Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 91 (2008-2009)
Heft: 1

Artikel: La molasse de Vallée de Joux (Jura, Suisse et France)
Autor: Weidmann, Marc / Berger, Jean-Pierre / Engesser, Burkart
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-282145

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: 13.07.2025

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

S V S N Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 91.1: 69-101 ISSN 0037-9603

La Molasse de la Vallée de Joux (Jura, Suisse et France)

par

Marc WEIDMANN[1]

avec les contributions de
Jean-Pierre BERGER[2], *Burkart ENGESSER*[3], *Bettina REICHENBACHER*[4], *Jacques SAUVAGNAT*[5] *et Peter SCHÄFER*[6]

Résumé.–WEIDMANN M., 2008. La Molasse de la Vallée de Joux (Jura, Suisse et France). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 91.1*: 69-101.
Le remplissage molassique des synclinaux de Joux et du Solliat n'affleure que très rarement et n'avait pas été daté avec beaucoup de précision jusqu'ici. Dans deux affleurements temporaires, des dents de micromammifères du Chattien sup.-Aquitanien inf. et de l'Aquitanien moy. ont été isolées. De nombreux sondages, souvent profonds, ont livré des oogones de charophytes permettant une détermination approchée de l'âge (Rupélien, Chattien inf., Chattien sup., Aquitanien), ainsi que des ostracodes qui précisent le caractère saumâtre ou d'eau douce du milieu de dépôt le plus souvent lacustre de cette molasse.

Mots clés: molasse, Oligomiocène, micromammifères, charophytes, ostracodes, poissons.

Abstract.–WEIDMANN M., 2008. The molasse filling of the Joux and Solliat synclines crops out very rarely and was not precisely dated up to now. In two temporary outcrops, micromammal teeth of Early and Late Chattian and Lower and Middle Aquitanian age were discovered. Numerous and often deep boreholes show charophytes oogones, yielding an approximate age (Rupelian, Early and Late Chattian, Aquitanian), together with ostracodes and fishes which determine the brackish or fresh water context of the deposit conditions of the molasse, usually of lacustrine origin.

keywords: molasse, Oligocene-Miocene, micromammals, charophytes, ostracods, fishes.

[1]Sentier du Molard 3, CH-1805 Jongny; e-mail: weidmann-dutoit@bluewin.ch
[2]Dpt. Géosciences, Université, Pérolles, CH-1700 Fribourg;
E-mail: jean-pierre.berger@unifr.ch
[3]Naturhistorisches Museum, Augustinergasse 2, CH-4001 Basel;
E-mail: burkart.engesser@bs.ch
[4]Inst. für Paläontologie und Historische Geologie, R.-Wagner-Straße 10, D-80333 München; e-mail: b.reichenbacher@lrz.uni-muenchen.de
[5]Muséum d'Histoire naturelle, Malagnou, CH-1211 Genève 6;
E-mail: jsauvagnat@ebogri.com
[6]Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland Pfalz, Emy-Roeder-Straße 5, D-55129 Mainz; e-mail: peter.schaefer@lgb-rlp.de

CODEN: BSVAA6
© Société vaudoise des Sciences naturelles
Droits de reproduction réservés

Introduction

Les cartes géologiques couvrant la Vallée de Joux (Raven 1932, Aubert 1941, Falconnier 1951, Goguel 1964, Guillaume *et al.* 1968) ne montrent que de très rares affleurements de molasse, toujours attribuée à la Molasse d'eau douce inférieure (= Untere Süsswassermolasse, en abrégé USM). Pourtant, cette formation devrait occuper le coeur du synclinal de Joux et, en partie seulement, celui du synclinal du Solliat (dénommé parfois synclinal du Lieu ou du Lac Brenet). Mais la molasse y est quasiment partout cachée par des dépôts quaternaires souvent épais: moraine, fluvioglaciaire, glaciolacustre, tourbe ou éboulis (Aubert 1943, Rapin 1976, Fiore *et al.* 2002, Bruder 2003, Fiore 2007). Si bien que l'on en ignore presque tout et que, en conséquence, les synthèses qui traitent de la molasse du Jura divergent sur bien des points à propos de celle de la Vallée de Joux (Aubert 1975; Rigassi 1977b, 1991).

Au cours des dernières décennies, un assez grand nombre de sondages (fig. 1) ont atteint la molasse et l'ont parfois traversée, permettant ainsi de mieux connaître sa lithologie, son âge et son épaisseur. Les sondages peu profonds (en général < 20 m) sont carottés, ils sont motivés par l'examen géotechnique des terrains de fondation d'immeubles ou par la recherche d'eau potable ou de granulats. De nombreux autres sondages sont forés en mode destructif; ils dépassent souvent 100 m de profondeur et sont destinés à l'installation de sondes thermiques («pompes à chaleur» = PAC). Ces sondages PAC livrent des déblais ou «cuttings» qui sont le plus souvent échantillonnés à raison d'une prise tous les 2 m (300 à 800 g de matériel sec). Contrairement aux carottes, les déblais ne fournissent pas d'indication sur le pendage des couches. Les déblais de chaque prise sont assez bien représentatifs des couches successivement traversées, mais ils peuvent parfois être plus ou moins mélangés avec ceux des couches plus élevées dans le forage («retombées»). Leur description pétrographique et la recherche des microfossiles permettant de les dater demandent qu'on y consacre du temps et que l'on dispose d'une connaissance préalable de la lithologie des formations traversées, deux exigences rarement remplies en ce qui concerne les sondages de la Vallée de Joux. En effet, dans la plupart des cas, l'examen de routine des déblais avant leur destruction ne fut que superficiel et ne visait pas à isoler des microfossiles, d'où la nécessité de ne pas attribuer trop de crédit aux résultats acquis dans ces conditions; et c'est pourquoi de telles déterminations d'âge ou de formation seront assorties ci-dessous d'un point d'interrogation.

Dans le texte et sur les figures, les sondages, les affleurements et les excavations temporaires décrits ou discutés sont numérotés de *1* à *48* (fig. 1). D'autres sondages ne seront pas détaillés ici, soit parce qu'ils sont restés dans le Quaternaire, soit parce qu'ils ont touché directement le Mésozoïque sans traverser la molasse.

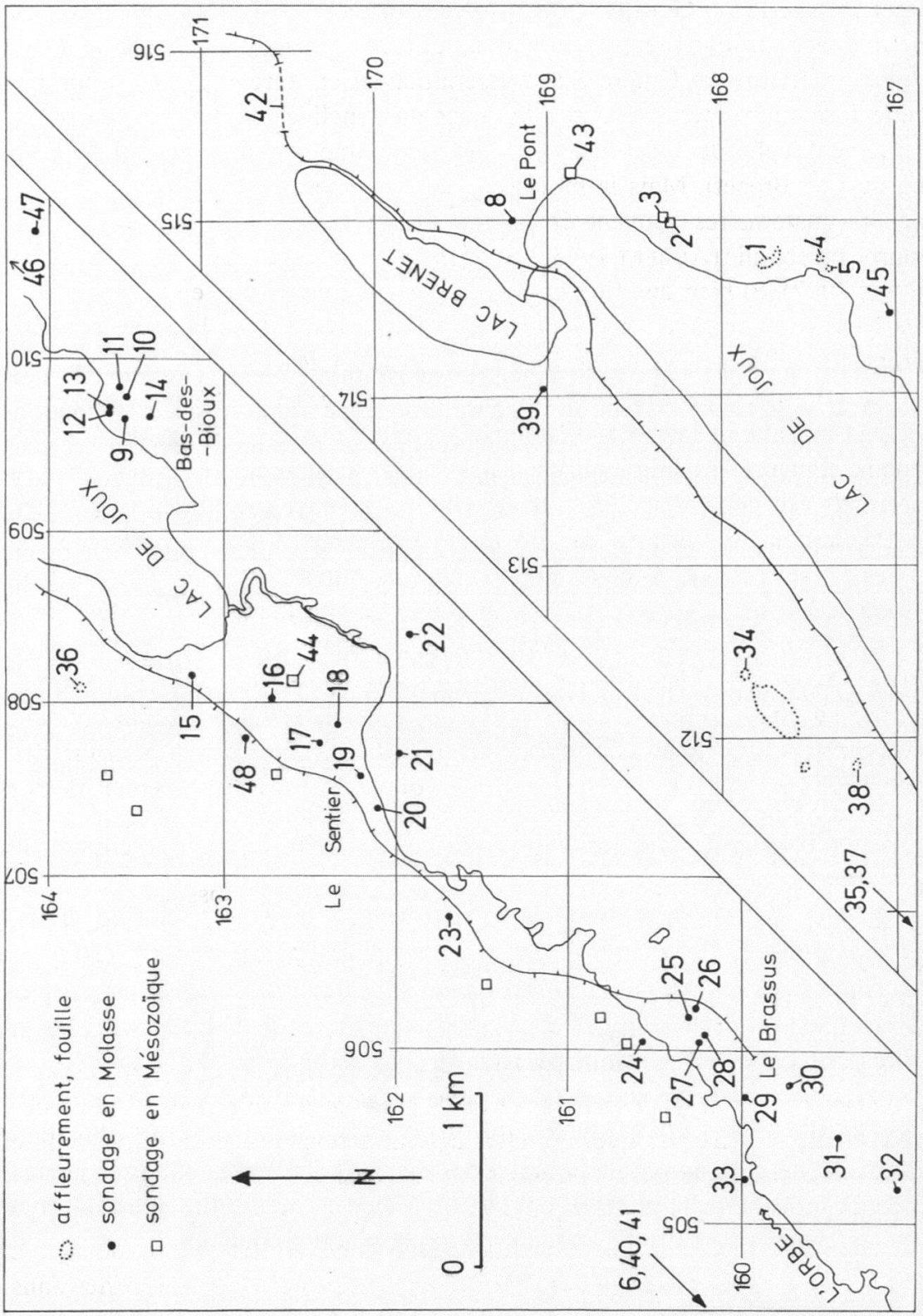


Figure 1.–Situation des sondages, fouilles et affleurements décrits.

Synclinal de Joux - Affleurements

L'Abbaye

Schardt (1891) avait signalé à 800 m au NE du village des affleurements molassiques (*1*: marnes bariolées jaunes et rouges, grès calcaires et poudingue) qui paraissent former le substratum de la colline bordant le lac entre L'Abbaye et Le Pont. Aubert (1943: 48-49) décrit minutieusement ces affleurements en partie recouverts de moraine qui n'ont pas livré de fossiles, ni à lui, ni à ses successeurs; en outre, il donne une analyse des minéraux argileux des marnes (Aubert 1975: 27). Sur l'esquisse tectonique de sa carte (Aubert 1941), il suppose que, jusqu'à l'entrée du Pont, la moraine repose sur la molasse, ce qui est en partie infirmé par deux sondages (*2*: 514.980/168.300 et *3*: 515.020/168.330) qui ont touché directement le substratum crétacé (Urgonien ?) sous respectivement 18 et 17 m de moraine limoneuse à graviers. Les fondations des premières maisons du Pont ne montrent pas la moraine ou la molasse, mais le Cénomanien, l'Aptien (Aubert 1941) ou l'Albien (Charollais *et al.* 1977, ainsi que le récent sondage *43*: 515.250/168.875). Dans tout le secteur sis entre le Pont et le Mont-du-Lac, il faut supposer des failles et décrochements diversement orientés, certainement liés au décrochement principal tout proche de Vallorbe-Pontarlier (Aubert 1959, 1982).

Plus près de L'Abbaye (*4*: 514.770/167.450), D. Rigassi (comm. écrite 20.01.1994, Rigassi 1991) avait pu échantillonner dans les fondations d'une maison en construction des «marnes silteuses rougeâtres et grisâtres avec quelques passées gréseuses» qui lui ont livré au lavage les fossiles suivants:

- charophytes qui ne donnent pas un âge précis;
- nombreux *«Calcicarpinum» fallax*; c'est une graine calcitique de *Borraginaceae*;
- dents de micromammifères: *Peridyromys murinus*, Sciuridé indét., *Rhodanomys* sp.? ou *Eomys* sp.?, *Eomyodon* cf. *mayoi*, *Eucricetodon* sp.

D'après B. Engesser qui l'a déterminée, l'âge de cette faunule n'est pas plus vieux que la zone de Küttigen et pas plus jeune que celle de Boudry 2, c'est-à-dire Chattien terminal à Aquitanien basal.

Aubert (1982: 112) signale un autre pointement de «marnes colorées» proche du village de L'Abbaye (*5*: 514.720/167.360): au fond d'un petit caniveau au bord amont de la route, des marnes calcaires et silteuses jaunes-beiges, probablement glissées, ont pu être prélevées, mais elles ne m'ont livré que quelques fragments de coquilles et des débris charbonneux.

Les Rousses

La seule autre localité où affleurait la molasse se situe à l'extrémité SW du synclinal de Joux, à la Fontaine Grépillon, près des Rousses-d'en-Bas (*6*: env. 494.080/149.880). Elle a été étudiée à plusieurs reprises avant d'être cachée par des remblais à la suite de la modification du tracé de la route et de l'aménagement d'un nouveau quartier de chalets de vacances. DUPLAIX et GUILLAUME (1962: 47) figurent le profil de ce modeste affleurement et en ont déterminé les minéraux lourds: 74-78% d'épidote et 12% de grenat, ce qui plaiderait en faveur d'un âge aquitanien (voir aussi SAUTIER 1858 et GUILLAUME et al. 1967). Les marnes des niveaux 1 et 2 de DUPLAIX et GUILLAUME (1962: fig. 3) m'avaient livré une molaire d'un Gliridé indét., des dents pharyngiennes de poissons d'eau douce (Tarsichthys sp.), ainsi que des orbitolines remaniées du Crétacé. D. Rigassi (comm. écrite 20.01.1994, RIGASSI 1977b et 1991) avait relevé dans une fouille temporaire toute proche (494.000/149.830) une petite coupe de cette molasse dans laquelle il a isolé des dents de Peridyromys sp. Ces fossiles n'autorisent pas une datation précise.

Au printemps 2007, un grand immeuble fut édifié juste au pied du talus raide qu'escalade un petit sentier et l'excavation de ses fondations a dégagé sur quelques mètres une série molassique très tectonisée (494.040/149.860), en contact par faille inverse avec les couches subverticales du Jurassique supérieur qui déterminent le talus; selon RIGASSI (1977b), cet accident est en fait le chevauchement du massif du Risoux vers le SE. La molasse plonge de 30-60° vers le NW et montre, successivement de bas en haut:

a. 1,5 m de marne argilo-silteuse écrasée, rouge-ocre-jaune avec de minces lits de grès marneux vert,

b. 2,8 m de marnocalcaire dur, gris clair, à petits galets calcaires dispersés,

c. 4-6 cm de marne argileuse brun-chocolat à mollusques écrasés (planorbes ?),

d. 5 cm de marne argileuse verte et beige,

e. 1-2 cm de grès fin jaune.

Le lavage d'une douzaine de kg de marne de la couche *c* m'a livré, en plus des coquilles écrasées, de nombreux fragments souvent brisés de reptiles (tortues, scincomorphes, *Ophisaurus* sp.), ainsi que des dents de mammifères déterminées par B. Engesser (Bâle): Dimylidé indét., *Microdyromys* sp., Gliridé indét. cf. *Glirudinus* (peut-être une espèce nouvelle), *Ritteneria molinae* ALVAREZ SIERRA, *Pseudotheridomys* sp., *Titanomys* sp., Artiodactyle cf. *Caenotherium*, Artiodactyle indét. Cette faunule date de la zone des Bergières (= MN 2a), Aquitanien moyen.

Les cartes de RAVEN (1932) et de GUILLAUME *et al.* (1968) figurent la suite de cet affleurement en direction du NE, mais la molasse y est fort mal visible, cachée par des glissements de terrain ou de la moraine. Au pied du versant

entre les Rousses-d'Amont et le lac des Rousses, au SE du ruisseau issu de la Fontaine Grépillon, trois sondages de recherche d'eau, profonds de 30 à 40 m, ont été forés en 1988: ils n'ont pas touché la molasse, mais ont directement rencontré les calcaires du Crétacé sous quelques mètres de Quaternaire (renseignements transmis par V. Bichet, Université de Besançon).

Tunnels des Epoisats
(*42*: environ 515.800/170.600; fig. 1)

H. Schardt avait pu observer en 1906 une série molassique, non visible en surface, lors du creusement du tunnel d'amenée des eaux du Lac Brenet vers l'usine de La Dernier; ses observations furent publiées par Nolthenius (1921: 83 et carte spéciale 92). Le rapport original de Schardt est apparemment perdu, car il ne figure pas dans les archives techniques de la Société «Romande-Energie», actuelle propriétaire des installations hydroélectriques, qui a aimablement répondu à ma demande d'information.

La même série molassique a été traversée par le tunnel tout proche du chemin de fer Le Pont-Vallorbe, creusé en 1885, dont la situation figure sur la carte de Nolthenius citée ci-dessus et dans la notice explicative de la carte d'Aubert (1941). Les archives des CFF conservent trois relevés géologiques différents établis lors du creusement, puis à l'occasion des réfections de 1938 et de 1975-1977 (Blank 1977):

- le premier, non signé, relève de la plus haute fantaisie et n'est pas utilisable (Aubert 1943);
- le deuxième a été établi dans des conditions difficiles par D. Aubert, dont les observations n'ont pu être que ponctuelles (Aubert 1943: 50-51 et fig. 23);
- le troisième (plans non signés CoG 21.1.75.1A/B et .4) recopie les anciennes observations d'Aubert et les complète par des notations géotechniques fort sommaires, telles que «marne dure, marne tendre, rocher».

Ces données partielles indiquent toutefois que la molasse traversée par les deux tunnels comprend des marnes silteuses bigarrées ou rouges, souvent gypsifères, avec plusieurs niveaux de poudingue à ciment calcaire rose (gompholite et «gompholite pralinée»), ainsi qu'un banc de grès verdâtre. Cette molasse n'avait pas livré de fossiles, mais elle fut attribuée au Miocène sans autre précision par Schardt et par Nolthenius, puis à l'Helvétien par Aubert (1943: 51), enfin à l'Oligocène par Aubert (1975: fig. 11). Selon ce dernier auteur (1943: fig. 23; 1959; 1975: fig. 11; 1977: fig. 2; 1982), la molasse recouvre en discordance l'anticlinal de La Côte partiellement arasé et elle est chevauchée par le Crétacé du «charriage du Lac Brenet». Elle se rattacherait ainsi à celle qui occupe le synclinal du Solliat. Par contre, tant son âge que sa

situation tectonique sont pour RIGASSI (1977b: 386) «difficiles à interpréter» si bien qu'il ne se prononce pas.

Sept petits échantillons de cette molasse, actuellement inaccessible, avaient été récoltés par D. Aubert en 1938; ils sont conservés au Musée géologie de Lausanne (MGL), qui a bien voulu m'autoriser à en laver une portion. Il s'agit de marnes argileuses ou silteuses grises ou rouges, parfois gypsifères, toujours riches en grains et petits galets de calcaires divers et de Sidérolithique. Les microfossiles remaniés du Mésozoïque n'y sont pas rares, mais un seul échantillon, prélevé à 280 m à partir du portail Est, m'a livré des fossiles molassiques: quelques ostracodes et deux oogones de charophytes, tous écrasés et indéterminables. L'âge précis de cette série molassique demeure ainsi inconnu.

Un autre échantillon, noté «marnes au contact» sur l'étiquette d'Aubert, fut prélevé à 266 m du portail Est; d'après la coupe d'AUBERT (1943: fig. 23), ces marnes seraient donc aussi molassiques et plaquées directement sur des calcaires très redressés qui appartiendraient au Kimmeridgien. Il s'agit d'une marne argileuse et pyriteuse noire, écrasée, mélangée à du grès glauconieux fin vert foncé; elle contient des foraminifères benthiques bien conservés, notamment *Palorbitolina lenticularis* (dét. B. Clavel), ainsi que de nombreux ostracodes caractéristiques de l'Aptien inférieur-Bédoulien (dét. J. Sauvagnat). C'est là un fait nouveau difficilement compatible avec l'hypothèse d'Aubert d'une transgression molassique sur l'anticlinal de la Côte arasé. De plus, il est intéressant de noter sur le plan et sur la coupe du tunnel d'amenée (NOLTHENIUS 1921: 83-84 et pl. II) que le contact septentrional de la molasse est également souligné par une mince couche de «marne noire» (couche 94d), apparemment en concordance stratigraphique sur l'Urgonien supérieur, le tout en position renversée.

L'interprétation stratigraphique et structurale d'Aubert devrait donc être revue, ce qui fera peut-être l'objet d'un futur travail.

SYNCLINAL DE JOUX - SONDAGES

Le Pont

8: 515.000/169.190/1020; bureau Müller & Perrottet, 2006 (fig. 2)
0-2 m: remblai
2-20: gravier propre (alluvions fluvioglaciaires ou moraine latérale?).
20-28: moraine de fond.
28-53: Molasse d'eau douce inférieure.
28-32: marne silteuse grise-jaune à gypse; à 30 et 32 m: ostracodes d'eau douce et charophytes mal conservées (cf. *Harrisichara* sp.?, cf. *Rhabdochara* sp.?).

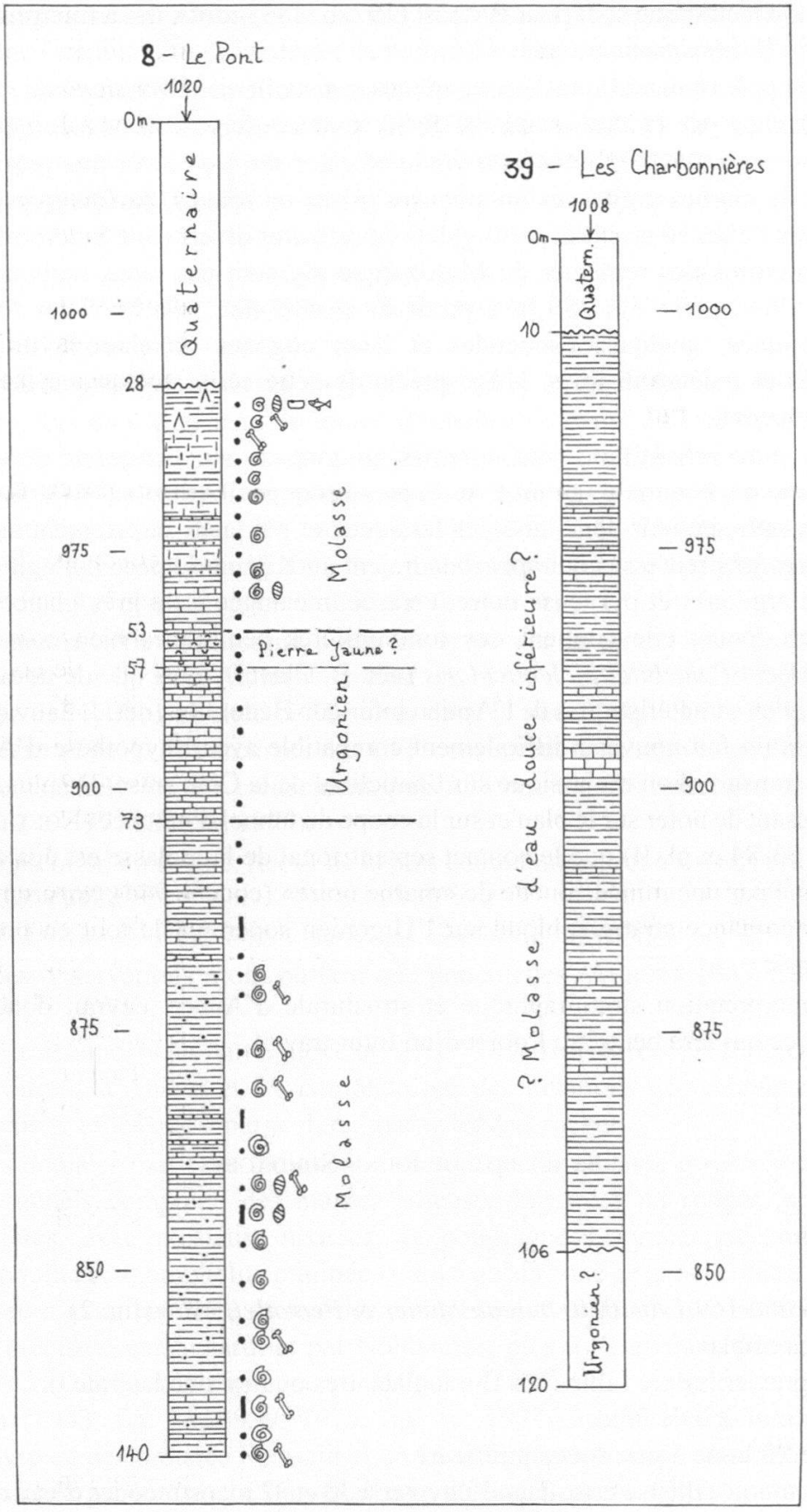


Figure 2.–Sondages du Pont et des Charbonnières.

34-48: marno-calcaire crayeux, calcaire lacustre beige et grès calcaire blanc.
50-53: calcaire lacustre recristallisé blanc-crème, marno-calcaire crayeux et marne verte. À 50 m: *Harrisichara tuberculata*, *Harrisichara* sp., cf. *Nitellopsis (Tectochara) latispira* datent cet intervalle de la Zone à Tuberculata (Priabonien terminal-Rupélien inférieur).
53-57: Pierre jaune de Neuchâtel ?: calcaire bioclastique jaune-beige à pellets et fragments de fossiles marins (échinodermes, bryozoaires, *Lenticulina*), rares petits grains de quartz.
57-73: Urgonien blanc avec poches de Sidérolithique: calcaire blanc, rosé ou jaune, biosparite à dasycladacées, bryozoaires, foraminifères variés (milioles, trocholines, *Palaeodictyoconus cuvillieri* à 68 m); quelques pisolithes ferrugineux et argile brune ou verte, un peu de quartz fin.
73-140: Molasse d'eau douce inférieure.
73-78: calcaire lacustre blanc ou beige à pseudomorphoses de cristaux de gypse, marnocalcaire crayeux, marne grise et verte.
80-88: marne grise, verte ou jaune, petits quartz anguleux abondants.
90-140: marne argileuse-silteuse rouge-brique ou brun foncé à nombreux petits galets de calcaires variés, rares niveaux de calcarénite gréseuse blanche, calcaire lacustre beige à 108, 112, 134, 138 m; fréquents débris de coquilles de mollusques pulmonés; fragments d'os à 92, 98, 102, 112, 132, 134 m; fragments de dents de rongeurs indét. à 128, 134 et 136 m. À 112 m, une seule charophyte, déterminée comme cf. *Rhabdochara* gr. *stockmansi-major*, daterait cette série de la Zone à Major du Rupélien moyen-supérieur.

Ce sondage est situé dans une position structurale peu claire; d'après la carte d'Aubert (1941), il serait tout proche du point de rencontre entre le décrochement de Vallorbe-Pontarlier et le chevauchement de l'anticlinal de La Côte. L'examen des déblais ne montre cependant pas une tectonisation particulière des divers niveaux traversés. Les faciès des deux intervalles molassiques, plus ou moins bien datés du Rupélien, ne se rattachent pas à ceux de la molasse connue en surface: vu son âge et son faciès lacustre, la série molassique supérieure pourrait être rapprochée du «Sannoisien du Lac Ter» décrit par les anciens auteurs (Jaccard, Maillard, Rollier, Nolthenius, Aubert); quant à la série inférieure, elle ressemble quelque peu aux marnes rouges, ocres ou beiges à niveaux de calcaire (lacustre ?) du sondage *39* des Charbonnières, qui est attribué à la Molasse d'eau douce inférieure.

L'Abbaye

45: *514.460/167.030/1040; non carotté, bureau Geolina, 2007*
0-5 m: éboulis.
5-19: Urgonien ? (calcaire micritique clair, niveaux oolithiques à foraminifères); masse tassée ou flanc renversé de l'anticlinal du Bucley.

19-150: Molasse d'eau douce inférieure très probablement verticale ou renversée (marne silteuse beige, grise ou rougeâtre; niveaux de grès fins à 51-69, 89-91, 93-95 m; calcaire lacustre beige-gris à 69-71 m).

Les Bioux

46: 511.430/164.580/1030; non carotté, bureau Schmutz, 2002
0-12 m: moraine graveleuse-limoneuse.
12-90: Molasse d'eau douce inférieure (marne grise claire à lits gréseux; grès fins à 60-74 m).

47: 510.750/164.070/1030; non carotté, bureau Geolina, 2007
0-5 m: colluvions limono-graveleux.
5-11: moraine grise-beige.
11-95: Molasse d'eau douce inférieure (marne silteuse bariolée gypsifère, calcaire lacustre gris-beige de 11 à 21 m; grès marneux gris-vert de 87 à 95 m).

Bas-des-Bioux

9: Situation précise inconnue: environ 509.7/163.5 (fig. 3). Ce sondage carotté fut implanté par le bureau Horisberger vers 1968-1970 pour une recherche d'eau; il avait été relevé et échantillonné par D. Kissling qui n'a pas gardé de documentation sur ce sondage (comm. pers. 2004). Par contre sa collection d'échantillons était conservée à l'Institut de Géologie de l'Université de Genève, où j'ai pu retrouver 14 fragments de carottes prélevés dans ce sondage, fragments trop petits pour mesurer un pendage, mais suffisants pour pouvoir reconstituer un profil approximatif:
0-~20 m: moraine argileuse à galets calcaires.
~20-22.1: marne argileuse plastique vert-clair; ostracodes abondants.
22.1-22.2: marne calcaire dure blanche, gypsifère; os de poissons et ostracodes abondants.
22.2-22.25: gypsarénite compacte, très dure.
22.25-24.7: marne silteuse ou argileuse vert-clair ou blanche, gypsifère; nombreux ostracodes, quelques charophytes, otolithes et os de poissons.
24.7-24.8: gypsarénite compacte, très dure.
24.8-25.0: marne silteuse grise-verte, gypsifère, avec lits centimétriques de craie lacustre; mêmes fossiles que ci-dessus avec, en plus, des petites limnées et des fragments de dents de rongeurs.
Les rares charophytes suggèrent avec doute la Zone à Microcera-Ungeri. Les ostracodes ne donnent pas d'indication biostratigraphique, mais ils précisent les conditions de dépôt: en eau saumâtre à 21.0-21.6 m et en eau douce à 22.4-23.2 m.

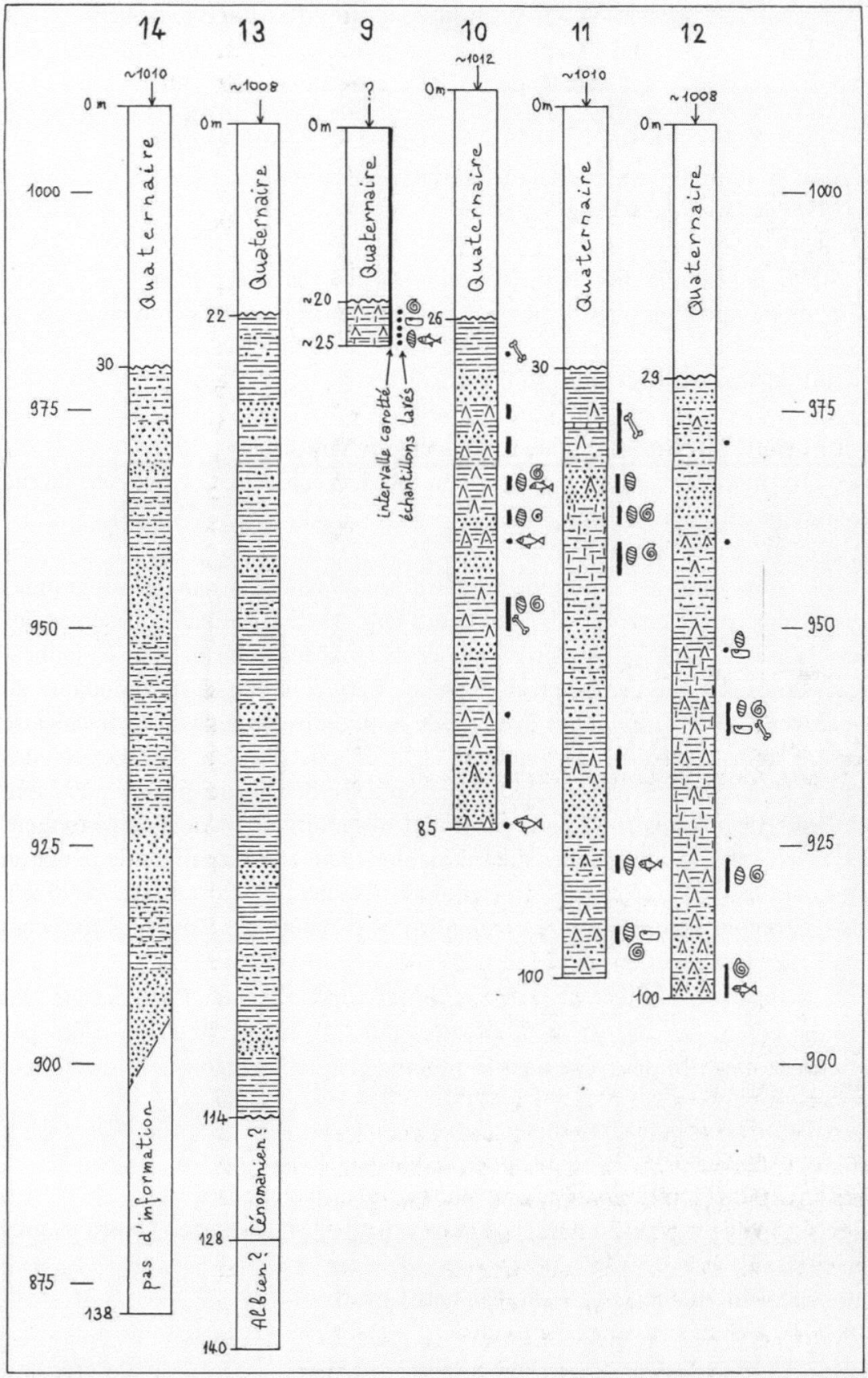


Figure 3.–Sondages du Bas-des-Bioux.

Les nouvelles constructions dans la zone de villas du Bas-des-Bioux ont motivé plus récemment l'implantation de plusieurs sondages profonds pour PAC. J'ai pu étudier les déblais de trois d'entre eux (fig. 3):

10: *509.775/163.570/1012 env.; bureau Müller & Perrottet, 2006*
0-26 m: moraine limoneuse beige à graviers calcaires.
26-85: Molasse d'eau douce inférieure.

11: *509.815/163.620/1010 env.; bureau Müller & Perrottet, 2006*
0-30 m: moraine limoneuse beige à graviers calcaires, très graveleuse à la base.
30-100: Molasse d'eau douce inférieure.

12: *509.660/163.670/1008 env.; bureau Müller & Perrottet, 2006*
0-29 m: moraine limoneuse beige à graviers calcaires, riche en marne molassique altérée de 23 à 29 m.
29-100: Molasse d'eau douce inférieure.

Ces trois sondages montrent des profils comparables dans leurs grandes lignes, mais pas identiques dans le détail (fig. 3). Ils sont caractérisé par des grès fins à très fins, jamais grossiers, et des marnes bigarrées grises-jaunes-vertes en proportion égale, par la présence fréquente et parfois abondante du gypse; on note aussi quelques niveaux de marne très carbonatée et de calcaire lacustre. Sans connaître les pendages, il n'est pas possible de proposer des corrélations valables entre ces sondages. Les débris de mollusques sont fréquents, de même que les os de poissons; un seul fragment de dent de rongeur (*12*: 66-70 m). Les ostracodes déterminables indiquent un milieu de dépôt en eau tantôt saumâtre (*12*: 66-70 m) et tantôt douce (*12*: 60 m et *11*: 94-96 m). Les charophytes isolées sont peu abondantes et datent des Zones à Microcera ou à Ungeri (= Chattien).

Les terrains traversés par les deux autres sondages pour PAC ont été très sommairement décrits par les géologues qui les ont suivis et qui n'ont pas signalé la présence du gypse dans la molasse, laquelle est toutefois quasiment certaine (fig. 3):

13: *509.675/163.670/1008 env.; bureau Norbert, 2001*
0-22 m: moraine argileuse à blocs, plus graveleuse à la base.
22-114: Molasse d'eau douce inférieure (marnes grises-vertes-jaunes et grès fins gris).
114-128: Cénomanien ? (calcaire fin beige-rosé).
128-140: Albien ? (marnes grises).

14: *509.660/163.430/1010 env.; bureau ABA-Géol, 2005*
0-30 m: moraine limoneuse-sableuse à blocs calcaires.

30-98: Molasse d'eau douce inférieure (marnes beiges, marno-grès et grès fins).
98-138: pas d'information fiable, à cause d'un échantillonnage déficient.

L'Orient

Ce sondage pour PAC, implanté dans le versant en amont de la route cantonale, est lui aussi sommairement décrit (fig. 4):

22: 508'400/161.900/1025 env.; bureau Lavanchy, 1998
0-6 m: débris de pente, puis moraine
6-100: Molasse d'eau douce inférieure (marnes bariolées grises ou bleues, marno-calcaires, quelques niveaux gréseux, gypse à 42, 58, 66, 84, 88 et 90 m).

Le Sentier

15: La Golisse, 508.150/163.200/1009 env., carotté; bureau Horisberger, vers 1970
Les coordonnées, la date et le profil de cet ancien sondage carotté de recherche d'eau sont peu précis d'après les documents que j'ai pu consulter (fig. 4). Il n'y a pas d'indication de pendage.
0-17 m: alluvions gravelo-sablo-limoneuses.
17-26: moraine de fond.
26-54: Molasse d'eau douce inférieure (marnes calcaires silto-gréseuses gris-jaunâtres). D'après D. Rigassi (comm. écrite 20.01.1994), les minéraux lourds de cette molasse ont été analysés par A. Wagner (Genève): leur spectre est largement dominé par l'épidote, ce qui plaiderait en faveur d'un âge aquitanien. AUBERT (1975: 15) signale que des carottes de ce sondage ont été étudiées par H.-J. Oertli qui n'y a isolé que des microfossiles remaniés du Crétacé. Un de ces fragments de carotte, prélevé à 34 m par D. Aubert, avait été déposé au MGL; au lavage, il m'a livré des débris de coquilles de mollusques et d'ostracodes d'eau douce, des prismes de *Microcodium* et des traces de gypse.

48: 507.795/162.875/1015; bureau Schmutz, 2007
0-2 m: remblai et moraine.
2-16: Mésozoïque indéterminé (calcaire beige tectonisé et karstifié, cavité de 8 à 10 m).
16-90: Molasse d'eau douce inférieure (marne, silt et grès fins, jaunes, gris, verdâtres), avec blocs de roches calcaires: zone faillée correspondant au chevauchement du Risoux.

44: 508.115/162.645/1012; bureau Müller & Perrottet, 2007
0-6 m: alluvions (gravier argileux beige).

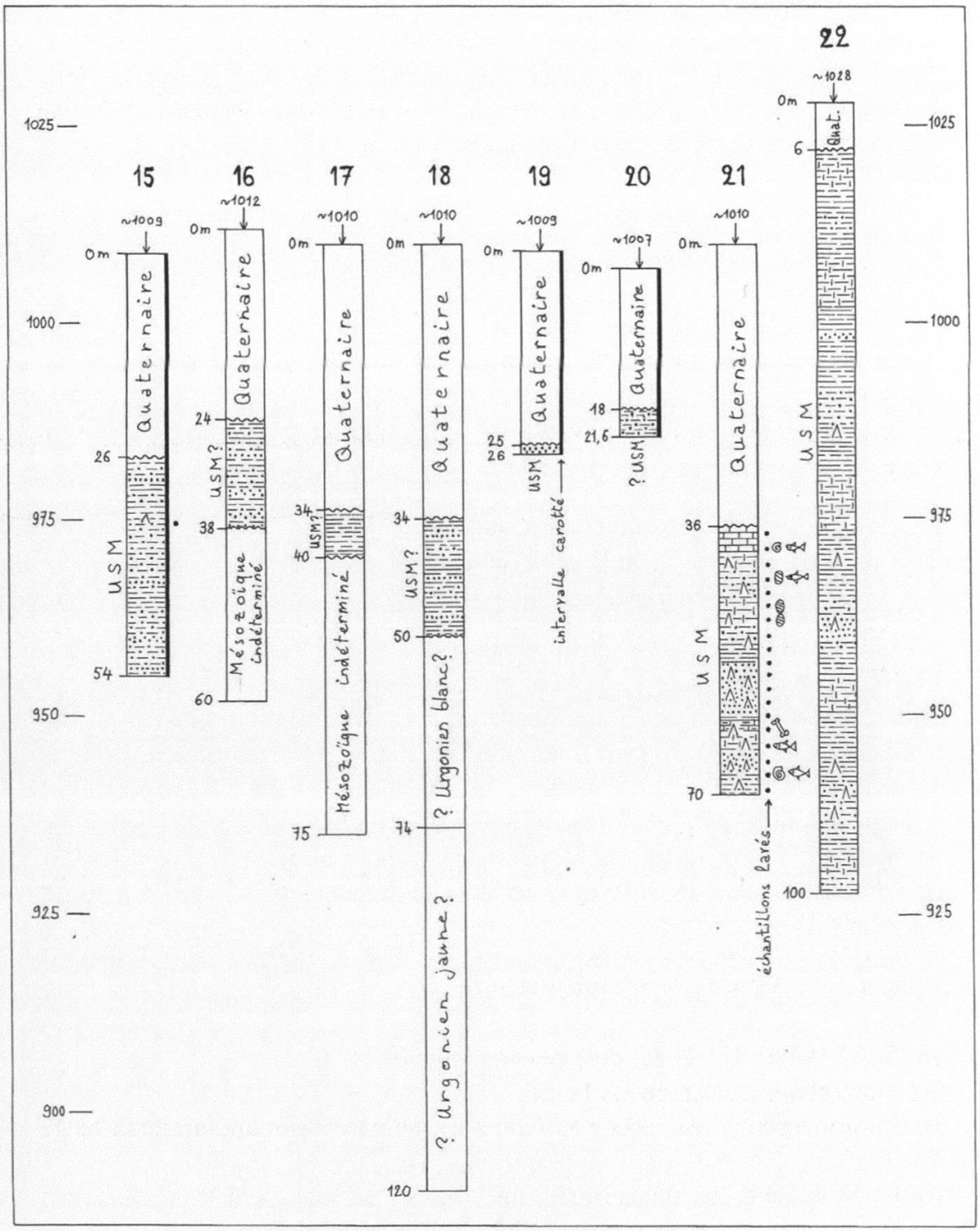


Figure 4.–Sondages du Sentier et environs.

6-8: glaciolacustre (limon argileux beige).
8-28: fluvioglaciaire (gravier propre, venue d'eau à 20 m)
28-33: moraine de fond (gravier argilo-limoneux beige)
33-59: Cénomanien (marne silteuse-crayeuse beige-grise, marnocalcaire jaune); dents de squales, inocérames, oursins, ostracodes, foraminifères.
59-85: Albien supérieur (alternance irrégulière de calcaire gréso-glauconieux plus ou moins phosphaté brun, gris ou noir et d'argile sableuse noire ou verte), gypse assez abondant; ammonites, bélemnites, brachiopodes, oursins, ostracodes, foraminifères.

Les attributions d'âge, fondées sur la détermination encore provisoire des foraminifères par M. Caron et des ostracodes par J. Sauvagnat, seront reprises dans un prochain travail. Ce sondage implanté au cœur du synclinal n'a donc pas rencontré la molasse sous le Quaternaire, comme on s'y attendait, mais il révèle de façon inattendue que la structure interne du synclinal de Joux n'est pas simple.

Les trois sondages PAC suivants, tous très sommairement décrits, ne sont pas carottés (fig. 4):

16: 508.020/162.720/1012 env.; bureau Géolep, 1997
0-4 m: dépôts palustres (tourbe et argile organique noire)
4-24: moraine limono-graveleuse
24-38: Molasse d'eau douce inférieure ? (silts argileux beiges et verdâtres avec niveaux de grès fins)
38-60: Mésozoïque non déterminé (calcaires et marnes).

17: 507.750/162.450/1010 env.; bureau Schmutz, 2004
0-6 m: alluvions (argile limoneuse)
6-34: moraine
34-40: Molasse d'eau douce inférieure ? («marnes gris-clair avec niveaux jaunes-beiges ou bleutés»)
40-75: Mésozoïque non déterminé («roche argileuse gris-foncé à noir, très compacte» = Albien ? ou Marne d'Hauterive ?).

18: 507.850/162.360/1012 env.; bureau Schmutz, 2005
0-10 m: gravier très limoneux beige
10-34: gravier peu limoneux aquifère, avec un niveau limono-argileux beige de 16 à 18 m
34-50: Molasse d'eau douce inférieure ? («marnes grises-verdâtres et grès fins gris»)
50-120: Crétacé («calcaire fin gris clair = Urgonien blanc» ? de 50 à 74 m, «calcaire plus ou moins marneux beige ou brun et marnes jaunes = Urgonien jaune» ? de 74 à 120 m).

J'ai pu laver les déblais d'un quatrième sondage pour PAC (fig. 4):

21: 507.690/161.985/1010 env.; bureau Schmutz, 2005
0-8 m: alluvions récentes de l'Orbe (gravier limono-sableux)
8-20: glaciolacustre (argile limoneuse grise, graveleuse au sommet)
20-26: fluvioglaciaire (gravier limoneux gris).
26-37: moraine de fond argileuse compacte.
37-70: Molasse d'eau douce inférieure: surtout des marnes silteuses bigarrées gypsifères, quelques niveaux de calcaire lacustre, deux niveaux de grès gris-blanc à ciment gypseux. Les seules charophytes déterminables sont des *Nitellopsis* (*Tectochara*) *meriani* qui n'indiquent pas un âge précis. À part de fréquents débris de mollusques et quelques os de poissons, les autres fossiles sont très rares: un fragment de dent indét. à 62 m et du *Microcodium* à 64 m.

Entre l'Orbe et la voie du chemin de fer, deux sondages ont carotté le sommet de la molasse, permettant de mesurer le pendage (fig. 4):

19: 507.559/162.212/1010 env.; bureau Dériaz, 1973
0-25.1 m: moraine de fond compacte avec quelques niveaux de sable graveleux aquifère.
25.1-26.1: Molasse d'eau douce inférieure («grès fin micacé gris»), pendage horizontal.

20: 507.370/162.100/1008; bureau Géotest, 1988
0-1.2 m: tourbe.
1.2-2.0: fluvioglaciaire (gravier limoneux gris).
2.0-8.5: glaciolacustre (limon argileux beige, quelques galets à la base).
8.5-19.1: moraine de fond compacte.
19.1-21.65: Molasse d'eau douce inférieure ? («marne silteuse sombre»), pendage de 30°.

Chez-le-Maître et Piguet-Dessous

Deux sondages carottés ont touché la molasse, mais n'ont pas permis d'en déterminer le pendage:

23: 506.750/161.660/1016; bureau ABA-Géol, date non précisée
0-8.8 m: fluvioglaciaire (gravier sablo-limoneux).
8.8-11: moraine de fond compacte.
11-13: Molasse d'eau douce inférieure ? («marne grise»).

24: 506.070/160.590/1018; bureau Géolep, 1993 (fig. 5)
0-5.4 m: moraine de fond.
5.4-7.2: Molasse d'eau douce inférieure ? («grès gris verdâtre à taches jaunes»).

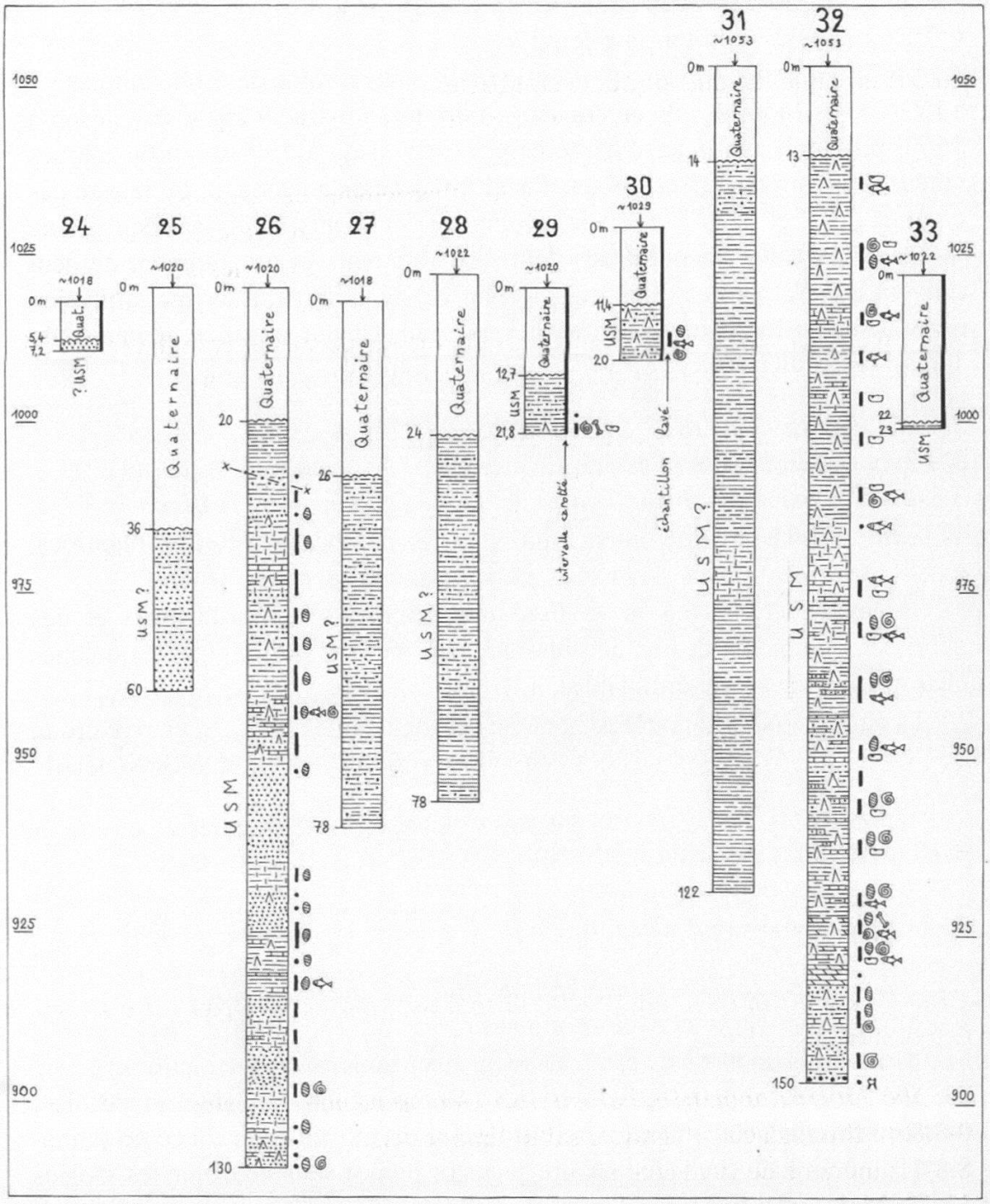


Figure 5.–Sondages du Brassus et environs.

Le Brassus

En rive droite de l'Orbe, deux sondages ont été carottés (fig. 5):

29: 507.740/159.980/1020 env.; bureau Géolep, 1993
0-3.1 m: alluvions (limons argileux).
3.1-12.75: moraine graveleuse jusqu'à 6.30, puis moraine de fond compacte.
12.75-21.8: Molasse d'eau douce inférieure: marnes bigarrées jusqu'à 16 m, puis grès marneux gypsifères gris-vert jusqu'à 19.5 m, enfin marnes silteuses gypsifères grises-beiges. Pas d'indication de pendage. Le lavage des carottes (19.2 et 21.1-21.8 m) m'a livré des fragments indét. de coquilles de mollusques et d'ostracodes, des débris charbonneux et un fragment de dent provenant probablement d'un lagomorphe, ce qui indiquerait un âge aquitanien ou plus jeune; fréquents microfossiles et grains calcaires roulés, remaniés du Jurassique et du Crétacé.

30: 505.790/159.740/1029; bureau Géolep, 1993
0-3.3 m: alluvions (limon sablo-graveleux).
3.3-11.4: moraine limoneuse compacte, un peu graveleuse à la base.
11.4-20.0: Molasse d'eau douce inférieure (fig. 5): marnes silteuses bigarrées, gypsifères, avec minces niveaux de grès fins, pendage subhorizontal.

Un lavage (15.7-16.6 m) a livré des fragments de mollusques et des débris charbonneux, des os de poissons, une incisive de rongeur et quelques charophytes, tous indéterminables.

Six autres sondages pour PAC ont été forés en mode destructif en rive droite de l'Orbe (fig. 5); les déblais des deux plus profonds ont été étudiés en détail.

25: 506.180/160.300/1020 env.; bureau Géotest, 1997
0-18 m: moraine graveleuse.
18-36: moraine de fond compacte.
36-60: Molasse d'eau douce inférieure ? («grès fin et silts gris-verdâtres»).

26: 506.220/160.255/1020 env.; bureau Müller & Perrottet, 2005
0-4 m: alluvions (gravier sablo-limoneux).
4-20: alluvions ou moraine graveleuse (gravier sableux propre aquifère).
20-130: Molasse d'eau douce inférieure (marne argileuse ou silteuse bariolée, parfois crayeuse, souvent gypsifère; grès fin ou moyen, gris foncé ou jaune-brun; quelques niveaux de calcaire lacustre beige). Les charophytes isolées indiquent la Zone à Notata-Nitida (Chattien supérieur-Aquitanien inférieur). Les autres fossiles (fragments de coquilles de mollusques et os de poissons) sont rares; à 94-98 m, présence de pellets charbonneux attribués à des termites xylophages.

27: *506.040/160.220/1010 env.; bureau G. Schmutz, 2006*
0-26 m: moraine de fond argileuse beige.
26-78: Molasse d'eau douce inférieure ? («marne silteuse beige-grise-verte»).

28: *506.090/160.200/1010 env.; bureau G. Schmutz, 2006*
0-24 m: moraine de fond limono-argileuse à blocs calcaires.
26-78: Molasse d'eau douce inférieure ? («marne argileuse ou silteuse beige-grise, verte à la base»).

31: *505.515/159.425/1053; bureau G. Schmutz, 2006*
0-4 m: remblais et sol organique graveleux.
4-6: argile grise-noire (glacio-lacustre ?).
6-14: moraine limoneuse-graveleuse gris-jaune.
14-122: Molasse d'eau douce inférieure ? («14-22: marne silteuse grise-beige; 22-122: marne argileuse bigarrée surtout jaune-grise avec un épisode plus calcaire à 72-78»).

32: *505.180/159.090/1053 env.; bureau Müller & Perrottet, 2006*
0-12 m: moraine graveleuse plus ou moins limoneuse.
12-150: Molasse d'eau douce inférieure (marne bariolée surtout argileuse, parfois plus silteuse ou crayeuse, toujours très riche en gypse, de teinte dominante grise-beige jusqu'à 131 m, jaune-brune-ocre-rouge plus bas; fréquents épisodes plus carbonatés, de craie ou de calcaire lacustre, dolomitiques vers 104-106 m et 125-135 m; nettement plus gréseux dès 135 m; à 150 m apparaissent des grès grossiers microconglomératiques avec galets de < 5mm de calcaires jurassiques et crétacés et de calcaires lacustres.

Des otolithes de poissons ont été trouvés dans les échantillons 90-94 m (*Dapalis carinatus)*, 108-110 m (*Dapalis* cf. *carinatus*, *Palaeolebias* sp.), 114-116 m (*Dapalis carinatus)*, 126-128 m (*Dapalis* sp.); ces espèces d'eau douce sont présentes dans le Chattien et dans l'Aquitanien. Il en est de même du fragment de mâchoire de Cyprinidé isolé à 114-116 m (*Tarsichthys* sp.). Jusque vers 90-100 m, les ostracodes sont caractéristiques d'un milieu de dépôt saumâtre ou peut-être parfois hypersalin; plus bas, l'influence des eaux douces est plus importante et plus fréquente. De 26 à 124 m, les charophytes indiquent la zone à Ungeri et dès 124 m, il s'agit probablement de la zone à Microcera; la molasse de ce sondage serait donc plus ancienne que celle du sondage *26*. Les fragments de coquilles de mollusques sont fréquents, de même que les os et dents pharyngiennes de poissons. Les os de micromammifères ou de reptiles (*Ophisaurus* sp. à 90-94 m) sont rares, de même que les fragments de dent (*Rodens* indét. à 126-128 m; Artiodactyle indét. à 150 m). Des fruits de la plante aquatique d'eau douce *Cladocarya* sp. ont été isolés à 90-94 m et à 114-116 m.

En rive gauche de l'Orbe, un sondage a été carotté (fig. 5):

33: *505.300/160.010/1022; bureau Géolep, 1993*
0-8 m: moraine sablo-graveleuse.
8-15.75: fluvioglaciaire (sable et gravier propre).
15.75-19.8: moraine de fond.
19.8-22.1: glaciolacustre (limon argileux stratifié).
22.0-23.2: Molasse d'eau douce inférieure (marne silteuse avec lits de grès grossier et petits galets calcaires dispersés). Pas de fossiles, ni de gypse. Pendage non mesurable.

Environs de Pra Rodet

Deux sondages carottés montrent que, dans ce secteur, le remplissage molassique du synclinal de Joux se rétrécit considérablement, ou même disparaît au profit du Crétacé comme le supposait Schardt (1895: 376), puisqu'un sondage (*40*: 503.350/158.400/1050 env.; CHAROLLAIS *et al.* 1977) a touché directement les marnes de l'Albien pyriteux sous 12.5 m de Quaternaire et un autre (*41*: 503.660/157.940/1044; bureau Géolep 1993) les grès verts glauconieux de l'Aptien (?) sous 7.8 m de Quaternaire.

SYNCLINAL DU SOLLIAT - AFFLEUREMENTS

Connu depuis fort longtemps (JACCARD 1869: 113-114, NOLTHENIUS 1921: 31, AUBERT 1943: 45), mais actuellement caché par un remblai lors de la correction du tracé de la route, l'affleurement de calcaire lacustre dit «du Lac Ter» est daté du «Sannoisien» (= Rupélien inférieur) par sa faune de mollusques d'eau douce (MAILLARD 1892) et aussi par la présence de «*Chara helicteres*» qui y est signalée par ROLLIER (1910: 57); cette charophyte est actuellement dénommée *Nitellopsis (Tectochara)* groupe *latispira* (voir la discussion critique de ce taxon par BERGER 1992: 226-228).

AUBERT (1975: 13) avait identifié dans une fouille proche du Lac Ter (*34*: 512.350/167.850, fig. 1) un nouveau pointement de calcaire lacustre, qu'il avait attribué au «Sannoisien», et il y avait prélevé des échantillons (coll. D. Aubert, MGL), dont l'un montre un unique oogone de charophyte. Selon une détermination de J.-P. Berger (*in* SUDAN 1997: 25), la taille et la morphologie de cet oogone rappelleraient davantage un *Nitellopsis* (*Tectochara*) du groupe *meriani* ou *huangi* du Chattien ou de l'Aquitanien plutôt que les formes typiques du «Sannoisien» telles que *Nitellopsis* (*Tectochara*) *latispira* ou *Harrisichara tuberculata*.

AUBERT (1943, 1975: 17, fig. 6, 9 et 10) a décrit les affleurements (marnes bariolées surtout rouges et gompholites) visibles entre Le Lieu et Le Solliat,

ainsi qu'au NW des Rousses-d'en-Bas; il les rattache à sa «Zone médiane», caractérisée par le repos de la molasse en discordance sur le substratum mésozoïque plissé et faillé par une «ride de plissement oligocène» (AUBERT 1958, 1959, 1975). Un seul fossile avait été trouvé dans ce secteur, à Combenoire (*35*: 509.150/165.150), et déterminé par AUBERT (1958, 1975: 19) comme *Helix* du groupe *ramondi*, d'âge chattien. Cette détermination fut contestée par RIGASSI (1977a: 15; 1977b: 385) qui, après examen du gastéropode litigieux, estimait qu'il devrait s'agir d'une espèce beaucoup plus jeune, proche de celle du Tortonien-Oehningien du Locle qui appartient à la Molasse d'eau douce supérieure (OSM). En conséquence, l'âge chattien des gompholites du synclinal du Solliat ne serait plus défendable, ce que confirmeraient par ailleurs d'autres critères (position structurale et pétrographie des gompholites). Autre conséquence importante d'un âge tortonien de cette molasse: la «ride de plissement oligocène» d'Aubert n'existerait pas et la première phase tectonique jurassienne serait ici beaucoup plus tardive, elle se situerait vers la fin du dépôt de la Molasse marine supérieure (OMM) et juste avant celui de la Molasse d'eau douce supérieure (OSM), c'est-à-dire au Miocène moyen.

Les minéraux lourds de divers affleurement molassiques du synclinal du Solliat avaient été analysés par DUPLAIX et GUILLAUME (1963, 1965) et par BERGOUGNAN (1968): les spectres sont dominés par des résistants remaniés du Crétacé moyen et ne montrent que fort peu de minéraux alpins, ce qui n'a pas de valeur stratigraphique absolue, mais pourrait être en faveur d'un âge oligocène, comme l'a souligné AUBERT (1975: 16).

Face à ces divergences, de nouvelles datations de cette molasse sont donc nécessaires pour trancher la question, mais les affleurements sont rares et ne montrent que des conglomérats peu susceptibles de livrer des fossiles. Pendant des années, D. Aubert avait recherché de nouveaux affleurements et surveillé toutes les fouilles temporaires dans le secteur. Il repère en été 1983, près du Solliat (*36*: 508.050/163.850, fig. 1), un calcaire lacustre crayeux jaune-blanc, discordant sur l'Hauterivien et recouvert de tourbe; j'ai concassé puis lavé un échantillon de ce calcaire (coll. D. Aubert, MGL), n'y trouvant que des fragments de coquilles de gastéropodes.

Plusieurs autres échantillons de la coll. D. Aubert proviennent des environs de la Grande Sagne (*37*: 509.950/165.600, AUBERT 1975: fig.6). SUDAN (1997: 24) a lavé l'un d'eux, mais la matrice marno-silteuse de ce conglomérat ne lui a livré qu'un fragment indéterminable d'oogone de charophyte. J'ai aussi lavé une marne rouge à petits galets calcaires «pralinés» qu'Aubert avait prélevée en 509.750/165.850: elle ne contenait que des fossiles fragmentaires remaniés du Mésozoïque.

En 1972, AUBERT (1975: fig. 8) avait pu relever un profil des couches verticales visibles dans les fouilles de la STEP du Lieu (*38*: 511.845/167.240, fig. 1): conglomérats, marnes et grès glauconieux à fossiles albiens

remaniés où s'intercalent de minces bancs de calcaire lacustre crayeux gris à charophytes. Un échantillon de ce calcaire crayeux (coll. D. Aubert) ne m'a pas livré de charophytes, mais des microfossiles mésozoïques remaniés, des ostracodes indéterminables, un opercule de Bythinie caractéristique d'un dépôt d'eau douce et quelques globigérines remaniées elles aussi. Un autre échantillon (marne silteuse bariolée grise-verte-jaune) contenait, en plus d'abondants microfossiles marins mésozoïques remaniés, de rares prismes de *Microcodium*.

Synclinal du Solliat - Sondages

À ma connaissance, trois sondages seulement ont été implantés jusqu'ici dans le synclinal du Solliat. Ils sont tous forés en mode destructif pour des PAC et je n'ai pas pu en examiner les déblais. Un seul aurait rencontré la molasse:

39: *Les Charbonnières - 514.040/169.020/1008 env.; bureau Müller & Perrottet, 2005* (fig. 2)
0-4 m: gravier limoneux brun.
4-6: gravier propre.
6-10: argile graveleuse beige-ocre (moraine).
10-106: Molasse d'eau douce inférieure (?) ou éventuellement Albien (?): marne argileuse rouge-brique, ocre, beige ou grise, avec quelques minces niveaux de calcaire beige ou jaune, notamment entre 26 et 36 m, entre 46 et 56 m; pas de grès, ni de gypse.
106-120: calcaire massif blanc-crême, parfois oolithique: Urgonien ?

Pour résumer, il n'y a pas encore d'élément déterminant permettant de fixer l'âge de la molasse du synclinal du Solliat et de ses gompholites.

Données structurales

Elles sont indispensables pour pouvoir replacer les datations ponctuelles dans leur contexte et pour permettre des corrélations entre sondages. Il n'y a pas de nouvelles données sur les pendages dans le synclinal du Solliat. Par contre, quelques pendages ont été mesurés dans le synclinal de Joux: sur carotte, au Sentier, un pendage horizontal et un autre de 30° (*20* et *19*), et au Brassus (*30*) un pendage horizontal. Près de l'Abbaye (*1*, *4*, *5*), les affleurements ne permettent plus une mesure, mais selon Aubert (1941, 1943: pl. 1, 1982: 112), les couches molassiques devraient avoir la même direction NE et le même pendage vertical ou renversé de 60-70°SE que le Crétacé de l'anticlinal du Bucley-Dent de Vaulion, lequel serait chevauchant sur la Molasse selon une

suggestion de RIGASSI (1977b: fig. 9). A l'autre extrémité du synclinal et sur son flanc NW, la molasse de l'affleurement temporaire *6* plonge de 30-60° vers le NW, en contact par faille inverse avec le Mésozoïque subvertical du massif du Risoux.

Les lignes sismiques pétrolières acquises dans la Vallée de Joux n'apportent pas d'information sur la profondeur et la structure interne du synclinal de Joux, car les données relativement proches de la surface n'ont pas été enregistrées (communication de A. Sommaruga, Inst. de Géophysique UNIL). En 1975, des sondages électriques ont été réalisés entre Pré Rodet et Le Brassus, afin de déterminer l'épaisseur et la nature du Quaternaire (Institut de Géophysique UNIL 1975 et RAPIN 1976). L'un d'eux (502'300/157'485) a traversé une vingtaine de m de Quaternaire, puis 100 m d'un terrain attribué à la molasse, avant de rencontrer un horizon calcaire de 2000 ohm.m dès 120 m de profondeur. Un autre (505'250/159'750) a déterminé 12 m de Quaternaire, 108 m de molasse probable, puis un substratum argileux dès 120 m. D'autres investigations géophysiques plus récentes (CHAPELLIER *et al.* 1980, AUBERT 1987: 12) indiquent par contre que la molasse de la partie amont de La Vallée est épaisse d'un peu plus de 250 m.

Ces informations sur les pendages et sur la profondeur du remplissage molassique sont encore trop peu nombreuses et ne permettent pas pour le moment de dessiner des coupes fiables à travers le synclinal de Joux. Le sondage *44* du Sentier démontre cependant que sa structure interne n'est pas partout simple, mais que un (ou des) chevauchement(s), probablement orienté(s) selon l'axe du synclinal, remontent le Crétacé jusque sous le Quaternaire.

AUBERT (1959: 125) s'étonnait de constater l'absence de la Molasse marine supérieure (OMM) dans le synclinal de Joux, qu'il qualifiait de «profond». Pour lui, cette absence ne devrait pas résulter d'une érosion des sédiments marins après leur dépôt, mais du fait que la mer miocène jurassienne n'a jamais recouvert ce territoire, puisqu'elle «... n'était en réalité qu'un détroit reliant Bellegarde à Bienne...», détroit situé au NW de l'actuelle Vallée de Joux (AUBERT 1975: *31* et fig. 15). Cette opinion n'est pas partagée par RIGASSI (1978) qui avait suggéré sur sa carte la présence éventuelle de l'OMM au coeur du synclinal de Joux, ce que les nombreux sondages n'ont toutefois pas montré jusqu'ici.

AGE ET ENVIRONNEMENT DE DÉPÔT

Seules les deux datations acquises en surface grâce aux micromammifères sont précises:

- localité *4* près de l'Abbaye: zone de Küttigen-zone de Boudry 2, MP 30-MN 1 (Chattien terminal à Aquitanien basal),

- localité *6* près des Rousses-d'en-Bas: zone des Bergières, MN 2a (Aquitanien moyen).

Toutes les autres datations proviennent de sondages non carottés et reposent sur les déterminations des charophytes, souvent rares et pas toujours bien conservées; c'est dire qu'il faut considérer ces datations avec prudence. Dans le synclinal de Joux, la molasse des sondages du Bas-des-Bioux (*9*, *10*, *11*, *12*) daterait des zones à Microcera et/ou à Ungeri (= Chattien inférieur et

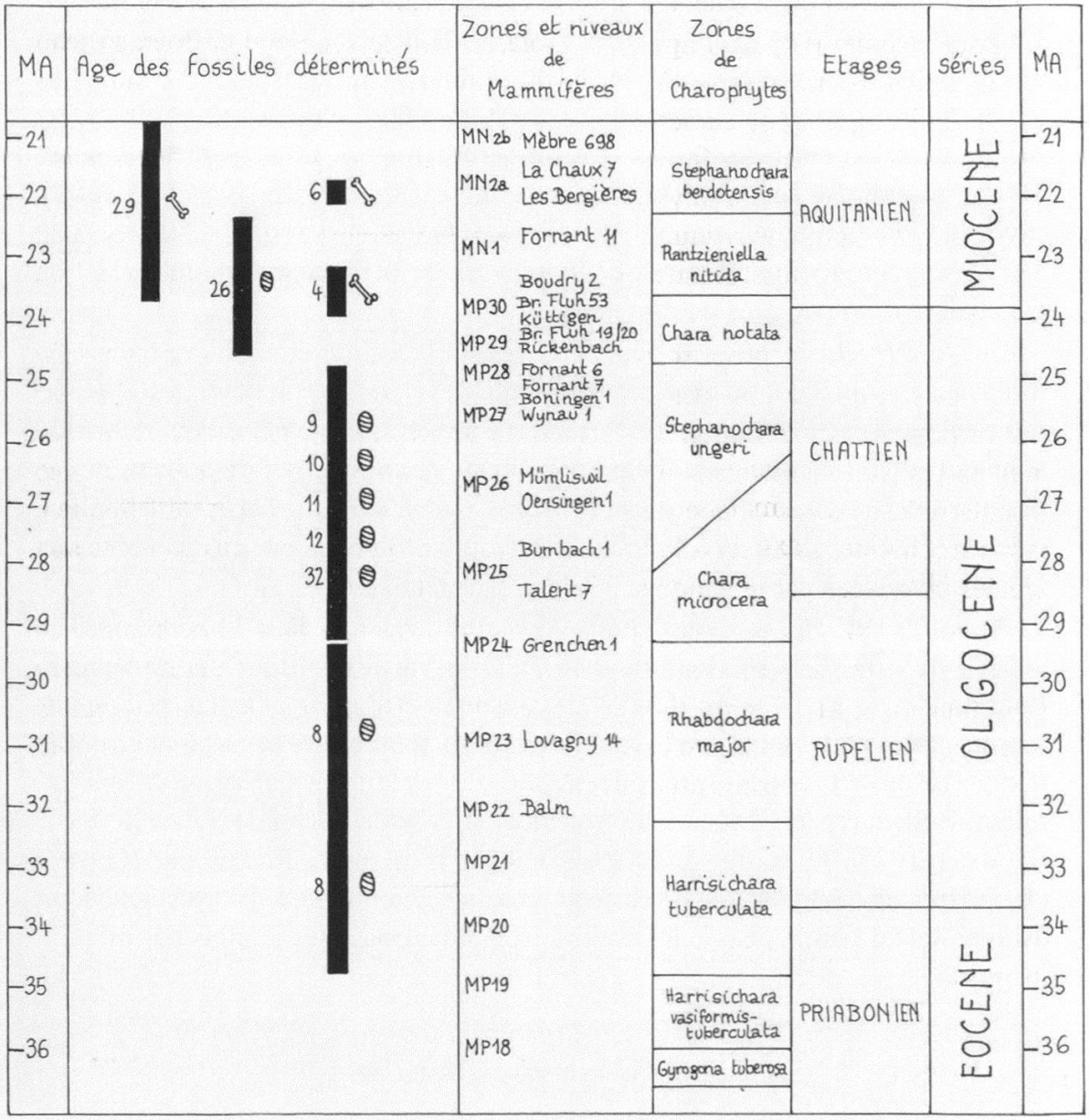


Figure 6.–Age de la molasse du synclinal de Joux. Charte stratigraphique d'après BERGER *et al.* (2005). Les numéros à gauche des colonnes noires sont ceux des sondages et localités étudiés (voir le texte).

moyen). Les sondages des environs du Sentier n'ont pas permis de datation paléontologique fiable, mais les minéraux lourds analysés dans le sondage *15* plaideraient en faveur d'un âge aquitanien. Le secteur du Brassus a fourni de meilleurs renseignements:

- zone à Notata-Nitida (Chattien supérieur-Aquitanien inférieur) au sondage *26*,
- un âge aquitanien probable est suggéré par un fragment de dent de lagomorphe au sondage *29*,
- dans le sondage *32*, la molasse date de la zone à Ungeri (Chattien moyen) jusqu'à 124 m et de la zone à Microcera (Chattien basal) de 124 à 150 m.

Pour résumer (fig. 6), l'âge de la molasse dans le synclinal de Joux s'étend du Chattien inférieur (env. 29 ma) à l'Aquitanien moyen (env. 22 ma). Les milieux de dépôt sont caractéristiques d'une plaine d'inondation distale, de marais et de lacs peu profonds en eau tantôt douce, tantôt saumâtre (sabkas), un milieu que précise l'analyse des ostracodes par P. Schäfer (voir ci-dessous). Un faciès fluviatile détritique grossier (gompholite) ne semble présent qu'à la localité *1* de l'Abbaye et aussi à 150 m de profondeur dans le sondage *32* du Brassus.

Il est difficile de proposer une interprétation tectonique du sondage *8* du Pont, car on ignore tout des pendages et des épaisseurs réelles, de la nature des contacts entre Molasse et Crétacé, de la position normale ou renversée des séries traversées, mais il faut cependant retenir qu'il révèle la présence d'une molasse d'eau douce jusqu'ici inconnue en surface, datée du Rupélien, à rapprocher peut-être du «Sannoisien du Lac Ter» et des marnes colorées non datées traversées par le sondage *39* des Charbonnières.

Comme on l'a vu plus haut, les données actuellement disponibles n'apportent pas de précision nouvelle sur l'âge et la structure de la molasse du synclinal du Solliat. La question de son éventuel prolongement dans les tunnels des Epoisats n'est pas claire et devra faire l'objet d'une révision de la géologie locale, en surface comme en profondeur.

Les ostracodes de la Molasse de la Vallée de Joux

par Peter SCHÄFER (traduction de l'allemand)

Matériel

Le tableau 1 indique la provenance du matériel étudié (sondage et profondeur). Une grande partie de ce matériel est mal conservée: les valves isolées et

Tableau 1.–Provenance et fréquence des ostracodes déterminés.
A = abondant, AA = très abondant, C = courant, F = fragments, R = rare, RR = très rare

Sondage (prof. en m)	8 Le Pont		9 Bas-des-Bioux				11 idem	12 idem		32 Le Brassus												
	30	32	21.0-21.6	22.4-22.6	23.2	24.2	94-96	60	66-70	16-18	26-30	36-38	48-50	54-56	62-64	76-78	82-84	90-94	100-102	108-110	114-116	130-132
Hemicyprideis rhenana											C		A		A	A	A	RR				
Hemicyprideis dacica			AA						C	A	C	A		RR		RR	C	R	C	C	C	
Hemicyprideis cf. dacica															RR							
?Hemicyprideis sp.						F																
Ilyocypris sp.	R		C	C	C	C	A	A	C													RR
Ilyocypris spp.																				RR		
Heterocypris sp.								R														
Moenocypris sp.							R	RR														
?Herpetocypris sp.								F											F	F		
?Stenocypris sp.							F	F	F													
Pseudocandona sp.		RR																				
Cytheracea indet.																					F	

les carapaces ont souvent été aplaties ou fragmentées lors des processus diagénétiques et/ou tectoniques. Parfois même ne subsistent que des moules internes. Si bien qu'une détermination de l'espèce est impossible dans de nombreux cas.

Remarques au sujet de la systématique des taxa déterminés

Les déterminations de ?*Stenocypris* et de ?*Herpetocypris* se basent sur de rares fragments de carapace aplatis qui laissent supposer qu'il s'agit de ces genres, mais qui ne permettent pas d'assurer le classement systématique.

L'état de conservation et la rareté de *Moenocypris* et de *Heterocypris* n'autorisent pas une détermination spécifique, pas plus que pour l'unique carapace d'un juvénile appartenant au genre *Pseudocandona*.

Le genre *Ilyocypris* est représenté par plusieurs taxa, parmi lesquels domine nettement l'espèce figurée comme *Ilyocypris* sp. (pl. I, fig. 6-8). Les populations de cette espèce montrent d'une part une forme trapue avec un angle dorsal postérieur prononcé (pl. I, fig. 6-7), mais aussi une forme nettement plus allongée sans angle dorsal postérieur distinct (pl. I, fig. 8). Ce qui pourrait être considéré comme l'effet d'un dimorphisme sexuel. Mais la certitude qu'il s'agit bien du mâle repose sur l'identification de l'empreinte du canal séminal sur la face interne de la valve, ce qui n'est ici pas possible, car les valves sont en grande partie remplies de sédiment.

Hemicyprideis rhenana (LIENENKLAUS 1905) et *Hemicyprideis dacica* (HÉJJAS 1894) sont les espèces les plus abondantes dans les échantillons étudiés. *Hemicyprideis rhenana* (LIENENKLAUS 1905) est vraisemblablement un synonyme plus ancien du «*Cytheridea genavensis*» décrit par OERTLI (1956). L'espèce *dacica* est très variable (pl. I, fig. 1-5) et peut être considérée comme un synonyme ancien de *Hemicyprideis clivosa* MALZ 1978 et, vraisemblablement, *Hemicyprideis krejcii* MALZ 1978 doit aussi être mis en synonymie avec *Hemicyprideis dacica* (HÉJJAS 1894).

Considérations paléoécologiques

Dans le sondage *32*, entre 16 et 96 m, les ostracodes déterminés sont exclusivement les deux espèces *dacica* et *rhenana* du genre *Hemicyprideis*, présentes parfois en très grande abondance. On reconnait, dans un même échantillon, la tendance déjà observée par OERTLI (1956), selon laquelle *rhenana* [= *genavensis* OERTLI 1956] et *dacica* s'excluent mutuellement dans une large mesure. Les deux espèces développent des populations presque monospécifiques, riches en individus. La présence simultanée des deux espèces dans certains échantillons du sondage *32* pourrait être due, soit à des retombées de cuttings, soit au fait que les intervalles échantillonnés recouvrent

une épaisseur de sédiment de 2 à 4 m, mélangeant ainsi plusieurs niveaux dans lesquels n'existe que l'une ou l'autre espèce. Des individus du genre *Ilyocypris* peuvent également coexister avec ces populations, mais toujours en faible quantité, comme cela avait aussi été reconnu par OERTLI (1956). C'est ainsi que l'intervalle 21.0-21.6 m du sondage carotté *9* ne contient, à côté d'une abondante population de *Hemicyprideis dacica*, que quelques individus de *Ilyocypris* sp.

Selon MALZ (1971), les espèces tertiaires d'*Hemicyprideis* occupent les mêmes milieux de vie que les espèces fossiles et récentes du genre *Cyprideis*, lesquelles sont des formes caractéristiques des eaux saumâtres, tout en étant souvent très tolérantes vis-à-vis des variations de la salinité. C'est ainsi que l'espèce récente *Cyprideis torosa* (JONES 1850) peut se trouver aussi bien dans des eaux relativement douces que dans des domaines hypersalins et des riches populations monospécifiques de *Cyprideis torosa* ont été reconnues dans des eaux saumâtres et dans des eaux hypersalines (KRUIT 1955).

KEEN (1971) a pu démontrer de façon convaincante que l'espèce oligocène *Hemicyprideis montosa*, était une espèce très euryhaline qui, tout comme *Cyprideis torosa*, est présente surtout dans les eaux saumâtres, mais est capable de coloniser aussi bien des eaux très adoucies que des eaux hypersalines.

Jusque vers 100 m de profondeur, les couches traversées par le sondage *32* révèlent des populations monospécifiques abondantes de *Hemicyprideis*, ce qui indique vraisemblablement que régnaient surtout des conditions de dépôt saumâtres, mais un environnement hypersalin ne peut être totalement exclu. Des populations abondantes de *Hemicyprideis rhenana* avec une quasi-absence de *Hemicyprideis dacica,* ou le contraire, indiquent que les exigences paléoécologiques de ces deux espèces sont absolument différentes. Plus bas dans le sondage *32* apparaissent, à côté de *Hemicyprideis dacica*, les genres d'ostracodes limnophiles *Ilyocypris* et ?*Herpetocypris*; de plus, les oogones de characées deviennent plus fréquents, ce qui indique que les eaux douces exercent sur le milieu davantage d'influence et plus fréquemment que dans la partie supérieure du sondage.

Des conditions de dépôt saumâtres s'imposent dans l'intervalle 21.0-21.6 m du sondage carotté *9* et entre 66 et 70 m dans le sondage non carotté *12*. Dans ce dernier cas, et comme l'échantillon analysé représente une épaisseur de 4 m de sédiment, la présence simultanée des genres limnophiles *Ilyocypris* sp. et ?*Stenocypris* sp. avec *Hemicyprideis dacica* ne permet pas d'affirmer qu'il s'agit d'une biocénose commune à ces trois espèces. Par contre, c'est vraisemblablement le cas pour la carotte du sondage *9*/21.0-21.6 m, dans lequel coexistent *Ilyocypris* sp. et *Hemicyprideis dacica*, d'où la supposition que des conditions oligohalines régnaient alors dans le milieu de dépôt.

Les associations d'ostracodes déterminées dans les échantillons suivants (sondage *8*/30 et 32 m, sondage *11*/94-96 m, sondage *12*/60 m) indiquent

un milieu d'eau douce. Et des conditions de dépôt lacustres sont également démontrées par la présence exclusive de *Ilyocypris* sp. dans l'intervalle carotté 22.4-23.2 m du sondage *9*.

Remerciements

Grâce à l'aimable collaboration de nombreuses personnes, entreprises, bureaux d'étude et administrations, j'ai pu avoir connaissance des relevers géologiques de la plupart des sondages réalisés jusqu'ici et, dans certains cas, j'ai eu accès aux carottes ou aux déblais qui, après lavage sur tamis des intervalles marneux et tri du résidu à la loupe binoculaire, m'ont souvent livré des microfossiles variés, indispensables pour une datation précise et pour une reconstitution des milieux de dépôt des formations traversées.
Pour leur aide généreuse, je remercie les bureaux Müller & Perrottet (Marly) et G. Schmutz (Granges-Marnand), le Géolep (EPFL), Mme A. Pichon (SESA, Lausanne), MM. P. Gex (Institut de Géophysique, Lausanne), J.-P. Guignard (Le Sentier), D. Kissling (Colombier), R. Plancherel (Chernex), D. Rigassi (Genève), ainsi que le Musée géologique de Lausanne (MGL). En outre, plusieurs spécialistes m'ont prêté leur précieux concours en déterminant les microfossiles, qu'ils ont conservés dans leurs collections respectives: les otolithes de poissons par B. Reichenbacher, les charophytes par J.-P. Berger, les micromammifères par B. Engesser, les ostracodes par J. Sauvagnat et P. Schäfer.

Bibliographie

Aubert D., 1941. Feuille 17, Vallée de Joux. Atlas géol. de la Suisse au 1:25.000. Comm. géol. suisse, Bâle, avec notice explicative.

Aubert D., 1943. Monographie géologique de la Vallée de Joux. Mat. carte géol. Suisse, NS, 78, 1-134.

Aubert D., 1958. Sur l'existence d'une ride de plissement oligocène dans le Jura vaudois. *Bull. Soc. neuchât. Sc. nat. 81*: 47-54.

Aubert D., 1959. Le décrochement de Pontarlier et l'orogenèse du Jura. Mém. Soc. vaud. Sc. nat.12: 93-152.

Aubert D., 1975. L'évolution du relief jurassien. *Eclogae geol. Helv. 68.1*: 1-64.

Aubert D., 1977. Géomorphologie de la source de l'Orbe. *Stalactite 27*: 27-42.

Aubert D., 1982. Fenêtres et écailles tectoniques à la Vallée de Joux. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 76*:109-116.

Aubert D., 1987. Guide géologique de la Vallée de Joux. Ed. de la Feuille d'Avis de la Vallée de Joux, Le Sentier. 64 p.

Berger J.-P., 1992. Paléontologie de la Molasse de Suisse occidentale. Thèse d'habilitation inédite, Fac. Sciences, Univ. de Fribourg.. 405 p. + annexes.

Berger J.-P., Reichenbacher B., Becker D., Grimm M., Grimm K., Picot L., Storni, A., Pirkenseer C. and. Schaefer A., 2005. Eocene-Pliocene time scale and stratigraphy of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB). *Int. J. Earth Sci.* (*Geol. Rundschau*) *94*: 711-731.

Bergougnan H., 1968. Sur les sédiments tertiaires entre Longchaumois et les Rousses (Jura central). *C.R. somm. Soc. géol. France 9*: 314-315.

Blank A., 1976. Die Sanierung eines Bahntunnels: «Tunnel des Epoisats» (Vallée de Joux). *Stollen und Tunnelbau*: 7-9.

Bruder P.-M., 2003 . Etude des sédiments tardi- et postglaciaires de la Vallée de Joux (Vaud, Suisse). Diplôme inédit, Lab. Sci. Terre Univ. Genève. 70 p.

CHAPELLIER D., OLIVIER R. et SIMARD R.G., 1980. Une contribution de la géophysique d'exploration à l'étude de la Vallée de Joux. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing. 46*: 35-39.

CHAROLLAIS J., MOULLADE M., OERTLI H. J. et RAPIN F. 1977. Découverte de microfaunes de l'Albien moyen et supérieur dans la Vallée de Joux (Jura vaudois, Suisse). *Géobios 10*: 683-695.

DUPLAIX S. et GUILLAUME S.,1963. Etude stratigraphique et minéralogique de formations tertiaires du Jura. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn. 5*: 37-54.

DUPLAIX S. et GUILLAUME S., 1965. Le Tertiaire de la Bresse, stratigraphie et minéralogie, comparaison avec les régions voisines. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn. 7*:135-148.

FALCONNIER A., 1951. Feuille Les Plats-Marchairuz-La Cure-Arzier-Gimel. Atlas géol. de la Suisse au 1:25.000, Comm. géol. suisse, Bâle.

FIORE J. 2007. Quaternary subglacial processes in Switzerland: Geomorphology of the Plateau and seismic stratigraphy of Western Lake Geneva. *Terre & Environnement 69*:1-169.

FIORE J., PUGIN A. and BERES M., 2002. Sedimentological and GPR studies of subglacial deposits in the Joux Valley (Vaud, Switzerland): backset accretion in a esker followed by an erosive jökulhaup. *Géogr. phys. et Quat. 56*: 19-32.

GOGUEL J., 1964. Feuille 583 XXXIV-26 Mouthe, avec notice explicative. Carte géol. de la France au 1:50.000, BRGM, Orléans.

GUILLAUME S. et A., CARON C. et OLIVE P., 1967. Observations sur la feuille de St Claude au 1:50'000e. *Bull. Carte géol. France 69*: 345-349.

GUILLAUME S. et A. et collab., 1968. Feuille 605 XXXIV-27 Morez-Bois d'Amont, avec notice explicative. Carte géol. de la France au 1:50.000, BRGM, Orléans.

Institut de Géophysique UNIL 1975. Etude géophysique de la commune du Chenit, Vallée de Joux.- Rapport inédit, 12 p.

JACCARD A., 1869. Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. Mat. Carte géol. Suisse 6: 1-340.

KEEN M.C., 1971. A palaeoecological study of the ostracod *Hemicyprideis montosa* (Jones & Sherborn) from the Sannoisian of North-West Europe.- *In* OERTLI H.J. (Ed.): Colloque sur la Paléoécologie des Ostracodes. *Bull. Centre de Recherches Pau - SNPA 5 suppl.*: 523-543.

KRUIT C., 1955. Sediments of the Rhône Delta. 1. Grain size and microfauna. *Verh. Konink. Nederlands. Geol.-Mijnbouw. Genootschap, Geol. Ser. 15*: 357-514.

MALZ H., 1971. A palaeoecological review of the Chattian/Aquitanian boundary in the Mainz Basin by means of Ostracoda. *In* OERTLI H.J. (Ed.): Colloque sur la Paléoécologie des Ostracodes. *Bull. Centre de Recherches Pau - SNPA , suppl.*: 515-522.

MAILLARD G., 1892. Monographie des mollusques tertiaires terrestres et fluviatiles de la Suisse. *Mém. Soc. paléont. Suisse 18*: 1-123.

NOLTHENIUS A.B.T., 1921. Etude géologique des environs de Vallorbe (Canton de Vaud). Mat. carte géol. Suisse, NS, 48: 1-119.

OERTLI H.J., 1956. Ostrakoden aus der oligozänen und miozänen Molasse der Schweiz. *Schw. paläont. Abh. 74*: 1-119.

RAPIN F., 1976. Le Lac de Joux: son origine et son environnement quaternaire. Dipl. inédit, Lab. Sc. Terre Univ. Genève. 123 p.

RAVEN T., 1932. Etude géologique de la région de Morez-les-Rousses (Jura). *Trav. Labo. Géol. Fac. Sci. Lyon, Mém. 17*: 1-125.

RIGASSI D., 1977a. Genèse tectonique du Jura: une nouvelle hypothèse. *Paleolab News 2*: 1-27.

RIGASSI D., 1977b. Encore le Risoux. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 73*: 379-413.

RIGASSI D., 1978. Bassin molassique sud-occidental. Carte géologique interprétative (sans Quaternaire). *In* JUNG P., 1982. (Ed.). Nouveaux résultats biostratigraphiques

dans le bassin molassique, depuis le Vorarlberg jusqu'en Haute-Savoie. *Docum. Lab. Géol. Univ. Lyon, Mém. hors sér. 7.*

RIGASSI D., (manuscrit déposé en 1991). Notice expl. de la Feuille 1182 Ste-Croix de l'Atlas géol. de la Suisse au 1:25'000.- Office féd. Eaux et Géol., Ittigen-Bern (actuellement Swisstopo, Wabern-Bern).

ROLLIER L.,1910. Nouvelles observations sur le Sidérolithique et la Molasse oligocène du Jura central et septentrional. Troisième supplément à la Description géologique du Jura bernois, etc. Mat. carte géol. Suisse, NS 25, part. 1.

SAUTIER H., 1858. Note sur quelques lambeaux des étages Aptien et Albien qu'on rencontre dans le Haut-Jura aux environs des Rousses. *Mém. Soc. Emulation du Doubs 3*: 177.

SAUVAGNAT J., 1999. Les ostracodes aptiens et albiens du Jura. *Publ. Dépt. Géol.-Paléont. Univ. Genève 24*: 1-264.

SCHARDT H., 1891. Sur un terrain tertiaire observé dans la Vallée de Joux. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 28*: V-VI.

SCHARDT H., 1896. Nouveaux gisements de terrain cénomanien et de gault dans la Vallée de Joux. *Eclogae geol. Helv. 4*: 375-377.

SUDAN P., 1997. Géologie de la rive gauche du Lac de Joux (VD, Suisse) et analyse séquentielle de coupes stratigraphiques d'âge Portlandien-Berriasien. Dipl. inédit, Lab. Géol. Univ. Fribourg. 109 p.

Manuscrit reçu le 14 mars 2008

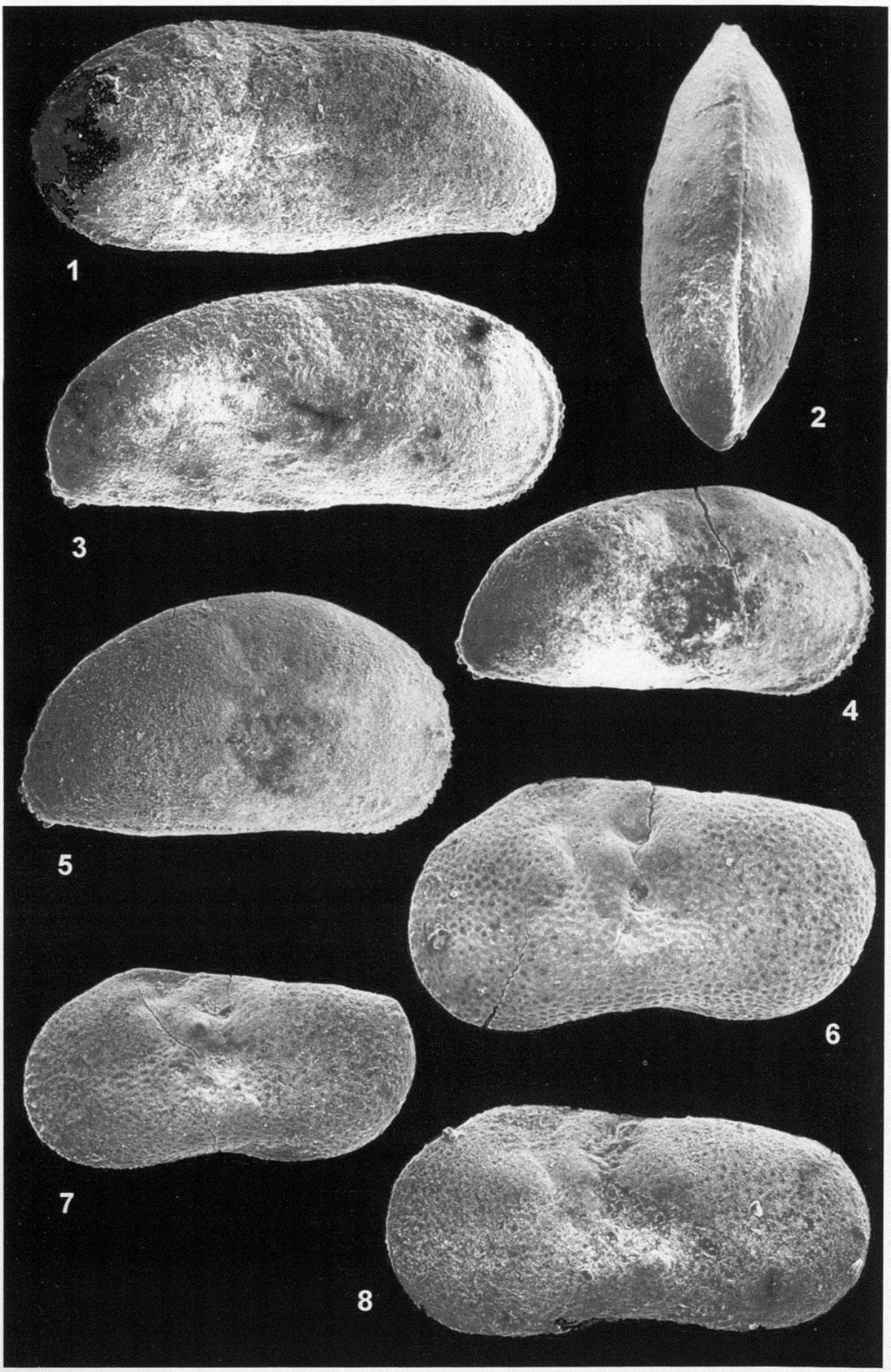
PLANCHE I

Ostracodes de la Molasse oligocène de la Vallée de Joux.
C = carapace, VG = valve gauche, VD = valve droite. Entre parenthèses: dimensions en mm Grossissement env. 75 x.

Fig. 1-5: *Hemicyprideis dacica* (HÉJJAS 1894). Sond. 9, Bas-des-Bioux / 21,0 - 21,6 m
1. VG, mâle, (0,86), vue latérale.
2. C, femelle, (0,71), vue de dessus.
3. VD, mâle, (0,86), vue latérale.
4. VD, femelle, (0,70), vue latérale.
5. VD, femelle, (0,73), vue latérale.

Fig. 6-8: *Ilyocypris* sp. – Sond. 9, Bas-des-Bioux
6. VG, femelle?, (0,80), vue latérale – (prof. 24,2 m).
7. VG, femelle?, (0,68), vue latérale – (prof. 22,4 - 22,6 m).
8. VG, mâle?, (0,86), vue latérale– (prof. 23,2 m).

PLANCHE I



© Société Vaudoise des Sciences Naturelles, Palais de Rumine, CH-1005 Lausanne
Droits de reproduction réservés

Rédaction: Pierre Gex, Institut de Géophysique, bâtiment du collège propédeutique, CH-1015 Lausanne
Mise en page: Emmanuelle Yannic
Imprimerie: IRL S.A., CH-1020 Renens-Lausanne