

Niveau de bentonite dans la Molasse grise de Lausanne (USM - "Aquitaniens")

Autor(en): **Mumenthaler, Thomas / Peters, Tjerk / Weidmann, Marc**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **74 (1981)**

Heft 3

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165124>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 74/3	Pages 639–650	6 figures et 1 tableau dans le texte	Bâle, novembre 1981
---------------------	-----------	---------------	---	---------------------

Niveau de bentonite dans la Molasse grise de Lausanne (USM – «Aquitanién»)¹⁾

Par THOMAS MUMENTHALER²⁾, TJERK PETERS³⁾ et MARC WEIDMANN⁴⁾

ABSTRACT

A bentonite layer, 20–30 cm thick, has been discovered in the fluvial-lacustrine beds of the Lower Freshwater Molasse (USM) at the Bois-Genoud quarry, near Lausanne. Palaeontological evidence (micromammals and charophytes) indicate an NMU 2a (Montaigu) age, or middle Aquitanian. The bentonite comprises 84% of sodium-rich montmorillonite-beidellite. This clay bed must be derived from vitreous volcanic ash of a dacite-rhyolite composition. The volcanic source is not known, but was probably situated in the nearby Alps.

1. Situation géographique et géologique

La briqueterie de l'entreprise BTR-Prébéton SA à Crissier exploite depuis 1956 une importante carrière dans la molasse au lieu-dit Bois-Genoud, à environ 6 km au nord-ouest de Lausanne (157.2/534.8). La carrière est située dans le vallon de la Mèbre, en bordure de l'autoroute de contournement de Lausanne. Les fronts de taille atteignent une trentaine de mètres et exposent, sous une couverture de moraine de fond d'épaisseur variable, les couches marno-gréseuses bigarrées de la Molasse grise de Lausanne (sensu BERSIER 1938, p.49–50), qui ont été attribuées à l'Aquitanién.

La série exploitée est ici particulièrement marneuse et plonge de 15 à 18° vers le sud-est (fig.1). Quelques failles verticales NW–NNW, avec stries horizontales, découpent la série; l'une d'elles montre un rejet vertical apparent d'environ 12 m.

Il est assez difficile de situer précisément notre série au sein de la Molasse grise de Lausanne: les affleurements sont discontinus, les plongements varient et les épaisseurs augmentent très rapidement vers l'ESE. BERSIER (1938, p. 104) attribuait une épaisseur de 1800 m à l'«Aquitanién» de la Mèbre; nous l'estimons pour notre part à 1200 m seulement et nous plaçons les couches de Bois-Genoud à environ 400 m au-dessus de la base de la Formation, base bien visible dans la vallée de la Sorge, 1,5 km à l'WNW de Bois-Genoud (157.6/533.4).

Le niveau de bentonite a été découvert par l'un de nous (T.M.) en 1980 dans l'angle nord-est de l'exploitation (fig. 1), lors du lever de profils lithologiques. Bien

¹⁾ Travail subventionné par le FNSRS, crédit 2.232-0.79.

²⁾ Zürcher Ziegeleien, Postfach, CH-8021 Zürich.

³⁾ Min.-Petr. Institut, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

⁴⁾ Musée de Géologie, Palais de Rumine, CH-1005 Lausanne.

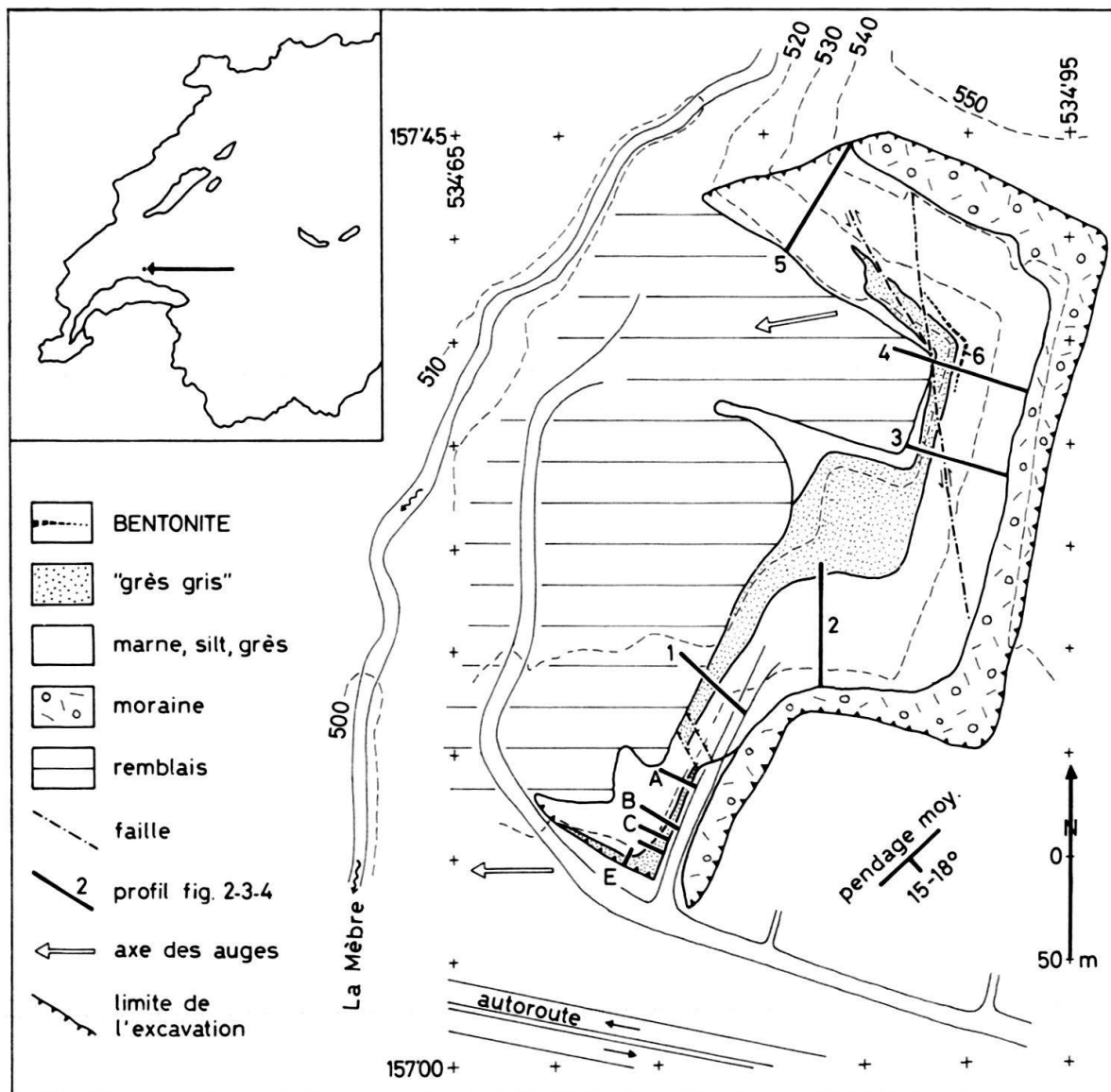


Fig. 1. Carte géologique de la carrière de Bois-Genoud/Crissier. Etat au printemps 1981.

que son épaisseur atteigne 30 cm, son extension latérale est très limitée: une trentaine de mètres en direction NW-SE. Il est en conséquence fort probable que les phases ultérieures de l'exploitation feront complètement disparaître ce niveau de bentonite, le seul signalé jusqu'ici dans tout l'Oligocène-Miocène inférieur du bassin molassique nord-alpin.

2. Lithologie et milieu de dépôt

Plusieurs profils lithologiques ont été relevés (fig. 2), qui montrent bien la grande variabilité latérale des diverses couches, phénomène que BERSIER (1938, 1958a) a longuement étudié et illustré, ce qui nous dispensera d'une nouvelle description. Les corrélations sont cependant possibles dans la carrière, grâce aux fréquents niveaux palustres d'argile gréseuse sombre, dont certains se suivent sur de longues distances

sans avoir été érodés par le jeu des divagations fluviales successives. Ces couches sombres riches en matière organique et pauvres en carbonate témoignent d'épisodes lacustres-palustres prolongés, parfois localisés (profil C, fig.2), mais le plus souvent étendus (niveau-repère «noir/brun», fig.2-3). Leur contenu fossilifère confirme cette interprétation: charophytes, mollusques d'eau douce, poissons, crocodiles, tortues.

Des paléosols s'observent parfois sous forme de traces de racines et (ou) de niveaux de concentration de carbonate en nodules (paléocaliche). Ces pédogenèses sont rarement bien développées et étaient très fréquemment interrompues par de nouveaux alluvionnements ou érosions (dépôts d'inondation).

Les grès sont en général fins, assez argileux, bigarrés et peu épais, avec une base faiblement érosive. Fait exception le «grès gris» repère qui est le témoin d'une rivière à méandres fortement chenalisés: il se termine brusquement par un «cut-bank» bien visible dans la face nord de la carrière. Les stratifications en auge indiquent une direction locale de flux dirigé vers l'W-WSW (moyenne 260°). La base du «grès gris» est soulignée par un conglomérat discontinu à gros galets mous argileux, débris de bois et de vertébrés (notamment une molaire de Castoridé), et aussi plaquettes de calcaire lacustre à stromatolite et ostracodes. Ces derniers galets ne sont pas arrondis, ni déformés et atteignent 10 cm de longueur et 3 cm d'épaisseur; ils doivent provenir du démantèlement d'un fond lacustre contemporain, lors

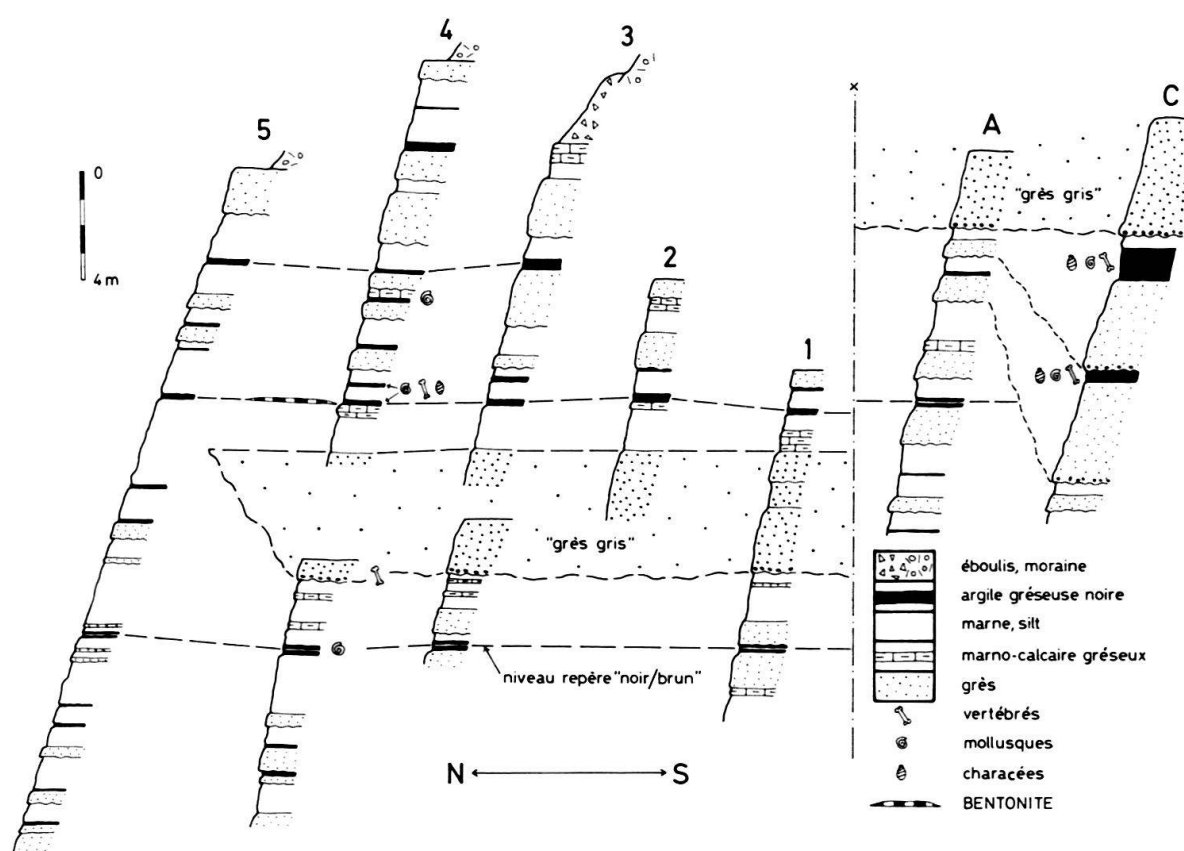


Fig.2. Profils et corrélations lithologiques; situation des profils: voir figure 1. Les profils 1 à 5 ont été relevés en 1980, avant la dernière phase d'exploitation et de remblayage; les profils A à E l'ont été après et datent du printemps 1981.

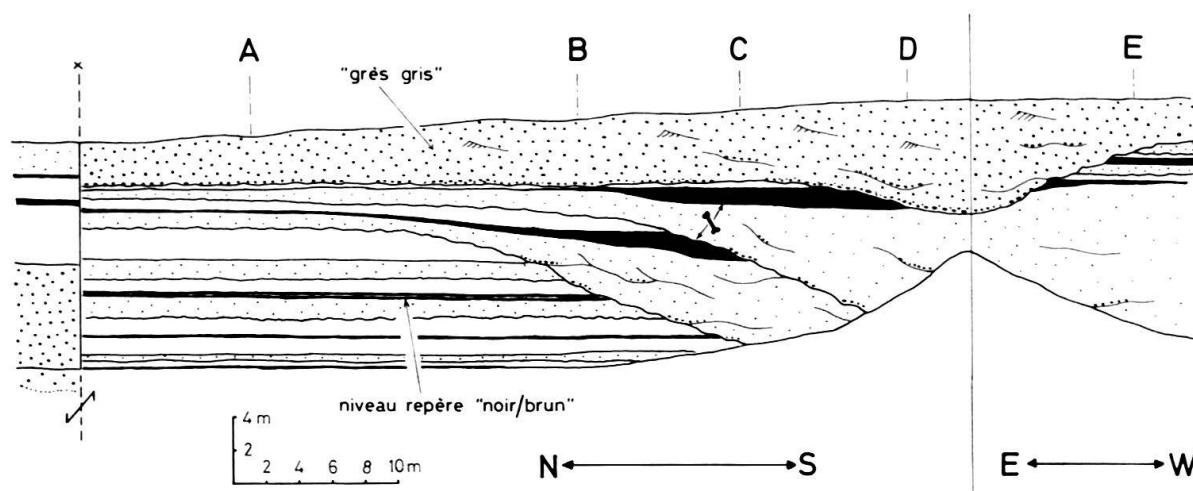


Fig. 3. Faces est et sud de l'excavation 1981; situation des profils et légende: voir figure 1. Trois chenaux successifs localisés au même endroit avec remplissage argileux palustre dans un méandre abandonné (ox-bow).

d'une divagation de la «rivière du grès gris»; ils démontrent une lithification précoce des tapis algaires et sont les seuls calcaires lacustres connus jusqu'ici dans la Molasse grise de Lausanne (voir aussi BERSIER 1958b, p. 845).

Dans l'angle sud-est de la carrière, la phase d'exploitation de l'hiver 1981 a dégagé trois chenaux successifs emboîtés sur une même verticale et séparés par d'épais niveaux argilo-gréseux noirs (fig. 3). Les deux chenaux inférieurs correspondent à des méandres qui ont été abandonnés par la rivière et occupés par des marais (ox-bow); une nouvelle ingression du cours d'eau a ensuite partiellement détruit les dépôts palustres qui sont ici très fossilifères: unios, planorbes, limnées, charophytes, vertébrés divers.

L'environnement de dépôt correspond donc tout à fait à ce que l'on savait déjà de la Molasse grise de Lausanne: basse plaine d'inondation boisée, avec de fréquents lacs et marais, parcourue par des rivières divagantes à méandres et un drainage vers l'ouest. Les couches visibles dans la carrière de Bois-Genoud ne montrent pas de termes marins identiques à ceux que BERSIER (1938) a découverts plus haut dans la série, dans le R. de Camarès et à la carrière du Bouzenet.

3. Contenu fossilifère et âge

Sept niveaux argilo-gréseux noirs, au-dessus et au-dessous de la bentonite, ont été échantillonnés et lavés (env. 350 kg). Tous contiennent des mollusques d'eau douce et quatre d'entre eux ont livré des charophytes et des restes de vertébrés.

Les charophytes sont en général bien conservés; J.P. Berger (Fribourg) y a déterminé *Nitellopsis (Tectochara) meriani*, *Stephanochara ungeri*, *Nitellopsis (Tectochara) globula*, *Stephanochara* n.sp. Cette association se trouve couramment dans l'Aquitainien moy.-sup. du bassin molassique suisse.

Les vertébrés, déterminés par B. Engesser (Bâle) et H. Bucher (Lausanne), seront décrits en détail ailleurs. Ils comprennent:

- os et dents pharyngiennes de poissons (*Leuciscus* sp.), courantes,
- dents et plaques dermiques de squamates (*Ophisaurus* sp., etc.), rares,
- dents de crocodile, rares,
- os de tortue, rares,
- fragments de dents d'Artiodactyles (plusieurs taxa), très rares,
- dents de Lagomorphes, incomplètes et indét., très rares,
- dents de Rongeurs (plusieurs taxa), très rares.

Les mammifères permettent de dater la série de Bois-Genoud de la biozone NMU 2a (Montaigu), ce qui correspond à l'Aquitanién moyen, soit environ 22–24 MA.

4. Le niveau de bentonite

Restreint à l'angle nord-est de l'excavation (état au printemps 1981), le niveau de bentonite se présente comme une couche de 20 à 30 cm d'argile très pure, en général grise à gris-verdâtre, parfois rosée, qui se débite en petits polyèdres par dessiccation (profil 6 de la figure 1 et figure 4).

Le contact basal paraît franc au-dessus d'une marne gréseuse sombre. Au sommet, le passage à une argile gréseuse noire est plus graduel. Latéralement vers le nord-ouest, la bentonite «se fond» dans un niveau argilo-silteux rouge et montmorillonitique à la base, devenant gréseux et noir au sommet, où il contient des débris de mollusques et de dents de micromammifères indét.

Ce niveau de bentonite devait probablement se prolonger en direction du sud-ouest dans le secteur actuellement excavé. En effet, un échantillonnage réalisé il y a 21 ans, alors que le front de taille était situé à environ 100 m au sud-ouest de l'actuel, avait donné pour une des couches des caractéristiques très semblables à celles du niveau de bentonite actuellement visible (couleur, extension latérale

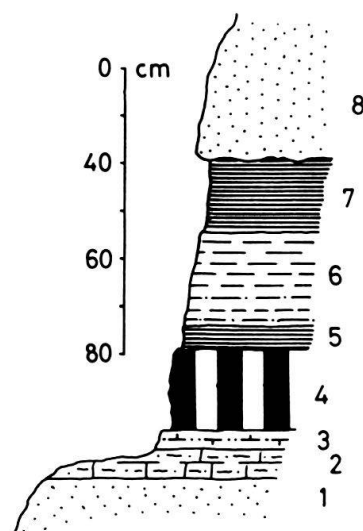


Fig. 4. Profil détaillé du niveau de bentonite (n° 6 de la figure 1; 157.35/534.90/524 m).

1 = grès grossier dur gris, 2 = grès marneux gris à taches jaune-brun, 3 = marne gréseuse gris-vert à noire, 4 = Bentonite, argile pure grise, gris-vert ou rosée, 5 = argile gréseuse noire, 6 = marne plus ou moins silteuse bigarrée jaune-violet, 7 = argile gréseuse gris-noir, 8 = grès moyen-fin gris-jaune à taches brunes.

limitée, faible teneur en carbonates, analyse thermique différentielle avec pic endothermique principal à 680 °C). Cette couche était cependant plus fortement contaminée par le quartz (23%) et avait passé inaperçue à l'époque.

5. Minéralogie

Par son aspect, la bentonite de Bois-Genoud ressemble fortement à celles de la Molasse d'eau douce supérieure du nord-est de la Suisse (HOFMANN 1956; HOFMANN et al. 1975; HARR 1976; PAVONI & SCHINDLER 1981).

C'est à partir de cette analogie que l'hypothèse d'un niveau de bentonite a été formulée sur le terrain. Après avoir constaté par diffraction aux rayons X et analyse

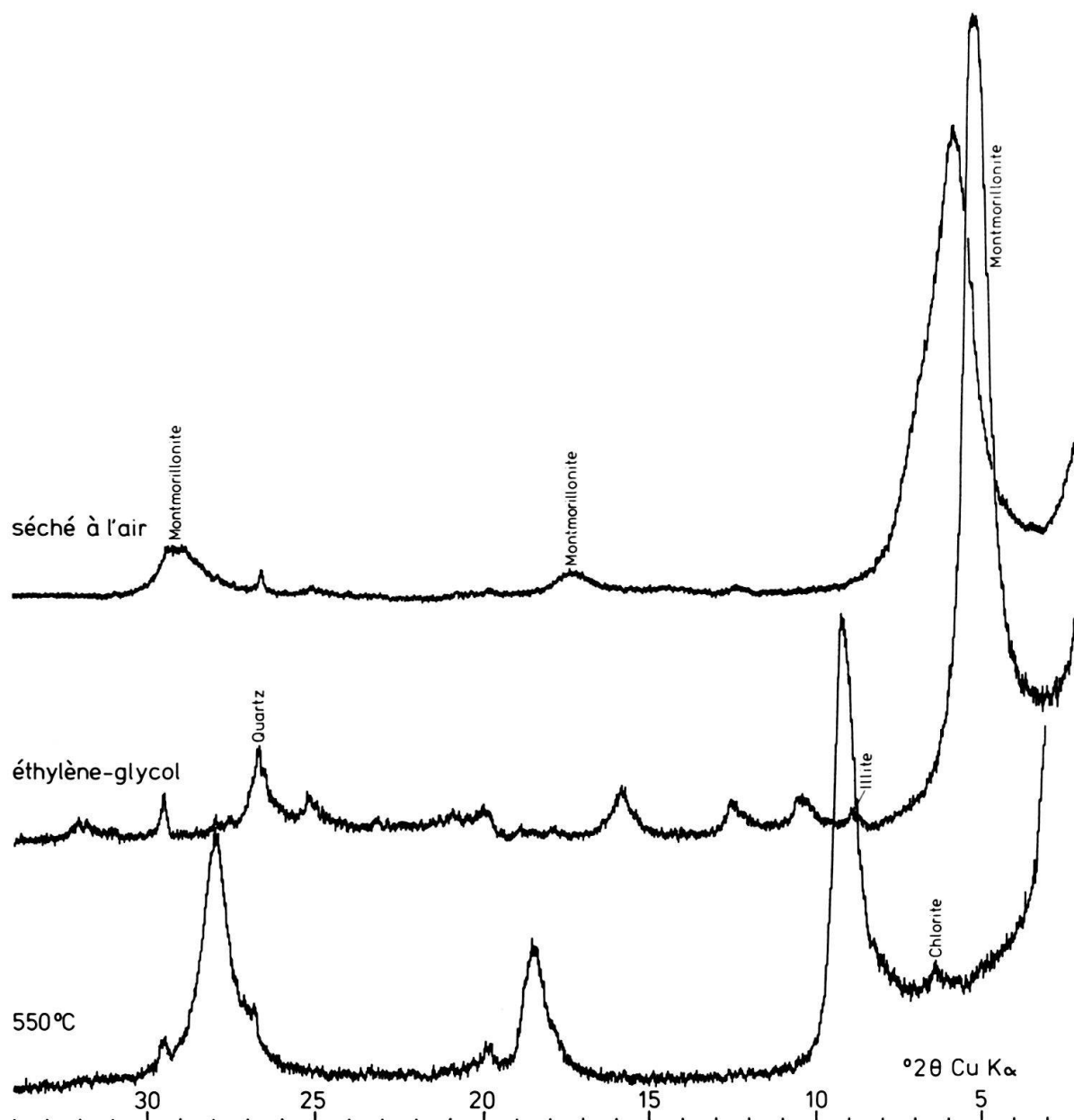


Fig. 5. Bentonite de Bois-Genoud: Diffractogrammes des préparations orientées.

thermique différentielle que le matériel se composait essentiellement de smectite, d'autres méthodes d'analyse ont été mises en œuvre pour caractériser cette argile.

En vue d'une éventuelle datation isotopique, il a été procédé à un essai d'enrichissement de feldspaths par fractionnement et flottation. La fraction > 18 microns a livré de l'albite et très peu de feldspath potassique, probablement d'origine détritique, mais pas de sanidine d'origine volcanique nécessaire à la datation. Les teneurs en quartz, feldspath et carbonate ont été déterminées par diffraction aux rayons X à l'aide de préparations non orientées contenant LiF comme standard interne. Les valeurs obtenues, vérifiées pour le quartz par la méthode de Talvitie et pour la calcite par la mesure du CO_2 , sont les suivantes: quartz 7%, albite 4%, calcite 5,5%.

La détermination des minéraux argileux a été effectuée par diffraction aux rayons X, à partir de préparations orientées par sédimentation, l'une saturée en

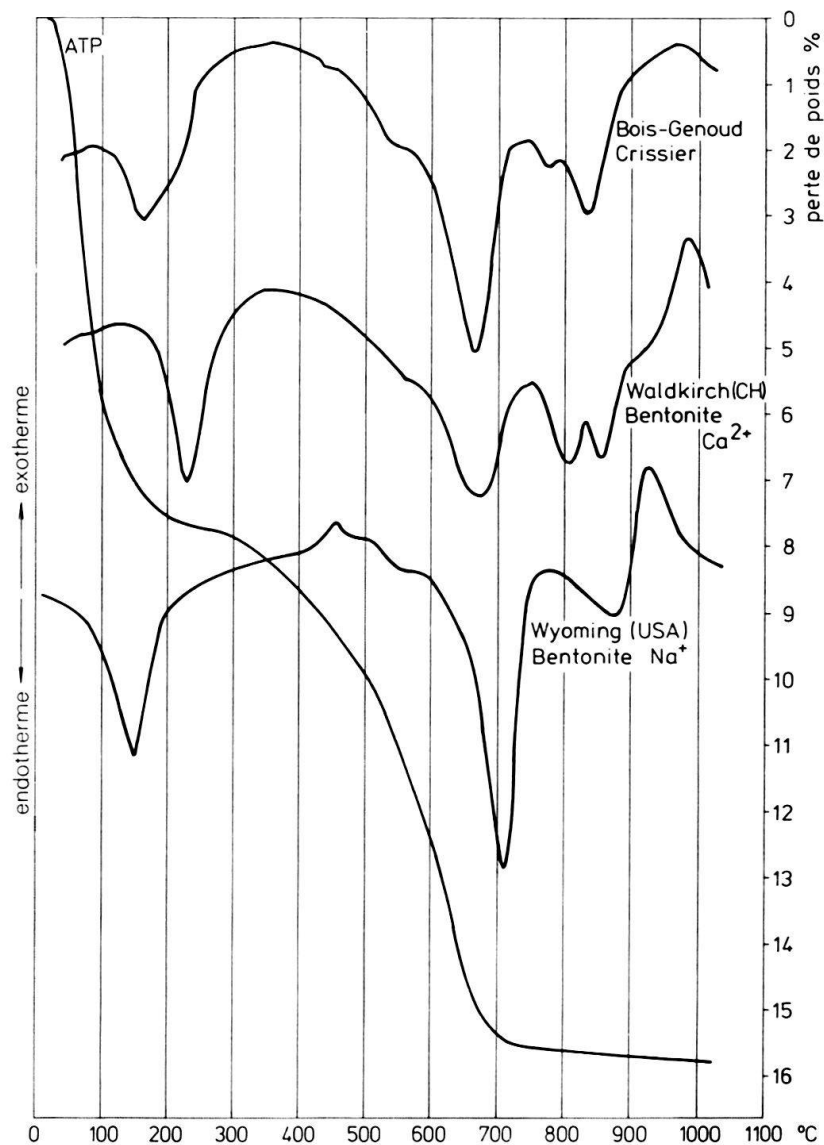


Fig.6. Courbes d'analyse thermique différentielle (ATD) et d'analyse thermopondérale (ATP) de la bentonite de Bois-Genoud (Aquitainien). Pour comparaison: courbes ATD des bentonites calcique de Waldkirch (St-Gall, «Tortonien») et sodique du Wyoming (USA, Crétacé).

Ca^{2+} , l'autre en éthylène glycol, une autre enfin chauffée à 550 °C. Les minéraux argileux se composent essentiellement de smectites, l'illite et la chlorite n'apparaissent qu'en traces (<1%). Les diffractogrammes des préparations orientées sont reproduits dans la figure 5.

La présence de la raie (060) à 1,4986 Å sur les films Guinier a permis de déterminer la nature dioctaédrique de la smectite.

La courbe ATD de la bentonite de Bois-Genoud (fig. 6) montre une première réaction à 160 °C suivie d'une plus faible à environ 200 °C correspondant au départ de l'eau interstitielle faiblement liée. Selon MACKENZIE (1970), cette température dépend fortement de l'énergie d'hydratation du cation absorbé. Les bentonites Na^+ présentent en règle générale un premier pic de déshydratation aux environs de 150 °C, celles de Ca^{2+} (par exemple les bentonites suisses de l'OSM, cf. HOFMANN et al. 1975) un pic simple ou complexe vers 200–230 °C. La courbe ATD démontre donc le caractère avant tout sodique de la bentonite de Bois-Genoud, la petite réaction supplémentaire à 200 °C indiquant la présence probable de cations divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Après une très faible réaction endothermique à 540 °C (traces éventuelles de beidellite), intervient une réaction endothermique très marquée à 665 °C, caractéristique de la montmorillonite s.s. et que l'on retrouve à cette température chez la plupart des bentonites suisses de l'OSM. Les réactions endothermiques enregistrées en-dessus de 700 °C sont dues à la présence de faibles quantités de carbonate et probablement aussi à la disparition de la structure cristalline (pic à 840 °C).

Tableau: *Analyse chimique de la bentonite de Bois-Genoud, composition de la smectite avec correction des impuretés et calcul de la formule basée sur 22 oxygènes (% en poids).*

	Bentonite	Smectite	Cations / 22 O			charges des couches
SiO_2	53.41	43.66	Si	7.12	8.00	- 0.88
			Al^{IV}	0.88		
Al_2O_3	19.92	19.15	Al^{VI}	2.80	4.18	- 0.35
TiO_2	0.40	0.40	Ti	0.05		
Fe_2O_3	3.21	3.21	Fe	0.39		
MnO	0.03	0.03				
MgO	3.85	3.85	Mg	0.94		
CaO	5.29	2.24	Ca	0.39	0.86	+ 1.25
K_2O	0.78	0.78	K	0.16		
Na_2O	1.44	0.97	Na	0.31		
P_2O_5	0.07	0.07				
H_2O	8.37	8.37				
CO_2	2.4					
	99.17					

Les résultats de l'analyse chimique effectuée par fluorescence X figurent dans le tableau. La composition de la smectite a été calculée en tenant compte des teneurs en quartz, albite et calcite de la bentonite. A partir de cette composition, la formule de la smectite peut être calculée selon la méthode de ROSS & HENDRICKS (1945) et FORSTER (1951) basée sur 22 oxygènes:



Il s'agit d'un membre de la série montmorillonite-beidellite constitué d'un mélange cristallin équiproportionnel des deux termes purs. La présence d'Al dans la couche tétraédrique détermine le caractère beidellitique et la teneur en Mg dans la couche octaédrique le caractère montmorillonitique de cette smectite. La somme des cations de la couche octaédrique est légèrement supérieure à 4,00, ce qui indique une tendance trioctaédrique. Une part de ce surplus provient de la teneur en Mg interchangeable ($\sim 0,4\%$ MgO).

La nature et les quantités des cations échangeables ont été déterminées par lente percolation d'une solution de BaCl_2 et détermination des cations dans le filtrat, leur somme représentant la capacité d'échange d'ions totale, exprimée en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche. Les valeurs obtenues sont les suivantes:

K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total
1,04	72,75	10,43	14,32	98,54 méq/100 g

La valeur d'échange d'ions de 98,54 méq/100 g est caractéristique des smectites. La prédominance de Na^+ dans les cations échangeables est remarquable.

La surface externe de la bentonite a été mesurée par la méthode d'absorption d'azote de Brunauer, Emmet et Teller (BET) et a donné une valeur de $43 \text{ m}^2/\text{g}$, ce qui ne la distingue guère d'autres argiles plus communes comme l'Opalinuston par exemple. La surface spécifique totale par contre, déterminée par la méthode d'absorption de glycérine, montre une valeur remarquablement élevée de $435 \text{ m}^2/\text{g}$ qui est due à la très grande surface interne de la bentonite.

6. Discussion

D'après les données minéralogiques, il semble assuré que la couche d'argile grise de Bois-Genoud est une bentonite. Les couches de la Molasse d'eau douce inférieure contiennent normalement une certaine quantité de smectite mais toujours accompagnée d'une proportion d'illite et de chlorite importante. En général, les couches argileuses de cette formation contiennent principalement de l'illite et de la chlorite (VERNET 1958, PETERS 1968, PETERS et al. 1972). Dans les couches gréseuses, la fraction argileuse présente une teneur plus élevée de smectite qui semble résulter de la diagenèse.

La grande majorité des roches composées presque exclusivement de smectite ont une origine volcanique et sont alors désignées sous le nom de bentonites. Une autre origine possible, mais beaucoup plus rare, est la formation d'une roche très riche en smectite dans des environnements sursalés et confinés (MILLOT 1964).

Dans le cas de l'argile montmorillonitique de Bois-Genoud, une telle origine peut cependant être exclue au vu des données sédimentologiques et paléoécologiques.

Notre argile s'est donc formée à partir de cendres volcaniques vitreuses. En supposant que la composition du matériau volcanique n'ait pas changé pendant et après le processus d'altération amenant à la montmorillonite, nous pouvons calculer la norme du matériel volcanique à partir de l'analyse chimique de l'argile. Ainsi la composition chimique de la bentonite donne dans la norme CIPW le rapport 60% de quartz, 11% d'orthose et 29% de plagioclase ($An_{68} Ab_{32}$) avec un index de couleur de 15%. La composition de la smectite donne, en considérant les teneurs de quartz, albite et calcite comme apports détritiques, 66% de quartz, 12% d'orthose et 22% de plagioclase ($An_{56} Ab_{44}$) avec un index de couleur de 18%. Ces deux proportions correspondent à une dacite, respectivement à une dacite/rhyolite dans le diagramme QAPF de STRECKEISEN (1980). En comparant ces deux compositions avec des analyses de dacites, on constate que la teneur globale en alcalins est très basse et celle en quartz très élevée, ce qui indique un lessivage probable des alcalins pendant la formation de bentonite à partir du matériau volcanique.

7. Genèse et origine

Les conditions de dépôt de la bentonite sont clairement visibles sur le terrain: dans une nappe d'eau douce peu profonde, tranquille et probablement de faible étendue, passant latéralement et vers le haut à des dépôts palustres plus ou moins remaniés dans des dépôts d'inondation silto-gréseux.

La seule origine possible pour ces 20–30 cm de bentonite reste comme on l'a vu une pluie de cendres volcaniques, composée de verre principalement et issue d'un volcanisme explosif de type intermédiaire ou acide.

Où était donc situé le volcan?

L'âge absolu de l'Aquitaniens moyen varie passablement selon les diverses tables de calibration consultées: entre 20 et 24 MA. A cette époque, le volcanisme intermédiaire et acide semble être en sommeil sur le continent européen: aussi bien dans le Massif Central, le Languedoc et la Provence (MAURY & VARET 1980) que dans les Vosges et la Forêt Noire (BARANYI et al. 1976, Abb.4). On connaît par contre des tufs trachytiques datés d'entre 20,5 et 25 MA dans la Westerwald et le bassin de Neuwied (TEICHMÜLLER 1974), à plus de 400 km au nord de Lausanne. Il semble difficile d'imaginer qu'un volcan si éloigné soit à l'origine des 30 cm de bentonite de Bois-Genoud ... d'autant plus que l'on ne connaît pas de témoin intermédiaire d'une hypothétique et gigantesque éruption entre la Rhénanie et le Léman.

Dans les Alpes occidentales plus proches, on sait que le volcanisme andésitique «de type Taveyenne» est plus ancien: environ 35 MA selon FONTIGNIE (1980) ou 30–35 MA d'après MAURY & VARET (1980). Dans les zones plus internes également, toutes les éruptions datées jusqu'ici sont oligocènes: 33–29 MA (DAL PIAZ et al. 1979). Il faut aller très loin vers l'est, en Styrie-Slovénie, pour trouver un volcanisme andésitique alpin daté du Miocène inférieur et lié probablement à des subductions au sens de Amstutz (DEBELMAS et al. 1980).

En conclusion, nous n'avons jusqu'ici aucun indice probant qui permette de situer l'origine des cendres volcaniques aquitaniennes de Bois-Genoud. La question reste donc ouverte, mais il nous paraît cependant que cette origine a de fortes

chances d'être alpine. Il importe avant tout de trouver maintenant dans le bassin molassique encore d'autres témoins de ce volcanisme, car il s'en trouve certainement, toujours fort discrets et peut-être pas seulement dans l'Aquitanien et dans l'OSM. Une récente découverte encore inédite dans le bassin molassique bavarois, vers la limite «Aquitanien»-«Burdigalien», vient par ailleurs de le montrer (A. Wendt, comm. orale, juin 1981).

Remerciements

Pour leur aide technique et pour l'autorisation de publier certains résultats analytiques, nous remercions les Zürcher Ziegeleien et BTR Prébéton SA. J.-P. Berger, H. Bucher et B. Engesser ont déterminé les fossiles. Chr. Böhm a exécuté les travaux de flottation. P. Homewood, F. Hofmann, D. Rigassi, R. Trümpy et A. Wendt nous ont communiqué d'utiles renseignements et avis critiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BARANYI, I., LIPPOLT, H.J., & TODT, W. (1976): *Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingraben-Gebietes: II – Die Alterstraverse vom Hegau nach Lothringen*. – Oberrh. geol. Abh. 25, 41–62.
- BERSIER, A. (1938): *Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat*. – Mém. Soc. vaud. Sci. nat. 6/3, 1–128.
- (1958a): *Séquences détritiques et divagations fluviales*. – Eclogae geol. Helv. 51/3, 854–893.
- (1958b): *Exemples de sédimentation cyclothématique dans l'Aquitanien de Lausanne*. – Eclogae geol. Helv. 51/3, 842–853.
- DAL PIAZ, G.V., VENTURELLI, G., & SCOLARI, A. (1979): *Calc-alkaline to ultrapotassic post-collisional volcanic activity in the Northwestern Alps*. – Mem. Sci. geol. Univ. Padova 32, 1–16.
- DEBELMAS, J., OBERHAUSER, R., SANDULESCU, M., & TRÜMPY, R. (1980): *L'arc alpino-carpathique*. – Mém. Bur. Rech. géol. min. 115, 86–96.
- FONTIGNIE, D. (1980): *Géochronologie potassium/argon: études théoriques et applications à des matériaux de flyschs des Alpes occidentales*. – Thèse Univ. Genève, n° 1966.
- FORSTER, M.D. (1951): *The importance of exchangeable magnesium and cation exchange capacity in the study of montmorillonitic clays*. – Amer. Mineralogist 38, 994–1006.
- HARR, K. (1976): *Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an Bentoniten in der Süddeutschen Molasse*. – Diss. Univ. Tübingen.
- HOFMANN, F. (1956): *Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands*. – Eclogae geol. Helv. 49/1, 113–133.
- HOFMANN, F., BÜCHI, U.P., IBERG, R., & PETERS, T.J. (1975): *Vorkommen, petrographische, tonmineralogische und technologische Eigenschaften von Bentoniten im schweizerischen Molassebecken*. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 54.
- MACKENZIE, R.C. (1970): *The Smectite group*. In: MACKENZIE R.C. (Ed.): *Differential Thermal Analysis* (p. 504–507). – Academic Press, London, New York.
- MAURY, R.C., & VARET, J. (1980): *Le volcanisme tertiaire et quaternaire en France*. – Mém. Bur. Rech. géol. min. 107, 138–159.
- MILLOT, G. (1964): *Géologie des Argiles*. – Masson, Paris.
- PAVONI, N., & SCHINDLER, C. (1981): *Bentonitvorkommen in der Oberen Süsswassermolasse des Kantons Zürich und damit zusammenhängende Probleme*. – Eclogae geol. Helv. 74/1, 53–64.
- PETERS, T.J. (1961): *Tonmineralogische Untersuchungen an Glazialmergeln von Zollikofen und aquitanen Tonen und Mergeln von Pieterlen*. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser., kl. Mitt. Nr. 23.
- PETERS, T.J., MUMENTHALER, TH., & JENNI, J.P. (1972): *Mineralogische und technologische Untersuchungen an Ziegeltonen aus der Molasse der NE-Schweiz*. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 52/2, 331–348.

- ROSS, C.S., & HENDRICKS, S.B. (1945): *Minerals of the montmorillonite group*. – Prof. Pap. U.S. geol. Surv. (B) 205, 23–79.
- STRECKEISEN, A. (1980): *Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks* (IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks). – Geol. Rdsch. 69, 194–207.
- TEICHMÜLLER, R. (1974): *Die tektonische Entwicklung der Niederrheinischen Bucht*. In: ILLIES, J.H., & FUCHS, K. (Ed.): *Approach to taphrogenesis, Rift-Symposium, Karlsruhe* (p.213–221). – Schweizerbart, Stuttgart (1972).
- VERNET, J.P. (1958): *Etudes sédimentologiques et pétrographiques des Formations Tertiaires et Quaternaires de la partie occidentale du Plateau Suisse*. – Eclogae geol. Helv. 51, 1115–1152.