 670), par exemple, la moraine dépasse 29 m de puissance, et le substratum molassique n’est pas encore atteint.

I. Les dépôts morainiques

Leur mise en place est à mettre à l'actif du glacier rhodanien. Elle s'est effectuée durant le maximum glaciaire, à l'époque où l'inlandsis recouvrait l'ensemble du Plateau suisse, et au début du retrait des glaces.

Argile à blocs

On la considère généralement comme un des faciès de la moraine de fond. Il s'agit d'une argile jaunâtre ou gris-bleu, faisant pâte avec l'eau. Elle renferme de nombreux galets d'origine alpine, à stries glaciaires. Toutes les dimensions sont représentées, il n'y a pas de classement granulométrique; leur répartition dans la matrice est quelconque.

Dans la région considérée, ce type de moraine ne montre aucune stratification.

On trouve l'argile à blocs dans le cours supérieur de nombreux ruisseaux, où elle détermine des glissements: la Seyve (R. de Seigneux), R. des Vaux (embranchement de Sarzens), le Glaney (E. d'Hennens), ruisseau de Pré Cerjat; la Lembe et la Petite Glâne coulent aussi en partie dans l'argile à blocs.

A. JAYET (1960) pense que l'argile n'a pas été élaborée aux dépens du substratum molassique, mais qu'elle dérive d'argiles préexistantes du Secondaire et du Tertiaire. Elle aurait été entraînée à partir des régions calcaires situées sur le parcours du glacier du Rhône.

Moraine informe

C'est le type de moraine le plus répandu. Il est fait d'un mélange d'argile, de sable, de galets et de blocs, dépourvu de toute stratification.

Moraine graveleuse

Ce vocable désigne une moraine informe hétérométrique très riche en galets et en blocs.

Moraine lavée

Elle constitue le terme de transition entre les dépôts morainiques et les amas fluvio-glaciaires stratifiés du retrait würmien.

Sous l'action d'eaux courantes, les éléments de la moraine commencent à se classer, mais la stratification qui en résulte reste très embryonnaire.

La gravière des Communs d'en Haut, 800 m à l'W de Lucens (coord. 173, 250/553,390), est ouverte dans une moraine lavée. Il s'agit d'une formation marginale, mise en place alors que le glacier commençait à se retirer.

Drumlins

Les collines cartographiées comme telles l'ont été sur une base purement morphologique, car elles ne présentent pas d'affleurements.

Au N de la ligne Forel Dessous-Cremin, sur la rive gauche de la Broye, on compte six drumlins sur 1,42 km². Ils sont de forme elliptique, leur grand axe étant toujours orienté SW-NE.

Le plus grand drumlin, celui de Petit Crêt, au N de Cremin, mesure 840 m de longueur sur environ 350 m de largeur maximum; sa hauteur est de 22,4 m.

Blocs erratiques¹⁾

L'âge de leur mise en place peut être différent: ceux qui sont incorporés à la moraine de fond datent du maximum glaciaire, ceux qui se trouvent à la surface du sol, de la période de retrait.

A l'heure actuelle, les blocs erratiques ont presque disparu des surfaces cultivables; on les rencontre au fond des petits thalwegs. Il s'agit donc de blocs déposés durant le maximum, et dégagés par l'érosion postglaciaire.

Sur la rive droite de la Broye, signalons les R. des Vaux et de Seigneux, ainsi que leurs affluents, qui sont les mieux dotés en blocs erratiques. Il en est qui atteignent plusieurs mètres cube de volume.

Sur la rive gauche, on en trouve beaucoup moins.

Les roches reconnues sont les suivantes, par ordre de fréquence décroissant: nagelfluh, grès et conglomérats du Carbonifère, grès coquillier de la Molasse, schistes cristallins (gneiss et autres), Flysch, granites, divers calcaires, grès et conglomérats permiens.

Ces blocs se présentent isolés ou en amas.

II. Les dépôts fluvio-glaciaires

Introduction

Les dépôts fluvio-glaciaires se sont accumulés à la fin du retrait würmien, au moment où l'inlandsis était réduit à une série de langues glaciaires cantonnées dans le fond des dépressions.

Ces dépôts consistent essentiellement en amas de sable et de gravier stratifiés, mais peuvent couvrir l'échelle dimensionnelle comprise entre l'argile et les blocs. Suivant le degré de classement du matériel, on trouve soit une alternance de bancs nettement individualisés, pouvant mesurer jusqu'à 50 cm d'épaisseur, dont l'hétérométrie est relativement peu prononcée; soit une succession de niveaux très mal classés, qui se distinguent les uns des autres par la prédominance d'une dimension donnée.

Le matériel est subanguleux à subarrondi. Presque toutes les gravières ont livré des galets à stries glaciaires et des galets fissurés (phénomènes de pression). Les éléments grossiers sont d'origine alpine; mais on trouve toujours quelques galets de molasse. Les blocs sont relativement rares, et ne dépassent pas 70 cm de diamètre. Ils sont aussi subanguleux à subarrondis, et certains pourvus de stries glaciaires.

La stratification du fluvio-glaciaire est généralement oblique (parfois entrecroisée à l'intérieur d'un banc), le pendage pouvant atteindre des valeurs de 30°. Les bancs ne sont pas continus. Certains sont affectés de déformations mécaniques syn- ou postgénétiques: plissotements, failles, poches d'injection, traces de cryoturbation.

Extension et puissance

L'extension du fluvio-glaciaire est assez considérable. Géographiquement, on peut distinguer trois ensembles:

¹⁾ Pour des raisons techniques, les blocs erratiques concentrés au fond des thalwegs étroits n'ont pas pu être figurés sur la carte au 1:25 000.

a) le plus important est axé sur la vallée de la Lembe, à l'aval de Cheiry; il déborde du bassin de la rivière vers le NE pour s'étendre jusqu'à la route Ménières-Granges.

b) L'ensemble de la vallée de la Broye comprend deux séries étagées de dépôts: l'une au pied des versants (La Villaire, Lucens, Villeneuve, La Coulonne, sur la rive gauche; de La Voraire à la Pièce, sur la rive droite), l'autre sur un épaulement de la vallée, à environ 600 m d'altitude (Gréchon dessus, Cremin; Les Murailles, Seigneux).

c) Dans le bassin de la Cerjaule, le fluvio-glaciaire s'étend sur la rive gauche, entre La Crause et Champ de Romont.

Des lambeaux isolés ont encore été cartographiés: dans la Petite Glâne, à l'W de Nuvilly; au N de Sassel; dans la Lembe, à la hauteur de Prévondavaux; au SW de Lovatens.

L'épaisseur du fluvio-glaciaire est variable: quelques mètres à Cremin, par exemple, plusieurs dizaines de mètres dans la gravière exploitée au NE de Ménières.

1. Cônes de déjections

Durant le retrait du glacier würmien, plusieurs ruisseaux ont construit des cônes de déjections en débouchant dans la vallée de la Broye.

a) Lucens:

De part et d'autre du débouché du vallon de la Cerjaule, le versant de la vallée de la Broye est tapissé d'une couche de sables et de graviers stratifiés. Au NE de



Fig. 35. Cône de déjections fluvio-glaciaire. Retrait würmien. Lucens, route de Cremin.

Lucens, ce revêtement s'étend jusqu'au lieudit Pra la Mort, entre 500 et 570 m d'altitude.

Une gravière située au bord de la route de Cremin, juste à la sortie de Lucens (coord. 173,600/554,220), permet de faire les constatations suivantes (fig. 35):

elle est formée d'une alternance de bancs de sable et de gravier régulièrement inclinés de 14° vers l'E. Il en est qui sont plissotés. Leur épaisseur oscille entre quelques centimètres et plusieurs décimètres, dépassant rarement 50 cm. Au premier abord, le classement granulométrique des différents bancs semble bon. Mais l'observation détaillée révèle une assez forte hétérométrie: le sable fin, généralement parcouru de zones de clastiques très fins, peut contenir des galets et, inversement, le gravier nager dans une matrice sableuse.

Les galets sont du type peu roulé, subanguleux à subarrondis; certains portent encore des stries glaciaires. On trouve également de nombreux galets de molasse, souvent fissurés.

Les gros blocs, subanguleux à subarrondis et parfois à stries glaciaires, sont rares. L'affleurement en montre 2 ou 3 en place, mesurant au maximum une cinquantaine de centimètres de diamètre. Parmi ceux que les ouvriers ont entassés au bord de la route, le plus grand diamètre mesuré est de 60 cm.

La nature pétrographique des blocs révèle une origine essentiellement alpine: conglomérats du Carbonifère, grès et conglomérats permiens, nagelfluh du Mt. Pélerin, grès divers, entre autres grès communs de la Molasse et grès coquillier, différentes variétés de calcaires, granites, gneiss, micaschistes, quartzites, serpentines, éclogites.

La direction et le pendage des couches indiquent que l'épandage du matériel s'effectuait à partir d'un point situé à l'aplomb de la Cerjaule actuelle, à environ 570 m d'altitude. Dès lors, on est tenté de voir dans ce dépôt le cône de déjections d'une ancienne Cerjaule qui coulait à une altitude beaucoup plus élevée.

De fait, la carte révèle l'existence, sur la rive gauche de la Cerjaule, entre Oulens et le Recoulet, d'un replat molassique situé à la cote 580 environ. Ce replat, qui sert aujourd'hui de substratum à des dépôts fluvio-glaciaires, pourrait correspondre au fond de la vallée préwürmienne de la Cerjaule. Dans cette hypothèse, la rivière poursuivait son cours vers le NE en passant par Champ de Romont (où la Molasse s'arrête aussi à 580 m d'altitude). Il semble peu probable qu'elle coulât déjà sur Lucens, car depuis l'embouchure du Recoulet, le Vallon des Vaux présente les caractéristiques de l'érosion postglaciaire.

Durant le maximum würmien, la moraine s'est accumulée sur une grande épaisseur au N de la ligne Forel-Cremin. Le torrent sous-glaciaire a dû se chercher un nouveau cours et s'est dirigé sur Lucens. Au moment du retrait glaciaire, alors que l'inlandsis se fractionnait en une série de langues occupant le fond des dépressions, la vallée de la Cerjaule était suspendue par rapport à celle de la Broye. Le matériel charrié par la Cerjaule s'est d'abord accumulé au pied du gradin de confluence, en partie sous le glacier de la Broye. Il s'agit d'éléments empruntés aux moraines qui tapissent le bassin de la rivière. La forme des galets, subanguleuse à subarrondie, la présence de stries glaciaires et de galets de molasse indiquent une courte durée de transport. La granulométrie du dépôt est celle d'un cours d'eau à forte capacité. Avec le temps, le dépôt augmente en importance, alors que l'espace disponible reste le même. Le cône remonte le long du gradin, puis déborde latéralement et s'appuie sur les versants de la vallée de la Broye, de part et d'autre de l'embouchure de la Cerjaule. Ce sont ces deux ailes du cône qui ont subsisté jusqu'à nos jours, la partie centrale ayant été érodée durant l'épisode postglaciaire.

b) Villeneuve:

Un cône de déjections fluvio-glaciaire s'est également installé contre le versant de la vallée de la Broye au débouché des gorges de Surpierre. Ses deux ailes sont

bien conservées; la section axiale, par contre, a été érodée, puis occupée récemment par un nouveau cône, très surbaissé.

Le cône fluvio-glaciaire est compris entre les altitudes de 479 et 520 m. Sa base visible, au niveau de la plaine de la Broye, mesure 700 m de largeur. La rupture de pente qui se produit au contact du cône avec le versant molassique est bien marquée.

Une petite gravière est ouverte au sommet de l'aile droite (coord. 177, 300/556, 300). Elle est formée d'une succession de niveaux très mal classés, faits de sable graveleux, de sable très chargé en gravillon et de sable pauvre en éléments grossiers. Au sommet de l'affleurement, un lit de limon jaunâtre vient s'intercaler entre deux niveaux de sable pauvre en gravier.

Les galets sont subanguleux, quelques uns montrent encore des stries glaciaires. Les galets de molasse sont rares.

La stratification oblique est bien marquée; les couches plongent de 22° vers le NEE.

La position du dépôt, son allure morphologique, sa texture et sa structure ainsi que l'inclinaison des couches indiquent qu'on se trouve en présence d'un cône de déjections.

Durant le retrait würmien, le débouché du vallon de Villeneuve était obstrué par le glacier de la Broye. Faute de place pour s'étaler horizontalement, le matériel charrié par le ruisseau s'accumule sur place. Le volume du cône augmente, le matériel commence à s'épandre latéralement, se glisse entre le glacier et le versant de la vallée. D'où la pente très raide du cône.

De même qu'à Lucens, le matériel n'a pas subi un long transport: la forme subanguleuse des galets, les stries glaciaires dont certains sont encore pourvus et la présence de galets molassisques l'attestent.

A la fin de l'épisode lacustre du Postwürm ancien, le niveau de base du ruisseau s'est abaissé. Le cours d'eau s'est mis à éroder le cône fluvio-glaciaire, emportant tous les dépôts qui encbraient le débouché du vallon. Hors d'atteinte du ruisseau, les ailes du cône ont seules été épargnées.

2. Terrasses

a) Seigneux-Les Murailles:

Entre Devant Trêmeule et la route Lucens-Prévonloup, l'épaulement inférieur de la vallée de la Broye, rive droite, est recouvert de dépôts fluvio-glaciaires. Ils forment, à 610 m d'altitude, la terrasse de Seigneux-Les Murailles, longue de 2,5 km et pouvant atteindre 370 m de largeur¹⁾. Son substratum, à la source du ruisseau des Grands Bois (coord. 174,520/556,730), est formé d'argile à blocs.

Sur les quatre gravières autrefois ouvertes dans cette terrasse, une seule en permet aujourd'hui l'étude: celle des Murailles, à l'W du hameau des Granges (coord. 173,850/556,200).

L'affleurement décrit ci-dessous mesure 1,5 m de haut sur 6 m de large. Il est fait d'une alternance de niveaux de sable moyen ou fin, de couleur grise, parfois chargé de petits galets et de niveaux franchement graveleux. La stratification est oblique, les couches sont inclinées de 20° vers le N, c'est-à-dire en direction de la vallée de la Broye. Le plus gros galet en place mesure 12 cm de diamètre. Mais le pied de la gravière est jonché de blocs plus volumineux, mis à jour au temps de l'exploitation intensive. On reconnaît des granites, gneiss, euphotides, micaschistes, quartzites, conglomérats de Vallorcine, de la nagelfluh, divers grès, entre autres

¹⁾ A Seigneux, une deuxième terrasse se développe à la cote 570.

des grès de la Molasse. Certains blocs subanguleux et striés portent les traces d'une intervention glaciaire, d'autres, arrondis et de forme ovoïde, présentent des caractères fluviatiles.

La genèse de cette terrasse est en relation avec une phase d'alluvionnement du R. de Seigneux.

Alors que le glacier du Rhône en régression s'étend jusqu'à environ 610 m d'altitude, le R. de Seigneux, à régime torrentiel en période de dégel, remanie les moraines découvertes à l'amont et en resédimente le matériel au flanc du glacier, sur l'épaulement de la vallée de la Broye. La dispersion des alluvions s'effectue à partir d'un cône de déjections qui se développe de part et d'autre du ruisseau. Ce cône passe progressivement vers le NE et le SW à une terrasse qui seule a échappé à l'érosion postglaciaire.

La durée de transport du matériel est courte, puisqu'on trouve des galets molassiques et des blocs à stries glaciaires. Les gros blocs incorporés au sable proviennent directement du glacier, à partir de moraines épi- ou intraglaciaires.

L'origine latéro-glaciaire de cette terrasse s'appuie sur un autre fait d'observation : au SW de Pré au Duc, le front de la terrasse repose au centre du replat morainique, 300 m au SE de la rupture de pente marquant le sommet du versant de la vallée de la Broye. Cette disposition indique que le glacier s'étendait en partie sur le replat. Les dépôts fluvio-glaciaires s'accumulaient dans une petite dépression entre le bord du glacier et le talus morainique des Granges.

b) Oulens-Champ de la Croix :

De La Crause, au S d'Oulens, jusqu'au Recoulet, l'épaulement rive gauche de la Cerjaule est recouvert de sables et de graviers fluvio-glaciaires. Ce revêtement, plaqué sur la Molasse, s'étend jusque dans le ruisseau de Champ de Romont.

L'ensemble comprend deux parties :

1. du Recoulet à Lugeon, entre les cotes 670 et 590 se développe un cône de déjections raviné par l'érosion postglaciaire. Une gravière permet d'analyser ses conditions lithologiques (coord. 173,800/552,730).

L'affleurement est formé de bancs de limon (à stratification interne entrecroisée), de limon à gravillon, de sable fin ou grossier, de gravillon et de gravier. Ce dernier est localement cimenté. Les blocs, subanguleux à subarrondis, sont rares, et ne dépassent pas 40 cm de diamètre. Quelques galets de molasse affleurent.

Dans la partie gauche de l'affleurement, un niveau de gravier se redresse brusquement à la verticale, formant une cheminée dans laquelle la stratification a presque totalement été détruite. Il s'agit d'un phénomène de cryoturbation.

Ailleurs, des bancs sablo-limoneux sont plissotés, faillés, mais la stratification est conservée; des injections de gravier se sont également produites. Il s'agit de déformations mécaniques en relation avec des mouvements du glacier.

2. A la hauteur de Lugeon, le cône passe à une terrasse d'altitude moyenne 625-620 m. Le fluvio-glaciaire atteint ici une trentaine de mètres d'épaisseur.

Les sédiments ont été apportés par le ruisseau qui descend de Condemeine. Au moment où le glacier n'occupe plus que le fond de la vallée, les eaux courantes déposent, au niveau de base provisoire des Onchires, le matériel provenant du lessivage des moraines situées à l'amont. Un cône d'accumulation, en partie érodé aujourd'hui, s'ouvre de part et d'autre du cours d'eau. Texture et structure des dépôts dénotent un régime torrentiel. Des mouvements du glacier en décrue occasionnent des déformations des sédiments.

Une partie du matériel est transporté plus loin vers le SW, pour former la terrasse d'Oulens-Champ de la Croix. Cette terrasse est encore alimentée, au SW, par les ruisseaux d'Oulens et des Parquets.

L'ablation glaciaire se poursuivait, le matériel qui butait primitivement contre le glacier se dépose à sa surface. Les sédiments sont transportés jusqu'à Lucens, où ils édifient un nouveau cône de déjections contre le versant de la vallée de la Broye (voir p. 257).

c) Sassel-Granges:

Un système de terrasses fluvio-glaciaires étagées se développe sur la rive gauche de la Lembe, au NE de la carte.

La coupe de la fig. 36 illustre les conditions suivantes:

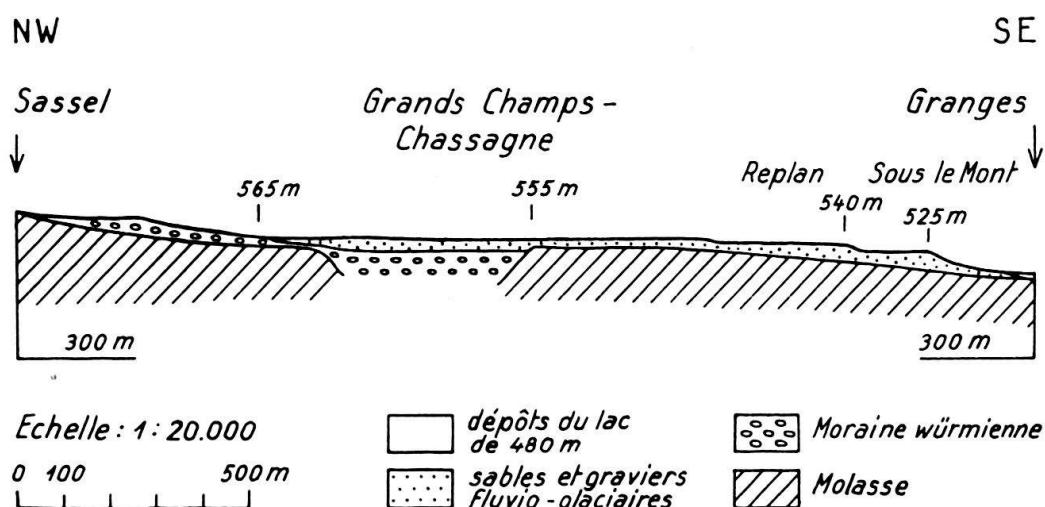


Fig. 36. Coupe des terrasses fluvio-glaciaires de Sassel-Granges. Retrait würmien.

au SE du dôme aquitanien de Sassel, à partir de la cote 565, la moraine disparaît au profit du fluvio-glaciaire de retrait würmien. Les dépôts forment un replat d'1 km de longueur suivant la coupe. C'est la terrasse des Grands Champs-Chassagne, d'altitude moyenne 555 m. Elle est bordée au SW par le thalweg du ruisseau de Chapelle près Surpierre, et au S par la Lembe. Au NE, elle se raccorde progressivement à la plaine de Ménières-Brit. Cette terrasse est installée en partie sur le cours préwürmien de la Lembe.

La terrasse de Sur le Mont, qui s'étend au N de Ménières, doit être mise en liaison avec celle des Grands Champs-Chassagne; elle plafonne également à la cote 555. Une gravière (coord. 182,040/557,780) permet d'en étudier la constitution (fig. 37):

elle est formée de bancs de sable localement graveleux et de niveaux de gravier mal classé. Le matériel est subarondi à subanguleux. Les blocs sont rares; ils atteignent au maximum 32 cm de diamètre. On trouve des galets molassiques, des galets fissurés et des galets à stries glaciaires en partie effacées.

Dans l'ensemble, les couches plongent de 13° vers le SE. A l'intérieur des bancs, la stratification est souvent entrecroisée.

Au centre de l'affleurement, au sommet, les couches sont plissées en anticlinal.

Un talus de 5 m de hauteur sépare la terrasse des Grands Champs-Chassagne de celle de Replan. Son altitude moyenne est de 540 m. Elle mesure 250 m en direction de la coupe. Son substratum, qui affleure sur le versant rive gauche de la Lembe, est fait de Molasse d'eau douce.

La terrasse de Replan est limitée au SE par un talus de 10 m de hauteur au pied duquel s'étend la terrasse de Sous le Mont. C'est la plus petite des trois. Elle plafonne à 525 m d'altitude.

Cette terrasse est séparée de la plaine de la Broye par le talus de Sous le Mont, d'une hauteur de 40 m.



Fig. 37. Sables et graviers fluvio-glaciaires stratifiés du retrait würmien. Gravière de Ménières.

Au SWW des terrasses de Sassel-Granges se développe, entre Cheiry et Les Esserts (au S de Chapelle près Surpierre) la terrasse du Vuabley, d'altitude moyenne 575 m.

Ces terrasses, formées durant le retrait de l'inlandsis würmien, correspondent à des phases successives de l'ablation du glacier.

Durant un premier stade se forme, par accumulation latéro-glaciaire, la terrasse des Grands Champs-Chassagne. Puis la masse de glace s'abaisse jusqu'à 540 m d'altitude environ, livrant la région de Replan à la sédimentation. Les eaux de fusion remanient les moraines latérales, les classent; les eaux courantes érodent localement la terrasse supérieure et déposent leur charge au niveau de base provisoire déterminé par l'extension du glacier. Nouvelle ablation de l'inlandsis, dont la surface s'abaisse jusqu'à environ 525 m d'altitude, et formation de la terrasse de Sous le Mont.

3. Placages

Ils diffèrent des cônes de déjections et des terrasses par leur morphologie: au lieu de former des replats, ou des talus localisés au niveau de base des ruisseaux, les dépôts fluvio-glaciaires peuvent constituer un revêtement continu de certains versants de thalwegs.

De telles conditions sont réalisées sur la rive droite de la Lembe, entre Cheiry et les Râpes. Sur 3,7 km de distance, le flanc de la vallée est tapissé de dépôts sablo-graveleux. Au SW, ils montent depuis le fond de la vallée, c'est-à-dire depuis

565 m d'altitude jusqu'à 590 m. Au NE, ils se développent entre les cotes 530 et 600. Ce placage fluvio-glaciaire donne une topographie désordonnée, bosselée. De nombreux ravins secs le burinent. Toute cette zone, d'ailleurs, est privée d'écoulement superficiel.

Deux petites terrasses ont réussi à se développer: celle de Coumin Dessus, à 550 m d'altitude, et celle des Planches, à 590 m. A l'E de cette dernière se trouve une gravière. Elle est faite d'une succession de bancs de sable très fin bien classé, de sable moyen homométrique, de gravillon et de gravier. L'épaisseur des bancs varie entre 3 et 30 cm; les plus épais sont en matériel grossier. Les galets sont subanguleux à subarrondis, parfois arrondis. L'affleurement ne livre pas de blocs, mais des galets de molasse. La stratification est oblique, les couches plongent de 15° vers le NNW.

Les dépôts fluvio-glaciaires forment des placages lorsque les conditions topographiques ne leur permettent pas de s'étendre en terrasses ou en cônes de déjections.

Alors que la surface du glacier de la Lembe s'abaisse progressivement, les eaux courantes remanient les moraines abandonnées sur le versant droit de la vallée. Comme la pente est relativement escarpée et l'ablation glaciaire trop rapide, les sables et graviers ne peuvent s'accumuler en terrasses. Ils tapissent le versant du thalweg sans modifier son profil topographique d'ensemble.

Pour expliquer la présence des petites terrasses de Coumin Dessus et des Planches, on pourrait invoquer un replat du substratum morainique.

L'âge du complexe würmien

Les théories classiques accordent un âge différent aux trois termes du complexe würmien (progression, maximum, retrait) dont la mise en place s'est effectuée successivement.

Ces dernières années, A. JAYET (1952, 1955, 1956, 1957, 1958) a présenté des vues nouvelles, basées sur l'étude des glaciers actuels. Cet auteur considère le complexe würmien comme un ensemble de moraines datant en gros du même âge. D'après sa théorie, les dépôts de progression se déposèrent sous le glacier en crue, alors que le fluvio-glaciaire de retrait se serait formé sur le glacier en voie de disparition et à partir de moraines elles-mêmes situées sur la glace. A la suite de l'ablation, les terrains glaciaires se sont empilés les uns sur les autres, l'âge est donc le même de bas en haut de la série würmienne locale.

Dans la région de Lucens, la mise en place du complexe würmien n'a pas obéi à un tel mécanisme. Le fluvio-glaciaire de retrait s'est accumulé sur terre ferme, en bordure d'un glacier très réduit¹⁾. Les pendages mesurés dans les gravières indiquent que la dispersion du matériel s'effectuait depuis la terre ferme en direction du glacier.

Les dépôts fluvio-glaciaires s'étant formés à la fin du retrait, la mise en place du complexe würmien local s'est effectuée en deux étapes distinctes dans le temps. Le maximum et le retrait correspondent donc à deux sous-étages d'âge différent.

Cours épigéniques

a) La Lembe:

De Cheiry à Coumin Dessous, le ruisseau coule sur du Quaternaire. La vallée, orientée SW-NE, est large. La partie inférieure des versants est composée de dépôts würmiens.

¹⁾ Exception faite, peut-être, des petits amas fluvio-glaciaires de Nuvilly, Prévondavaux et Gréchon dessus, qui ont pu se déposer suivant le mécanisme décrit par JAYET.

500 M au NE de Coumin, la Lembe tourne et se dirige vers l'E. Le thalweg, entaillé dans la Molasse d'eau douce jusqu'à Granges, devient très étroit, adopte un profil en V. Le lit du ruisseau est lui-même formé en grande partie de Molasse.

Cette section aval du cours de la Lembe est épigénique. Avant le Würm, le ruisseau coulait vers le NE, passait entre les affleurements de Molasse de Boveire et se dirigeait sur Ménières. Durant la dernière glaciation, la section aval de la Lembe a été comblée de dépôts morainiques. La débâcle würmienne une fois amorcée, la rivière a dû se chercher un nouveau cours et s'est dirigée sur Granges.

b) La Broye:

Le méandre de la Broye, au lieudit Bergère, au S de Lucens, est également épigénique. La rivière coule dans la Molasse marine sur 450 m. Le cours préwürmien passait à l'W de Bergère, entre le petit affleurement de Molasse et la route Lucens-Moudon.

V. GILLIÉRON (1885, p. 480) pense que c'est le «quaternaire stratifié» de Bergère qui a provoqué le détournement.

c) Ruisseau de Villeneuve:

Depuis sa source, à Forel, jusqu'au lieudit Le Basset, le ruisseau coule en direction NE. Ici, il tourne vers l'E, conserve cette orientation sur 600 m, puis se dirige à nouveau vers le NE. A Surpierre, il commence à entailler la Molasse.

A partir du Basset, son cours est épigénique. Avant la glaciation würmienne, le ruisseau continuait de couler vers le NE, passait par Champ Corboud, empruntait le tracé de l'actuel ruisseau de Grange aux Rattes pour aboutir dans la vallée de la Broye à La Coulonne, au N de Villeneuve. Son détournement a été provoqué par un remblayage morainique würmien entre Grange aux Rattes et Le Basset.

Le dépôt de tuf calcaire du ruisseau de Grange aux Rattes est en liaison avec un courant de fond qui emprunte l'ancien cours du ruisseau de Villeneuve.

Il est possible que cet ancien thalweg corresponde au cours aval de la Cerjaule préwürmienne. Avant la glaciation, elle coulait à une altitude plus élevée (voir p. 258). Au lieu de se diriger sur Lucens, elle poursuivait son chemin vers le NE, passait par Champ de Romont, Broillet, pour rejoindre la dépression du Bois des Meules, entre les collines molassiques du Grand Bois et de Praratoud. Son détournement à la hauteur du Recoulet a été occasionné par une grosse accumulation de moraine würmienne entre Champ de Romont et le Bois des Meules.

CHAPITRE II

La période postwürmienne

I. Postwürm ancien: les épisodes lacustres

Introduction

Au moment où le glacier du Rhône en régression quittait définitivement le bassin molassique, la moraine frontale de Wangen an der Aare, près de Soleure, a fait obstacle à l'écoulement des rivières vers le NE. Les eaux se sont accumulées derrière ce barrage naturel, noyant la zone subjurassienne jusqu'au Mormont.

Ce lac, dont la surface atteignait la cote 510, occupait la vallée de la Broye jusqu'à Moudon.

L'érosion régressive entaillant la moraine de Wangen, le niveau des eaux s'est abaissé successivement à 480 m, 450 m¹⁾, pour atteindre finalement 430 m, c'est-à-dire la cote actuelle des lacs subjurassiens.

1. Le lac de 510 m

a) Le delta fossile de Granges:

Il a été édifié par la Lembe à son embouchure dans le lac pléistocène de la Broye.

Vue en plan, l'aile droite du delta, la mieux conservée, prend la forme d'un arc de cercle de 850 m de rayon qui s'ouvre à la hauteur des Moulins de Granges. Elle domine actuellement la plaine de la Broye d'une trentaine de mètres.

En coupe axiale, on reconnaît (fig. 38):



Fig. 38. Le delta fossile de la Lembe. Postwürm ancien. Granges.

1. la zone de raccord du delta avec le versant molassique, marquée par une rupture de pente (à gauche de la ferme, sur la photographie);

2. le sommet du cône d'accumulation, qui forme une terrasse horizontale de 300 m de longueur, plafonnant à la cote 505;

3. à l'aval, la pente frontale rattachant le delta à la plaine de la Broye.

Une gravière exploite les dépôts (coord. 178,920/557,480). Son front de taille, mesurant 180 m de longueur, est oblique par rapport à l'axe de dispersion du matériel.

¹⁾ Ce stade correspond au lac de Soleure, signalé par A. FAVRE (1883).

Les conditions lithologiques sont les suivantes, de bas en haut:

1. Alternance de bancs de sable et de sable graveleux stratifiés obliquement; le pendage est de 20° vers 138°	$\pm 12,00$ m
2. Horizon graveleux stratifié \pm horizontalement	$\pm 3,00$ m
3. Niveau à stratification oblique plongeant de 24° vers 250° ; à gauche, ce niveau est entièrement graveleux, à droite, les foreset beds graveleux passent à des bottomset beds en sable à ripple marks; les topsets sont érodés	$\pm 7,50$ m
4. Niveau horizontal très graveleux, à passées sableuses; les 1,30 m supérieurs sont en arrière du front s'abattement, de même que les deux derniers niveaux	1,90 m
5. Alternance de bancs de sable et de gravier à stratification oblique de 6° vers 341°	3,00 m
6. Sol	1,30 m

Le gravier est en grande partie subarrondi. Quelques galets portent encore des stries glaciaires, mal conservées. Les blocs sont abondants; le plus grand diamètre mesuré atteint 75 cm.

Cette gravière est la plus riche en galets et blocs molassiques. Il s'agit de grès et de marnes de la Molasse d'eau douce inférieure.

Le matériel composant le delta a été emprunté aux dépôts fluvio-glaciaires qui tapissent les versants de la Lembe. Les galets de molasse proviennent de l'érosion du cours épigénique de la rivière, situé immédiatement à l'amont du delta.

Le climat périglaciaire qui régnait après le départ du glacier würmien développait une érosion intense. Dépourvus de couvert végétal protecteur, les sables et graviers sont emportés par les eaux courantes, charriés par la Lembe jusqu'à son embouchure dans le lac de 510 m, où se forme un cône de déjections.

b) La terrasse de la Broye:

De Treize Cantons à la Clergère, sur la rive droite de la Broye, et de La Voraire jusqu'au ruisseau de Cremin, sur la rive gauche, une terrasse plafonnant à 490–500 m d'altitude longe le pied des versants de la vallée.

A Bergère, au S de Lucens, elle domine la plaine d'alluvions récentes de la Broye d'une dizaine de mètres. V. GILLIÉRON (1885, p. 448) a pu étudier la constitution de cette terrasse dans la tranchée du chemin de fer (coord. 172,160/553,930). Les dépôts consistent en bancs de sable d'au moins 5 ou 6 m d'épaisseur, dont l'un plonge du N au S de plus de 20° . Pour GILLIÉRON, cela ne peut s'expliquer que comme irrégularité d'un dépôt formé dans le voisinage d'un glacier.

A l'heure actuelle, les sédiments n'affleurent qu'à Pra Salabrat, sur la rive droite de la Broye (coord. 171,250/553,680). Une petite gravière présente une alternance de niveaux de gravier subanguleux à subarrondi, nageant dans une matrice sableuse. La stratification est bien marquée par des variations de la granulométrie; le pendage est de 37° vers le NNE. Dans la partie droite de l'affleurement se développe un niveau de sable hétérométrique, dont la stratification est soulignée par une alternance de laminae de granulométrie fine et grossière. On trouve des galets molassiques fissurés et des galets à stries glaciaires.

Au sommet, affleurent les alluvions du cône de déjections actuel du ruisseau de Pré Cerjat.

Ces dépôts se sont accumulés dans le lac de 510 m. Les sables et graviers ont été en grande partie amenés par les affluents de la Broye (la direction des pendages à Bergère et Pra Salabrat renforcent cette hypothèse); comme autres fournisseurs de matériel, il faut envisager les torrents issus de la langue de glace qui fondait au fond de la vallée de la Broye.

A plusieurs endroits, la terrasse passe à des accumulations fluvio-glaciaires à partir de la cote 510. Les eaux du lac les ont en partie érodées. Il faut signaler, en effet, qu'il y a une liaison très étroite entre le fluvio-glaciaire et le glacio-lacustre, qui en est la continuation. Le matériel formant ces dépôts a été apporté suivant un mécanisme identique. Seules les conditions de sédimentation diffèrent: le fluvio-glaciaire a dû s'accumuler contre les versants de la vallée de la Broye, car le glacier l'occupait encore en partie; quant au glacio-lacustre, il n'a pas rencontré d'obstacle à son épandage et pouvait largement s'étaler dans le fond du thalweg. Les sables et graviers se sont accumulés jusqu'à l'isohypse 500 environ pour former une terrasse plus ou moins horizontale. Quand le lac s'est retiré de la vallée, la Broye a érodé l'axe de la plaine alluviale, si bien qu'actuellement, les dépôts lacustres forment une terrasse d'érosion dominant la rivière de quelques mètres.

Les dépôts attribués au lac de 510 m entre Granges et Ménières consistent essentiellement en sables et graviers fluvio-glaciaires remaniés.

2. Le lac de 480 m

Au NE du terrain de recherches s'étend la terrasse de Brit, d'altitude moyenne 475 m. Aucun affleurement ne permet d'analyser sa constitution lithologique.

Cette terrasse se poursuit au NNE de la carte, où J.-L. RUMEAU (1954) a pu étudier des coupes. Sous une couche superficielle de sable se développent d'importants dépôts de marnes. Ces marnes, exploitées à l'usine de Fétigny, au SW de Payerne, paraissent azoïques. RUMEAU les attribue à un lac de 480 m¹).

Durant cet épisode lacustre, un phénomène d'érosion s'est produit à Granges. Le niveau de base de la Lembe a été modifié par suite de l'abaissement du niveau des eaux jusqu'à la cote 480 environ. La rivière s'est encaissée dans le delta du lac de 510 m, l'a érodé en partie, emportant toute l'aile gauche. Une terrasse s'est ainsi formée, qui s'étend aujourd'hui de part et d'autre du cours d'eau; elle est comprise entre 470 et 485 m d'altitude.

Récemment, c'est-à-dire à la fin du Postwürm ancien, la Lembe s'y est encaissée d'une dizaine de mètres.

3. Le lac de 450 m

Cet épisode lacustre, reconnu par J.-L. RUMEAU (1954) dans la région de Payerne, n'a pas laissé de traces sur le terrain prospecté. Il convient cependant de le signaler, car il correspond au dernier stade d'évolution (naturelle) des lacs subjurassiens qui précède les conditions actuelles.

II. Postwürm récent: la période actuelle

Eboulements

Le plus important est celui de la Côte des Baumes, au S de Surpierre. Le sommet du versant molassique de la vallée de la Broye a été emporté. Du Tertiaire en place (?) affleure au pied de la zone d'accumulation.

V. GILLIÉRON (1885, p. 474) met cet éboulement au compte de la «désagrégation de la molasse d'eau douce, qu'on ne voit du reste plus dans cette localité.»

D'autres éboulements, trop restreints pour être portés sur la carte, se sont produits dans les thalwegs molassiques encaissés (R. des Vaux, coord. 171, 040/555, 270).

¹⁾ Cet auteur pense que le niveau du lac pouvait être légèrement plus élevé.

Débris de pentes

Une mince pellicule de sables molassiques mêlés de matériel glaciaire soliflué tapisse les versants des vallées creusées dans la Molasse.

Dans les thalwegs morainiques, les débris de pentes consistent en matériel glaciaire altéré.

Glissements; tassements

Deux glissements de terrains se sont produits à l'W de Nuvilly, sur la rive gauche de la Petite Glâne : l'un au Vernat, l'autre aux Grands Champs.

En général, les glissements affectent les versants de thalwegs creusés dans la moraine. En remontant les ruisseaux de Pré Cerjat et de Sarzens, par exemple, on voit se succéder, sur les deux rives, une série de petites niches d'arrachement d'où s'échappent des coulées d'argile graveleuse.

Le versant gauche de la Cerjaule, dans l'angle SW de la carte, est en glissement sur 0,9 km de distance.

La couverture de débris qui tapisse les pentes de thalwegs manifeste également une tendance générale à glisser.

1 km à l'W de Granges, sur la rive droite de la Lembe (coord. 179,380/556,750), un ancien glissement forme une zone tassée.

Cônes de déjections

Presque tous les ruisseaux édifient un cône de déjections à leur niveau de base. Les plus importants en étendue sont ceux du R. de Seigneux, de la Cerjaule et du ruisseau de Pré Cerjat. Les alluvions, qui consistent en matériel sablo-argileux mêlé de quelques blocs morainiques, se déploient en éventail largement ouvert, à peine bombé.

Le R. des Vaux est seul à ne pas construire de cône ; il rejette ses alluvions directement à la Broye. La raison en est que la topographie ne s'y prête guère, puisqu'en débouchant dans la vallée, le ruisseau s'encaisse dans son cône fluvioglaciaire.

Alluvions de la Broye

Elles forment l'essentiel du remblayage superficiel de la vallée. Dans la gravière des Iles, 520 m au SSE de la ferme de La Baume, sur la rive gauche de la Broye (coord. 175,160/555,600), les alluvions sont graveleuses. Elles contiennent quelques bancs de sable peu épais et sans continuité latérale. Les galets adoptent souvent la structure imbriquée, caractéristique des alluvions fluviatiles. Ils sont subarrondis-subanguleux. Les blocs sont rares. La stratification est horizontale ou faiblement oblique.

La tranche visible d'alluvions récentes mesure 5 m de hauteur. Quant à l'épaisseur de l'ensemble du remblayage de la vallée, elle dépasse 30 m, puisqu'une série de sondages ont atteint les cotes suivantes, sans rencontrer le substratum molasique :

Lucens (1953)	-30 m
entre Lucens et Moudon (1953)	-30 m

Eluvions

La petite Glâne jusqu'au lieudit Le Moulin, et la Lembe de Cheiry à Coumin Dessous coulent sur des éluvions. Ils dérivent du remaniement sur place de dépôts morainiques ou fluvio-glaciaires.

Une zone d'éluvions se développe également au N de Brit, au détriment des dépôts du lac de 480 m.

Tuf calcaire

Les dépôts de tuf calcaire, peu importants, sont en liaison avec des eaux de fond qui se sont enrichies en CaCO_3 en traversant des masses sablo-graveleuses.

Ils se présentent sous deux aspects:

1. tuf en escalier, plaqué sur la Molasse, au pied des sources qui jaillissent au contact du fluvio-glaciaire ou de la moraine avec le Tertiaire (Cremin, coord. 175/554, 930; rive droite de la Cerjaule, coord. 172,230/551,820; 172,400/552);

2. certains ruisseaux qui descendent des terrasses fluvio-glaciaires ont leur cours supérieur entravé par une succession de petits barrages tuffeux (ruisseau des Grands Bois, coord. 174,750/556,630; ruisseau de Pré au Duc, coord. 174,180/556,220).

Des placages de tuf calcaire existent également sur la rive gauche du Flon, au S de Combremont le Grand. Leur originalité est d'être en liaison avec la Molasse. En effet, les eaux qui s'infiltrent dans le sol aux environs de Combremont circulent à travers le faciès coquillier; elles s'enrichissent en CaCO_3 en dissolvant les valves de Lamellibranches des grès lumachelliques.

Marais

Ils sont cantonnés au fond des dépressions tapissées de moraine (La Planche, au NE de Forel; Vers La Chape, à l'W de Combremont le Petit; Sassel; Cremin; etc.)

Ils sont presque tous drainés.

Sources et captages

Une ligne de sources est située sur la rive gauche de la Cerjaule, au contact fluvio-glaciaire/Molasse.

La plupart des captages d'eau mettent à contribution des nappes superficielles circulant dans les dépôts quaternaires.

Les captages sont généralement implantés:

1. à une rupture de pente marquant le passage d'un versant morainique à une pente de Molasse (Vigny, coord. 178,530/556,620);

2. au pied de pentes molassiques à couverture quaternaire (de La Baume à Vegny, sur la rive gauche de la Broye; N de Lucens);

3. dans des dépressions (ravins, têtes de ruisseaux, etc.) qui burinent les versants en moraine (Les Bioles-Rosex, à l'E de Curtilles; Communs d'en Haut, à l'W de Lucens).

Matériaux de construction

Autrefois, les indigènes utilisaient les blocs erratiques et les grès molassiques pour la construction. Les nombreuses carrières ouvertes dans la Molasse (plus de 60; aujourd'hui, toutes sont abandonnées) témoignent de l'intense exploitation qui en était faite. Le grès coquillier, dur et moins altérable que les autres variétés de grès,

était le plus recherché. De nos jours, on l'exploite encore à petite échelle à la Tour de la Molière, Seiry et Bollion, au N du terrain cartographié.

Les alluvions récentes de la Broye (La Baume, Les Iles, La Chaumiére), les amas fluvio-glaciaires (Ménières, Lucens) et les dépôts lacustres (Granges) fournissent du sable et du gravier.

Les moraines informe et graveleuse sont utilisées comme matériaux de remblaiement.

BIBLIOGRAPHIE

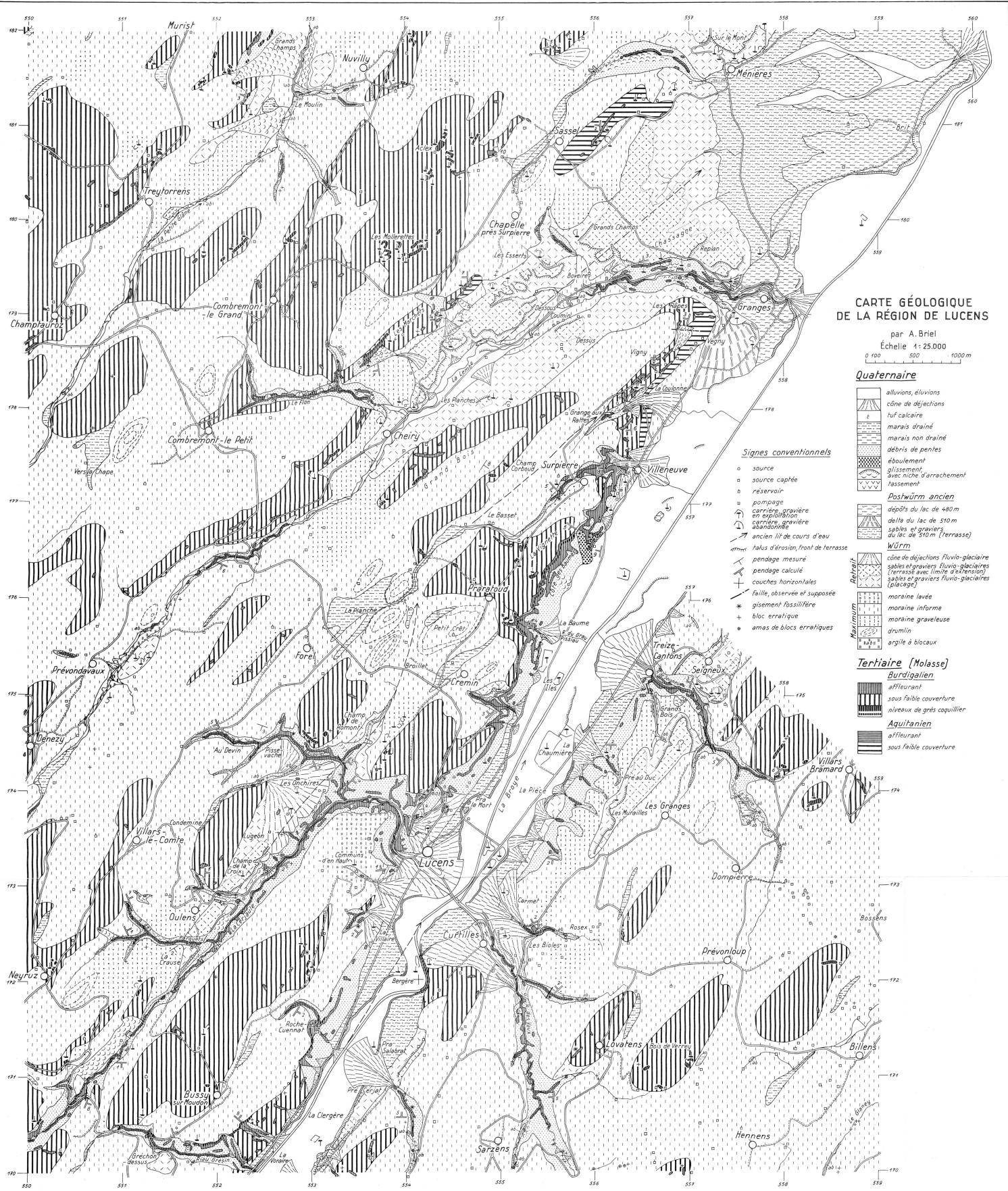
- AEBERHARDT, B. (1903): *Note sur le Quaternaire du Seeland*. Arch. Sc. phys. et nat., Genève 16.
- (1908): *Note préliminaire sur les terrasses d'alluvions de la Suisse occidentale*. Eclogae geol. Helv. 10.
 - (1909): *Déviations de quelques cours d'eau pendant la période quaternaire*. Eclogae geol. Helv. 10.
- ANTENEN, F. (1936): *Geologie des Seelandes*. Verlag der Heimatkundekommission, Biel.
- ATHY, L. F. (1930): *Density, Porosity, and Compaction of Sedimentary Rocks*. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 14, 1.
- AUBERT, D. (1949): *Les graviers de Montcherand, au pied du Jura vaudois*. Eclogae geol. Helv. 42.
- BANDY, O. L. (1954): *Distribution of some shallow-water Foraminifera in the Gulf of Mexico*. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 254-F.
- BÄRTSCHI, E. (1913): *Das westschweizerische Mittelland. Versuch einer morphologischen Darstellung*. Schweiz. Naturf. Ges. 47, 2.
- BAUMBERGER, E. (1923): *Die Transgression des Vindobonien in den Tertiärmulden von Moutier und Balsthal*. Eclogae geol. Helv. 17.
- (1931): *Zur Tektonik und Altersbestimmung der Molasse am schweizerischen Alpennordrand*. Eclogae geol. Helv. 24.
 - (1934): *Die Molasse des Schweizerischen Mittellandes und Juragebietes*. Guide géol. de la Suisse 1.
- BAUSCH VAN BERTSBERGH, J. W. (1940): *Richtungen der Sedimentation in der Rheinischen Geosynklina*. Geol. Rundschau 31.
- BERSIER, A. (1936): *La forme de la transgression burdigaliennes dans la région vaudoise*. C. R. S. Soc. géol. France 7.
- (1936): *Un critère de durée dans l'Oligocène vaudois*. Bull. Lab. Géol. Lausanne 56.
 - (1938a): *Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat*. Mém. Soc. vaud. Sc. nat. 6, 3.
 - (1938): *La subsidence dans l'avant-fosse molassique des Alpes*. C. R. Acad. Sc. Paris 206.
 - (1938): *Caractère et signification de la sédimentation dans l'avant-fosse alpine (phase externe)*. C. R. Acad. Sc. Paris, 206.
 - (1941): *Perforation de Lithophages dans l'Aquitainien vaudois et leur signification*. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 61, 254.
 - (1942a): *Remarques sur la tectonique du Jorat*. Eclogae geol. Helv. 35.
 - (1942): *L'origine structurale des collines et alignements morphologiques orientés du Plateau vaudois*. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 62, 258.
 - (1948): *Les sédimentations rythmiques synorogéniques dans l'avant-fosse molassique alpine*. Int. Geol. Congress, 18th Session, Great Britain 4.
 - (1949): *La sédimentation cyclique de type molassique paralique en fonction de la subsidence continue*. Sédimentation et Quaternaire. France, éd. Led-Sam, Bordeaux.
 - (1952): *Les sédimentations cyclothématisques des fosses paraliques de subsidence*. Congr. géol. intern., 19e Session, Alger 13, 2.
 - (1953): *La sédimentation cyclique des faciès détritiques molasse et houiller, signification et causes*. Rev. Inst. Franç. du Pétrole 8.
 - (1958): *Séquences détritiques et divagations fluviales*. Eclogae geol. Helv. 51.
- BERTHOIS, L. (1952): *Genèse et caractères des galets argileux en Loire*. C. R. S. Soc. géol. France 13.

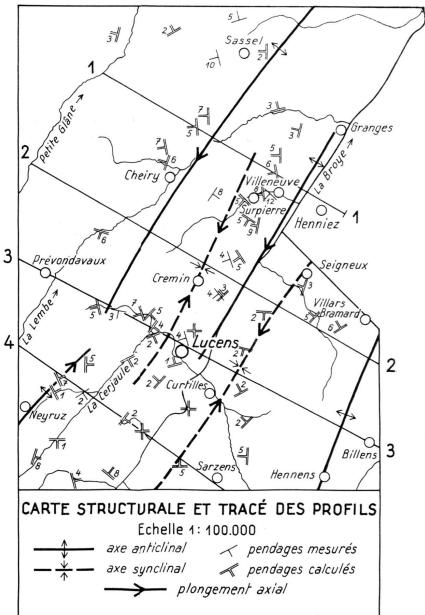
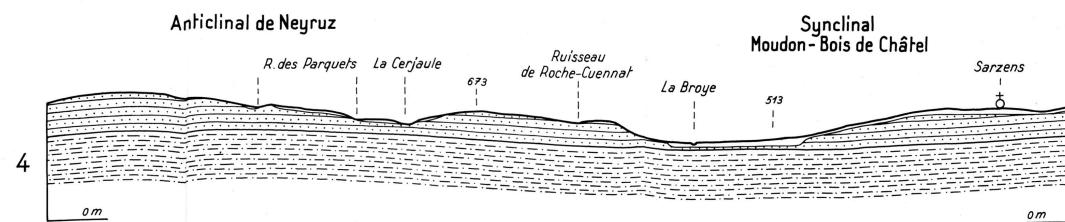
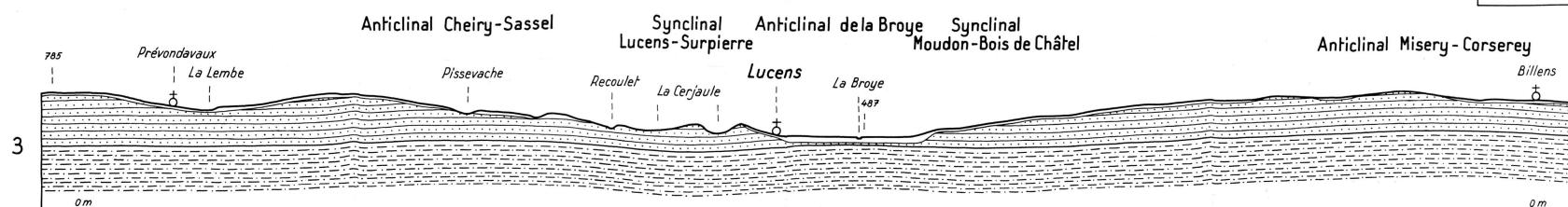
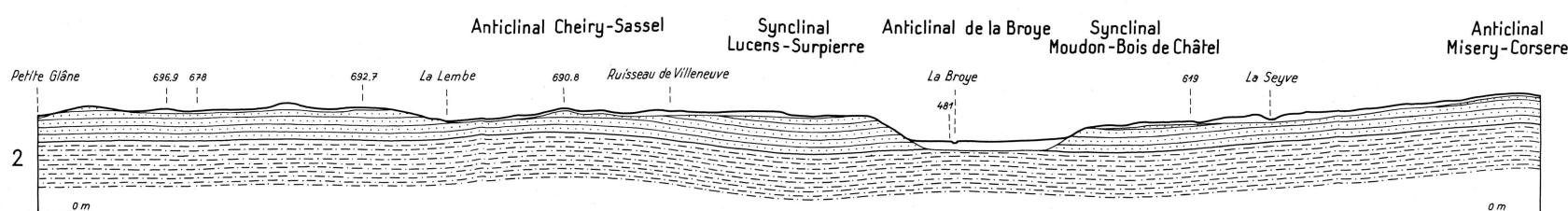
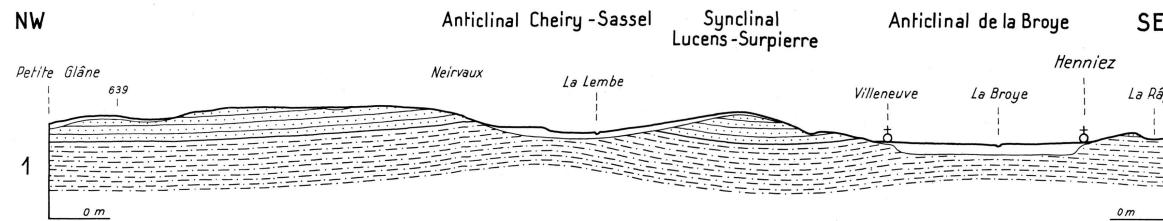
- BIÉLER, T. (1901): *Etude préliminaire sur le modèle glaciaire et le paysage drumlinique dans la plaine vaudoise.* Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 37, 139.
- BOKMAN, J. (1955): *Sandstone Classification: Relation to Composition and Texture.* Jour. Sedimentary Petrology 25, 3.
- BRAUN, E. von (1953): *Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Hochrhein-gebiet zwischen Zurzach und Eglisau.* Eclogae geol. Helv. 46.
- BRUNHES, J. (1908): *Interprétation nouvelle de l'érosion glaciaire.* Eclogae geol. Helv. 10.
- BÜCHI, O. (1928): *Das Becken von Marly.* Bull. Soc. frib. sc. nat. 29.
- BÜCHI, U. P. (1957): *Zur Gliederung des Burdigalien im Kanton Aargau.* Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing. 23, 65.
- CADISCH, J. (1923): *Beitrag zur Entstehungsgeschichte der Nagelfluh.* Eclogae geol. Helv. 18.
- (1928): *Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation.* Geol. Rundschau 19.
- CAROZZI, A. (1953): *Pétrographie des roches sédimentaires.* F. Rouge & Cie S. A., Lausanne.
- (1945): *Les plissements des graviers morainiques du retrait würmien.* C. R. séances Soc. phys. et his. nat. Genève 62, 3.
- CAYEUX, L. (1916): *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires.* Mém. explication Carte géol. France.
- (1929): *Les roches sédimentaires de France. Roches siliceuses.* Mém. explication Carte géol. France.
- CLOUD, jr., P. E. (1955): *Physical Limits of Glauconite Formation.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 39, 4.
- CRAUSAZ, C. U. (1959): *Géologie de la région de Fribourg.* Thèse Fribourg.
- CUSTER, W. (1928): *Etude géologique du pied du Jura vaudois.* Mat. Carte géol. Suisse, N. S. 59.
- DANGEARD, L. (1929): *Observations de Géologie sous-marine et d'Océanographie relatives à la Manche.* Thèse Paris.
- DEPÉRET, C. (1893): *Sur la classification et le parallélisme du système miocène.* B. S. G. F. 3, 21.
- DOEGLAS, D. J. (1951): *The transport of sedimentary material»* C. R. 3e Congr. avancem. études stratigr. et géol. du Carbonifère, Heerlen 1.
- DREYFUSS, M. (1951): *Pour une représentation graphique des formations sédimentaires marines.* B. S. G. F. 6, 1.
- EATON, J. E. (1929): *The By-Passing and Discontinuous Deposition of Sedimentary Materials.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 13, 7.
- (1931): *Standards in Correlation.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 15, 4.
- FAVRE, A. (1883): *Sur l'ancien lac de Soleure.* Arch. Sc. phys. et nat., Genève 10.
- FOLK, R. L. (1951): *Stages of Textural Maturity in Sedimentary Rocks.* Jour. Sedimentary Petrology 21, 3.
- FOURMARIER, P. (1949, 1950): *Principes de Géologie.* 3e éd., Masson & Cie, Paris, 2 vol.
- FRASSON, B. A. (1947): *Geologie der Umgebung von Schwarzenburg (Kanton Bern).* Beitr. Geol. Karte der Schweiz, N. F. 88.
- GAGNEBIN, E. (1937): *Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman.* Bull. Lab. Géol. Lausanne 58.
- GERBER, E. (1913): *Jensberg und Brüttelen, zwei Ausgangspunkte für die Molasse-Stratigraphie des bernischen Mittellandes.* Eclogae geol. Helv. 12.
- (1932): *Andeutung von Sedimentationszyklen in der Molasse des bernischen Mittellandes.* Eclogae geol. Helv. 25.
- GIGNOUX, M. (1936): *Géologie stratigraphique.* 2e éd., Masson & Cie, Paris.
- (1950): *Sédimentation rythmique dans les plaines maritimes et au fond des mers.* C. R. séances Acad. Sc. 230.
- GILBERT, G. K. (1890): *Lake Bonneville.* U. S. Geol. Survey, Monographs 1.
- GILLIÉRON, V. (1885): *Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne, compris dans la feuille XII entre le lac de Neuchâtel et la crête du Niesen.* Mat. Carte géol. Suisse 18.
- GIRARDIN, P. (1907): *Le modèle du Plateau suisse à travers les quatre glaciations.* Rev. de Géogr. annuelle, Paris 1.
- GLANGEAUD, L. (1938): *Transport et sédimentation dans l'estuaire et à l'embouchure de la Gironde.* B. S. G. F. 5, 8.
- (1941): *Sur la formation et la répartition des faciès vaseux dans les estuaires.* C. R. séances Acad. Sc. 213.

- GOUVERNET, C. (1958): *Géodynamique du Miocène*. 83e Congr. Soc. savantes, Colloque sur le Miocène.
- HÄNTZSCHEL, W. (1936): *Die Schichtungs-Formen rezenter Flachmeer-Ablagerungen im Jade-Gebiet*. Senckenb. 18.
- HAUG, E. (1921): *Traité de géologie*, 1. 3 éd., A. Colin, Paris.
- HEDBERG, H. D. (1952): *Procedure and Terminology in Stratigraphic Classification*. Congr. géol. intern., 19e Session, Alger 13, 1.
- HEER, O. (1872): *Le monde primitif de la Suisse*. H. Georg, Genève et Bâle.
- HEIM, A. (1919): *Geologie der Schweiz*. 1. Chr. Herm. Tauchnitz, Leipzig.
- HOFMANN, F. (1955): *Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken*. Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing. 22, 62.
- (1960): *Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken*. Jahrb. St. Gall. Naturw. Ges. 76.
- HÜRZELER, J. (1940): *Alter und Facies der Molasse am Unterlauf des Talent zwischen Oulens und Chavornay*. Eclogae geol. Helv. 33.
- INGLIN, H. (1960): *Molasse et Quaternaire de la région de Romont (canton de Fribourg)*. Thèse Fribourg.
- JAYET, A. (1927): *Etude stratigraphique de la Perte du Rhône près de Bellegarde (Ain, France)*. Eclogae geol. Helv. 20.
- (1945a): *Origine et âge de l'alluvion ancienne des environs de Genève*. C. R. séances Soc. phys. et his. nat. Genève 62, 2.
 - (1945b): *A propos de l'âge du maximum glaciaire quaternaire*. Eclogae geol. Helv. 38.
 - (1945c): *Glaciologie quaternaire et préhistoire. Quelques vues nouvelles*. Arch. suisses Anthropol. génér. 11, 2.
 - (1946): *Les dépôts quaternaires et la théorie des emboîtements*. Geographica helv. 1, 4.
 - (1947): *Une nouvelle conception des glaciations quaternaires*. Actes Soc. Helv. Sc. Nat., Genève.
 - (1952): *Quelques caractéristiques peu connues des dépôts glaciaires pléistocènes et actuels*. Eclogae geol. Helv. 45.
 - (1955): *Le problème du fluvio-glaciaire*. Geographica helv. 10.
 - (1956): *Une conception nouvelle de la genèse morphologique du Plateau genevois*. Le Globe 95.
 - (1957): *Sur l'origine du caractère arrondi des galets glaciaires et fluvio-glaciaires*. Eclogae geol. Helv. 50.
 - (1958): *Remarques sur la composition, la structure, les déformations mécaniques des moraines glaciaires pléistocènes et actuelles*. Eclogae geol. Helv. 51.
 - (1960): *Sur l'origine de l'argile glaciaire de la région genevoise*. G. Chapuis, Genève.
- JAYET, A., & CAROZZI, A. (1945): *Plissements dans les graviers morainiques du retrait wormien de Trélex*. C. R. Séances Soc. Phys. et His. nat. Genève 62, 2.
- JORDI, H.A. (1955): *Geologie der Umgebung von Yverdon*. Beitr. Geol. Karte der Schweiz, N. F. 99.
- JOUKOWSKY, E. (1931): *Sur quelques postulats de la glaciologie quaternaire*. Arch. Sc. phys. et nat. Genève 13.
- JUNG, J. (1958): *Précis de pétrographie*. Masson & Cie, Paris.
- KLENNOVA, M. V. (1958): *Faciès marins actuels*. Eclogae geol. Helv. 51.
- KOPP, J. (1946): *Zur Tektonik der westschweizerischen Molasse*. Eclogae geol. Helv. 39.
- KRUIT, C. (1955): *Sediments of the Rhone Delta*. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Geol. Ser. 15, 3.
- KRUMBEIN, W.C. & SLOSS L. L. (1951): *Stratigraphy and Sedimentation*. Freeman and Company, San Francisco.
- KUENEN, P. H. (1950): *Marine Geology*. J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- (1952): *Paleogeographic Significance of Graded Bedding and Associated Features*.
 - (1953): *Significant Features of Graded Bedding*. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 37, 5.
- LAGOTALA, H. (1922): *La stratigraphie du Quaternaire. A propos de la chronologie du Quaternaire en Suisse*. Congr. géol. intern., 13e Session, Belgique.
- LEBEAU, R. (1954): *Les formes mineures du relief sous-glaciaire*. Rev. Géogr. Lyon.
- LEMCKE, K. (1959): *Das Profil der Bohrung Chapelle 1*. Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing. 26, 70.

- LEMCKE, K., ENGELHARDT, W. VON & FÜCHTBAUER, H. (1953): *Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes.* Beih. Geol. Jb 11.
- LERICHE, M. (1927): *Les Poissons de la Molasse suisse.* Mém. Soc. paléont. suisse 46, 47.
- LOMBARD, A. (1951): *Rythmes sédimentaires et cyclothèmes dans le cadre de la sédimentation générale.* C. R. 3e Congr. avancem. études stratigr. et géol. du Carbonifère, Heerlen 2.
- (1953): *Les rythmes sédimentaires et la sédimentation générale.* Rev. Inst. Franç. du Pétrole 8.
 - (1956): *Géologie sédimentaire. Les séries marines.* Masson & Cie, Paris.
- LOMBARD, A., & CAHEN, L. (1952): *Directives pour le levé de coupes lithologiques et stratigraphiques d'origine subaquatique.* Rev. Cercle Sc., Univ. Bruxelles 6, 7.
- LUGEON, M. (1897): *Le Rhône suisse tributaire du Rhin.* C. R. séances Acad. Sc.
- (1897): *Topographie vaudoise.* Arch. Sc. phys. et nat., Genève 3.
 - (1953): *De la probabilité de déformations quaternaires de la région molassique suisse (dépression péréalpine).* C. R. S. Soc. géol. France 7.
- MCKEE, E. D. (1957): *Primary Structures in Some Recent Sediments.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 41, 8.
- MCKEE, E. D., & WEIR, G. W. (1953): *Terminology for Stratification and Cross-Stratification in Sedimentary Rocks.* Bull. geol. Soc. Am. 64, 4.
- MOORE, D. G. & SCRUTON, P. C. (1957): *Minor Internal Structures of Some Recent Unconsolidated Sediments.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 41, 12.
- MOORE, R. C. (1929): *Environment of Pennsylvanian Life in North America.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 13, 5.
- Moos, A. von (1935): *Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen.* Schweiz. Min. Petr. Mitt. 15, 2.
- (1952): *Entstehung der zerdrückten Gerölle in eiszeitlichen Schottern des schweizerischen Mittellandes.* Eclogae geol. Helv. 45.
- MORNOD, L. (1949): *Géologie de la région de Bulle (Basse-Gruyère). Molasse et bord alpin.* Mat. Carte géol. Suisse, N. S. 91.
- MÜLLER, A. H. (1950): *Grundlagen der Biostratonomie.* Abhandl. deutsch. Akad. Wissensch. Berlin 3.
- MURRAY, J., & RENARD, A. F. (1891): *Report on Deep-Sea Deposits.* Voyage of H. M. S. Challenger during the Years 1873–1876, Rept. on Scientific Results.
- PASQUIER, L. DU (1891): *Sur la périodicité des phénomènes glaciaires post-miocènes. Sur le déplacement des cours d'eau pendant l'époque quaternaire.* Bull. Soc. Sc. nat. Neuchâtel 18.
- (1892): *Sur les limites de l'ancien glacier du Rhône le long du Jura.* Bull. Soc. Sc. nat. Neu-châtel 20.
- PENCK, A., & BRÜCKNER, E. (1894): *Le système glaciaire des Alpes.* Bull. Soc. Sc. nat. Neuchâtel 22.
- PETTLIJOHN, F. J. (1957): *Sedimentary Rocks.* 2e éd., Harper & Brothers, New York.
- PORTMANN, J.-P. (1956): *Pétrographie des formations glaciaires.* Thèse Neuchâtel.
- PRUVOST, P. (1930): *Sédimentation et subsidence.* Liv. Jub. Soc. géol. France 2.
- RAMSEYER, R. (1952): *Geologie des Wistenlacherberges (Mont Vully) und der Umgebung von Murten (Kt. Freiburg).* Eclogae geol. Helv. 45.
- RAZOUROWSKY, G. DE (1789): *Histoire naturelle du Jorat et de ses environs; et celle des trois lacs de Neuchâtel, Morat et Biel.* J. Mourer, Lausanne.
- RECH-FROLLO, M. (1952): *Phénomènes de convergence dans la formation des grès anisométriques.* C. R. séances Acad. Sc. 235.
- RENZ, H. H. (1937): *Die subalpine Molasse zwischen Aare und Rhein.* Eclogae geol. Helv. 30.
- RICH, J. L. (1951): *Three Critical Environments of Deposition, and Criteria for Recognition of Rocks deposited in each of them.* Bull. Geol. Soc. Am. 62, 1.
- RIGASSI, D. (1957): *Le Tertiaire de la Région Genevoise et Savoisienne.* Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing. 24, 66.
- RUCHIN, L. B. (1958): *Grundzüge der Lithologie.* Akademie-Verlag, Berlin.
- RUMEAU, J.-L. (1954): *Géologie de la région de Payerne.* Thèse Fribourg.
- RUTSCH, R. (1928): *Geologie des Belpberges.* Mitt. Naturf. Ges. Bern, 1927.

- (1936): *Ein Fall von Einregelung bei Mollusken aus dem Vindobonien des bernischen Seelandes.* Eclogae geol. Helv. 29.
- (1944): *Landschaft und Tierwelt der Molassezeit.* Mitt. Volkshochschule Bern 2.
- (1945): *Neue Auffassungen über die Entstehung der Molasse-Sedimente.* Eclogae geol. Helv. 38.
- RUTSCH, R. F., DROOGER C. W., & OERTLI, H. J. (1958): *Neue Helvétien-Faunen aus der Molasse zwischen Aare und Emme (Kt. Bern).* Mitt. Naturf. Ges. Bern, N. F. 16.
- RUTSCH, R. F., & HÜGI T. (1956): *Bemerkungen zur Arbeit von Fr. Hofmann: Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken.* Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing. 22, 63.
- SCHARDT, H. (1908): *Dérivations glaciaires de cours d'eau dans la Suisse occidentale et le Jura français.* C. R. Trav. 9e Congr. intern. Géogr., Genève 2.
- SCHUPPLI, H. M. (1950): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz.* 3. Teil, 8. Abschn. Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Serie 26.
- SCHWAB, R. F. (1960): *Zur Stratigraphie und Tektonik der Molasse der Umgebung von Biel (Kt. Bern).* Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. -Ing. 26, 71.
- SEILACHER, A. (1958): *Zur ökologischen Charakteristik von Flysch und Molasse.* Eclogae geol. Helv. 51.
- SIEBER, R. (1959): *Géologie de la région occidentale de Fribourg.* Thèse Fribourg.
- STAUB, W. (1939): *Beobachtungen im Gebiet der Rhein-Rhone-Wasserscheide im schweizerischen Mittelland.* Mitt. Naturf. Ges. Bern.
 - (1948): *Rückzugsstadien des würmeiszeitlichen Rhonegletschers im Gebiet zwischen Neuenburgersee und Genfersee.* Mitt. Naturf. Ges. Bern, N. F. 5.
- STEHLIN, H. G. (1901): *Über die Grenze zwischen Oligocaen und Miocaen in der Schweizer Molasse.* Eclogae geol. Helv. 7.
- STRAATEN, L. M. J. U. VAN (1954): *Composition and Structure of Recent Marine Sediments in the Netherlands.* Leidse Geol. Med. 19.
- STUDER, B. (1825): *Beiträge zu einer Monographie der Molasse.* Ch. Albrecht Jenni, Bern.
- TEICHERT, C. (1958): *Concepts of Facies.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 42, 11.
- TERRY, R. D., & CHILINGAR, G. V. (1955): *Summary of «Concerning Some Additional Aids in Studying Sedimentary Formations» by M. S. Shvetsov.* Jour. Sedimentary Petrology 25, 3.
- TERCIER, J. (1939): *Dépôts marins actuels et séries géologiques.* Eclogae geol. Helv. 32.
 - (1941): *La Molasse de la région de Fribourg.* Eclogae geol. Helv. 34.
 - (1947): *Les conditions géologiques du barrage de Rossens, au S de Fribourg.* Mitt. Naturf. Ges. Bern, N. F. 5.
- TERCIER, J., & MORNOD, L. (1941): *La molasse de la vallée du Gotteron près Fribourg: faciès et gisement de fossiles.* Bull. Soc. frib. Sc. nat. 36.
- THOMPSON, W. O. (1937): *Original Structures of Beaches, Bars, and Dunes.* Bull. Geol. Soc. Am. 48, 6.
- TRASK, P. D. (1955): *Recent Marine Sediments. A Symposium.* Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- TWENHOFEL, W. H. (1932): *Treatise on Sedimentation.* The Williams & Wilkins Company, Baltimore.
- TWENHOFEL, W. H., & TYLER S. A. (1941): *Methods of Study of Sediments.* McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.
- VERNET, J.-P. (1956): *La géologie des environs de Morges.* Eclogae geol. Helv. 49.
- WELLER, J. M. (1958): *Stratigraphic Facies Differentiation and Nomenclature.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 42, 3.
- WHEELER, H. E., & MALLORY, V.S. (1956): *Factors in Lithostratigraphy.* Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 40, 11.
- WIEDENMAYER, C. (1950): *The Structural Development of Areas of Tertiary Sedimentation in Switzerland.* Bull. Ass. Suisse des Géol. et Ing. du Pétrole 17, 52.





PROFILS GÉOLOGIQUES DANS LA RÉGION DE LUCENS
par A.Briel

Échelle 1: 25.000

