

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 68 (1962-1964)
Heft: 312

Artikel: Le Sidérolithique du Mormont (Vaud)
Autor: Vernet, J.-Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-275449>

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: 11.01.2026

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

Le Sidérolithique du Mormont (Vaud)

PAR

J.-PIERRE VERNET

Abstract. — A petrographic study of the siderolithic formation with pisolithic iron filling the karsts of the urgonian horst of the Mormont and the stratified siderolithic rocks of the Talent. The predominant argilaceous mineral is kaolinite, accompanied by illite and by a secondary montmorillonite. The predominant iron oxide is goethite. An outline of the relations among these different minerals is included at the end, as well as a hypothesis about the origin of iron pisoliths.

AVANT-PROPOS

L'étude sédimentologique du Sidérolithique de la Suisse se poursuit avec l'appui du Fonds national suisse de la recherche scientifique, que nous tenons à remercier ici. Grâce à son soutien, nous avons aussi pu monter à l'Université de Lausanne un laboratoire des Argiles, qui fonctionne depuis 1959 déjà.

De cette étude générale du Sidérolithique, nous présentons aujourd'hui la pétrographie sédimentaire d'échantillons de bolus du Mormont, près d'Eclépens. Les résultats obtenus sur un autre gisement de cet âge ont fait l'objet de précédentes publications (VERNET : 1962a et 1962b). Les sédiments sidérolithiques d'autres régions sont à l'examen et nous espérons être à même, d'ici quelques années, de pouvoir publier une synthèse générale sur cette formation en Suisse. Aussi sommes-nous d'ores et déjà très reconnaissant à nos collègues et aux naturalistes qui voudront bien nous signaler d'autres gisements de ce type.

INTRODUCTION

L'appellation de Sidérolithique est une appellation ambiguë. Primitivement, elle désignait une formation d'origine continentale résultant de l'altération superficielle de formations calcaires et gréseuses, une *terra rossa*. Lorsque ces argiles de décalcification sont ferrugineuses, on parle aussi de *bolus*. Cette définition nous permet d'appeler sidérolithiques des formations bauxitiques de la nappe des Préalpes médianes, telles que celles de Dréveneuse (BADOUX, 1959) ou de Chavan (à l'étude) qui sont d'âge liasique. Je pense cependant qu'il est préférable de limiter cette désignation à la grande période de formations continentales qu'est l'Eocène de notre région, période à laquelle se rattachent les gisements paléontologiques des phosphorites du Quercy et les remplissages de karsts par du bolus et des ossements de vertébrés de la région du Mormont (Bavois-Eclépens-Saint-Loup).

Entre le Crétacé supérieur et le début du Stampien, il s'est écoulé une période de temps de l'ordre de 25-30 millions d'années, c'est-à-dire quasi équivalente à celle qui s'étend du Stampien à nos jours (env. 35 millions d'années). Pendant la première période, soit à l'Eocène, le Plateau suisse était émergé et les sédiments sidérolithiques se sont formés. Durant la deuxième période, toute la molasse s'est déposée, ainsi que les formations quaternaires. Nous essayerons plus loin de préciser l'âge des gisements du Mormont. Situons-les d'abord.

Près de La Sarraz, le Mormont émerge du Plateau molassique. C'est un horst très faillé et compartimenté qui relève le substratum urgonien au-dessus de la molasse. C'est en quelque sorte l'avant-garde et le précurseur des plis jurassiens. Ce massif de calcaire urgonien a très vite été soumis à l'érosion karstique, c'est-à-dire que le niveau de la nappe phréatique s'est abaissé. Les avens se sont alors creusés puis comblés par un mélange de bolus sidérolithique, d'éclats de calcaire provenant du sol et des murs du gouffre et d'ossements de vertébrés, le tout entraîné par les eaux de ruissellement. L'aspect du sédiment est souvent celui d'une brèche.

La découverte de ces brèches ossifiantes remonte à 1852 (PICTET et coll. 1855-57, et STEHLIN 1903-1916). STEHLIN a montré que les différents gisements ne sont pas contemporains. Selon cet auteur, la gamme des gisements de la région Mormont-Eclépens débuterait au Lutétien et irait jusqu'au Bartonien-Ludien. A Entreroches et Bavois, la faune serait du Ludien supérieur ; or, comme actuellement on admet que le Ludien englobe une partie du Sannoisien, cette faune pourrait s'étendre jusqu'au début de la transgression oligocène. Le gisement le plus ancien est situé à proximité immédiate du Mormont, dans la colline des Alleveys près de Saint-Loup et date du Bartonien-Ludien inférieur.

Un inventaire très sommaire de cette faune nous donne quelque 60 espèces de mammifères, une dizaine d'espèces de sauriens et un amphibien signalé dernièrement par R. HOFFSTETTER (1962), le *Megalotriton*. La présence de cet amphibien, de crocodiles et de certains reptiles indique très clairement que durant cette période d'altération continentale il y avait en tout cas des zones ou des périodes plus humides, avec des étangs, probablement des cours d'eau avec leurs galeries forestières.

L'étude des sédiments, de leur pétrographie et de leurs conditions de dépôt va aussi nous permettre, dans une certaine mesure, de définir les conditions climatologiques régnant durant le Sidérolithique.

Signalons tout d'abord la découverte faite par MM. H. BADOUX et A. BERSIER (1937) d'une lentille de sable sidérolithique d'origine éolienne subhorizontale de près de 3 m de puissance pour une longueur d'une trentaine de mètres (Pl. I D). Cette lentille, d'après ces auteurs, est comprise entre deux bancs de calcaire urgonien qui ont visiblement glissé l'un sur l'autre. Ces chevauchements banc sur banc, sans doute

de faible amplitude, sont mis en évidence par des surfaces striées et des décalages de cheminées sidérolithiques. Découpé en tranches par deux systèmes de failles et décrochements, le Mormont a été par surcroît compartimenté horizontalement. Et c'est l'un de ces paquets urgoniens parallélépipédiques déplacé par un mouvement différentiel qui sert de couvercle à la lentille sidérolithique. Ces auteurs concluent à l'existence à cette époque d'une steppe subdésertique ; ils notent au milieu des grès éoliens la trace d'un épisode aquatique net (Pl. I A). L'origine du matériel leur semble être les sédiments de l'Albien et du Cénomanien, gréseux et riches en glauconie.

Des études plus anciennes de E. FLEURY (1909) et de H. SCHARDT (1923) traitent du Mormont. H. SCHARDT s'intéresse particulièrement au voisinage du Mormont, soit à la formation du sidérolithique stratifié de Goumoens-le-Jux qu'il affirme être un horizon épais et continu.

A l'autre extrémité de la Suisse, soit à Lohn (canton de Schaffhouse) et aux chutes du Rhin, F. HOFFMANN note la présence d'une période climatique aride entre le Sidérolithique et le dépôt de la molasse. Ces sédiments seraient plus récents que ceux du Mormont.

Voyons maintenant les études pétrographiques faites sur le matériel du Mormont et ensuite nous tenterons de préciser les conclusions auxquelles celles-ci nous amènent.

ANALYSE PAR DIFFRACTION X

MÉTHODES

Deux échantillons ont été étudiés en 1957 dans le laboratoire du professeur R. E. GRIM, à l'Université d'Illinois (USA) avec un diffractomètre de marque Norelco.

La méthode des plaquettes orientées avec des suspensions dont la granulométrie est de 0-2 microns a été utilisée. Des tests ont servi à assurer le diagnostic, soit : le traitement à l'éthylène glycol, l'échange dans une solution de NH_4Cl suivi d'une glycolation et de deux tests thermiques, soit un premier chauffage entre 425-450° et un deuxième à 575°C. Nous remercions ici MM. R. E. GRIM et W. BRADLEY d'avoir bien voulu examiner avec nous nos diffractogrammes et discuter des résultats obtenus.

Les autres échantillons ont été étudiés au laboratoire des Argiles de l'Université de Lausanne. La méthode des plaquettes orientées en partant d'une suspension défloculée de granulométrie connue (0-2 microns) a été appliquée. Des décarbonatations préalables et des glycolations ont été exécutées sur tous les échantillons. Des diagrammes de poudres ont toujours été effectués.

ECHANTILLONNAGE

Dans la carrière abandonnée de la gare d'Eclépens (532.050/167.750), il a été récolté un échantillon de remplissage karstique à pisolithes de fer (identique à celui figuré sur la Pl. I C) et un d'une argile plastique grise remplissant une anfractuosité des calcaires urgoniens de l'ancien front de taille de la carrière, abandonnée depuis une vingtaine d'années. Cette argile provient, selon nos observations, de l'altération des calcaires du front de taille depuis l'arrêt de l'exploitation. Mais il est cependant possible qu'une certaine contamination ait eu lieu.

C'est dans cette carrière que MM. A. BERSIER et H. BADOUX ont découvert, en 1937, un épisode lacustre et un épisode éolien datant des temps sidérolithiques (voir Pl. I A et D).

Dans la grande carrière actuellement exploitée par la cimenterie (531.500/167.500), M. D. AUBERT a récolté trois échantillons. Ils proviennent du remplissage d'une fissure et portent des traces dues aux derniers mouvements tectoniques. La partie supérieure du remplissage est de couleur brun-rouge, la partie médiane verdâtre à bigarrures brun-rouge et le bas du remplissage est vert clair. Toute la formation est finement pisolithique.

Encore un peu plus à l'W se trouve la troisième carrière qui est déjà ancienne et qui est connue sous le nom de « carrière de Cinq Sous » (531.250/167.000). De celle-ci viennent deux échantillons pisolithiques brun-rouge dont l'un est compact (Pl. I C) et l'autre présente des traces de lustrage dues aux mouvements tectoniques tardifs.

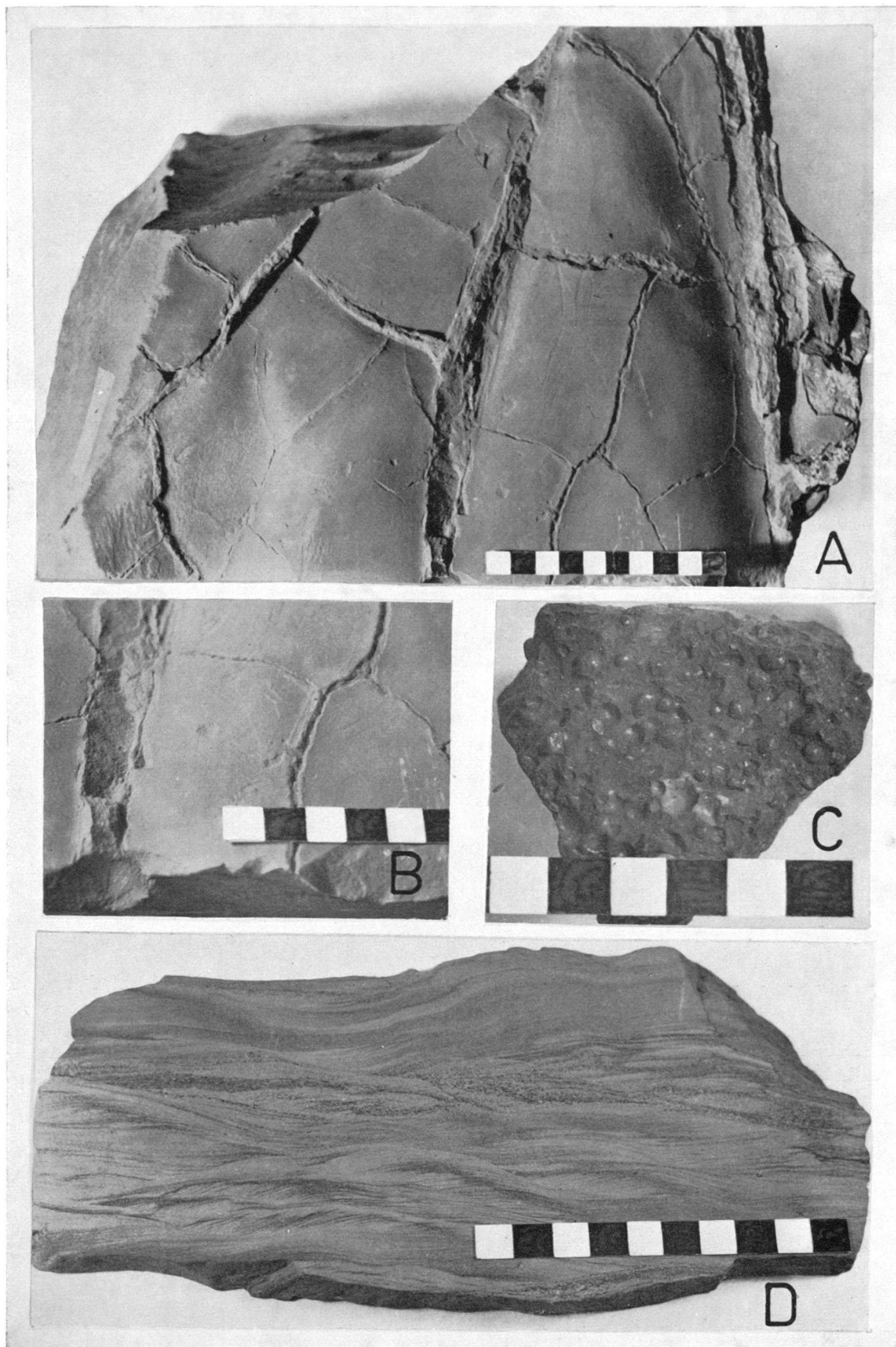
Enfin, pour avoir un panorama plus complet du Sidérolithique de cette région, trois échantillons ont été prélevés dans le gisement de

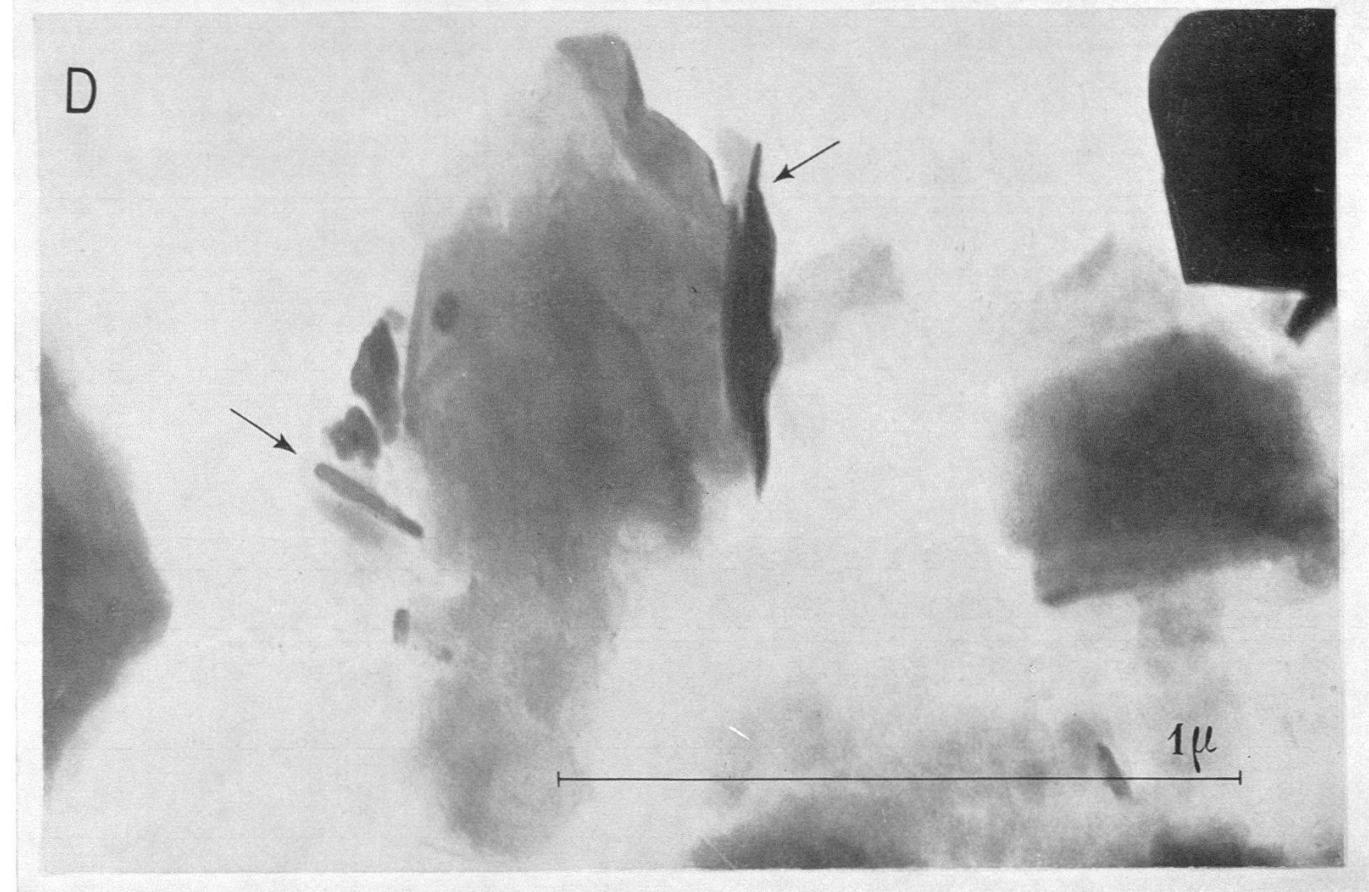
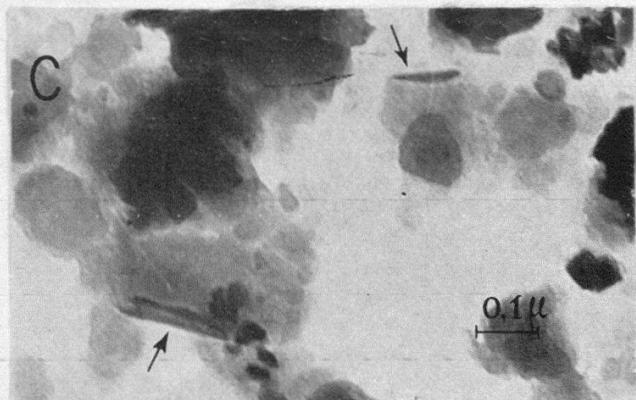
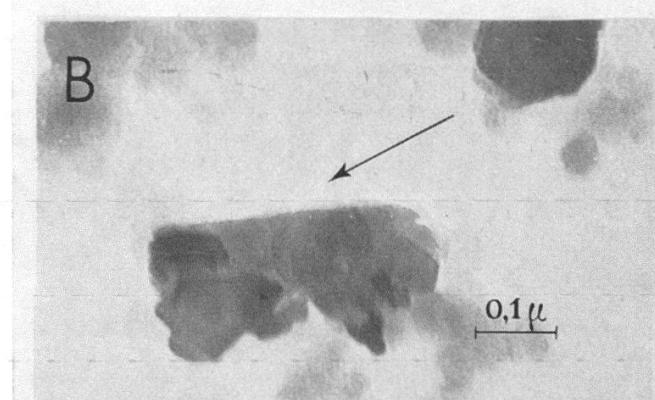
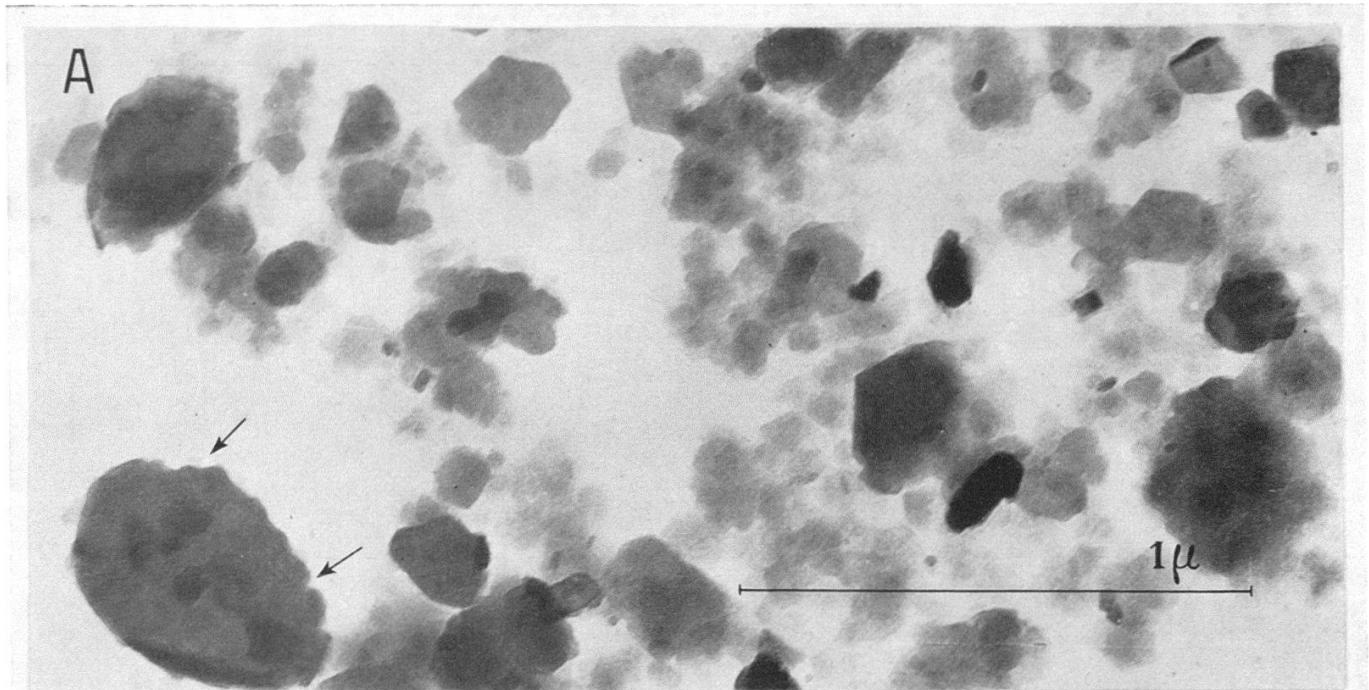
LÉGENDE DE LA PLANCHE I

- A Fentes de dessiccation produites dans des vases asséchées. Niveau intercalé dans les grès éoliens lenticulaires du sidérolithique du Mormont.
- B Détail montrant que ces fentes de dessiccation ont été remplies par un matériel plus grossier, un sable fin.
- C Exemple de bolus sidérolithique à pisolithes de fer remplissant les nombreux karsts de la région du Mormont.
- D Sables sidérolithiques bigarrés, à structure entre-croisée et d'origine éolienne. Ce sable forme une lentille de 30 m de longueur et 3 m de puissance. Dans celle-ci s'intercale la formation aquatique figurée en A.

Tous les échantillons figurés dans cette planche proviennent du Musée de géologie de l'Université de Lausanne et ont été récoltés par son conservateur, M. le professeur A. BERSIER, que je remercie très vivement de les avoir fort aimablement mis à ma disposition,

Echelle : un carré blanc ou noir représente un centimètre carré.





bolus stratifié du Talent. Ce gisement de Goumoens-le-Jux est aussi bien connu dans la littérature. Signalé par FLEURY (1909), il a fait l'objet de plusieurs notes et d'un travail plus important de SCHARDT (1923). Le bolus et les pisolithes remaniés par les eaux de ruissellement ont été accumulés dans des dépressions du substratum urgonien, puis ultérieurement recouverts par la formation molassique châtienne. Les affleurements dans le ravin du Talent sont intermittents, sans continuité, et de puissance très variable. L'épaisseur maximale relevée est de quelque 9 mètres. Dans cette coupe (534.900/169.800) le repos sur l'Urgonien est masqué, de même que le contact avec la couverture molassique. La plus grande partie de l'affleurement est représentée par un bolus pisolithique brun-rouge, alors que la partie sommitale est constituée par un bolus jaunâtre. Cette formation est stratifiée et la lithologie est bien soulignée par les pisolithes. Au milieu de cette coupe, on note la présence d'un niveau pisolithique caractéristique (bohnerz) de 0,30 m de puissance. La structure de ce niveau indique une mise en place de type torrentiel. C'est une série de lentilles qui se relaient en se chevauchant les unes les autres.

DÉTERMINATIONS MINÉRALOGIQUES

Nous distinguerons entre les minéraux des argiles qui sont notre principal centre d'intérêt, les oxydes de fer et les minéraux contaminants qui groupent tous les autres minéraux.

Les minéraux argileux

Le minéral argileux qui caractérise cette formation, qui se retrouve prédominant ou abondant dans tous les échantillons, est la *kaolinite*.

L'allure du pic à 4,43 Å et ses suivants immédiats suggère une

LÉGENDE DE LA PLANCHE II

Clichés du Centre de microscopie électronique
de l'Université de Lausanne

- A Vue générale d'une préparation. Indiqué par des flèches, un grand cristal en voie d'altération en petits hexagones.
- B Probablement un grand cristal altéré en plusieurs petits cristaux.
- C Cristaux en voie d'enroulement.
- D Au centre, un grand cristal en voie de desquamation avec enroulement des bords de feuillets (flèche centre, à droite). Un de ces enroulements s'est séparé de son feuillet (centre, à gauche). Un cristal semble n'avoir pas été touché par l'altération (coin supérieur, à droite), tous les autres cristaux sont en voie de desquamation.

cristallinité assez faible de kaolinite. De même, le diffractogramme indique une *kaolinite-Fe*, soit une kaolinite riche en fer.

Un minéral gonflant accompagne toujours la kaolinite. Dans la plupart des échantillons c'est une *montmorillonite* de mauvaise cristallinité. Parfois le diagnostic ne peut pas être affirmé et l'on a plutôt un minéral interstratifié de type banal très voisin d'une montmorillonite.

Ce qui caractérise cette montmorillonite, c'est le fait qu'elle est en proportions très variables d'un échantillon à l'autre. Souvent elle est en traces incertaines, alors que d'autres fois elle peut même devenir quantitativement équivalente à la kaolinite.

Dans six des neuf échantillons étudiés, l'*illite* est présente en traces. Dans deux, elle est absente et dans le dernier échantillon elle devient prédominante et est alors associée à la *chlorite* qui, à cette exception près, fait totalement défaut.

Je n'ai pas inclus dans ces résultats un échantillon particulier. C'est une argile récoltée dans une fissure d'érosion météorique de l'ancien front de taille de la carrière de la gare d'Eclépens, abandonnée depuis une vingtaine d'années environ. Cette argile a la composition minéralogique suivante :

Montmorillonite	40 %
Kaolinite	40 %
Illite	20 %

Les proportions sont estimées en fonction de l'aire des pics.

Les oxydes de fer

Généralement, c'est la goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$) qui donne au bolus sidérolithique du Mormont et du Talent leur coloration brun-rouge. Donc, l'oxyde de fer colorant est une forme hydratée ; cependant, cette goethite est parfois associée à l'hématite, et dans les échantillons de remplissage de diaclases et de fissures qui présentent des étirements dus à la tectonique on ne détermine que de l'hématite (Fe_2O_3).

Selon le *Manuel de minéralogie de Dana* (HURLBUT, 1956), la *limonite* ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n \text{H}_2\text{O}$) est une forme plus hydratée que la goethite, un minéral amorphe qui colore en jaune les argiles et les sols et qui, lorsqu'il est mélangé aux fines particules argileuses, donne les *ocres jaunes* naturelles. Ce minéral est communément associé à la goethite, à l'hématite et à d'autres minéraux qu'il n'est pas nécessaire de citer ici. Si l'on accepte cette définition, il est probable que l'hématite en traces trouvée dans le bolus jaune du sidérolithique stratifié du Talent est associée à la limonite qui est responsable de la coloration générale du sédiment.

Les autres minéraux

On détermine généralement l'association quartz-calcite avec prédominance de l'un ou de l'autre suivant les échantillons.

Notons cependant que les trois échantillons de bolus stratifié du Talent ne renferment que du quartz.

CONCLUSIONS

La kaolinite apparaît comme le minéral de faciès. Sa formation date probablement, pour la plus grande partie, de l'Eocène et est liée au climat continental.

L'illite qui se rencontre en traces dans presque tous les échantillons est probablement un reliquat de l'ancienne sédimentation argileuse.

La montmorillonite est un minéral de contamination. Elle provient essentiellement de l'altération actuelle des calcaires formant les parois des karsts. De ce fait, elle contamine d'une façon variable les bolus. J'ai déjà été amené à constater que l'altération quaternaire dans notre région avait pour effet la formation préférentielle de montmorillonite (VERNET, 1958). La présence de ce minéral dans les bolus du sidérolithique stratifié du Talent nous semble due à cette altération ou à une contamination par sa couverture de molasse chattienne riche en chlorite et en montmorillonite (VERNET, 1958).

ANALYSES THERMIQUE DIFFÉRENTIELLE ET THERMO-PONDÉRALE

L'appareil utilisé est celui de la Gips Union, à Bex. Il a l'avantage de pouvoir travailler à la fois en analyse thermique différentielle (ATD) et en thermogravimétrie (TG). Ses principales caractéristiques sont : montée de température de 10°C par minute, sensibilité de 2,5 mV, six pistes d'enregistrements, thermo-couples de chromel-alumel, bloc porte-objet en nickel et comme référence la poudre d'alumine calcinée.

Parmi les diagrammes d'ATD et de TG des différents échantillons, nous avons choisi une paire d'enregistrements identiques aux autres paires pour la reproduire dans la figure 1. Disons tout de suite que cet échantillon a été préalablement décarbonaté, mais que l'attaque acide n'a pas altéré le minéral argileux car une fraction non décarbonatée a donné les mêmes courbes, à l'exception, bien entendu, des fluctuations dues à la libération du CO₂ des carbonates. Une autre courbe enregistrée en même temps est celle d'un échantillon de référence, la kaolinite n° 3 de Birch Pit (Macon, Géorgie, USA), l'un des standards américains de l'API (Res. Prop. n° 49).

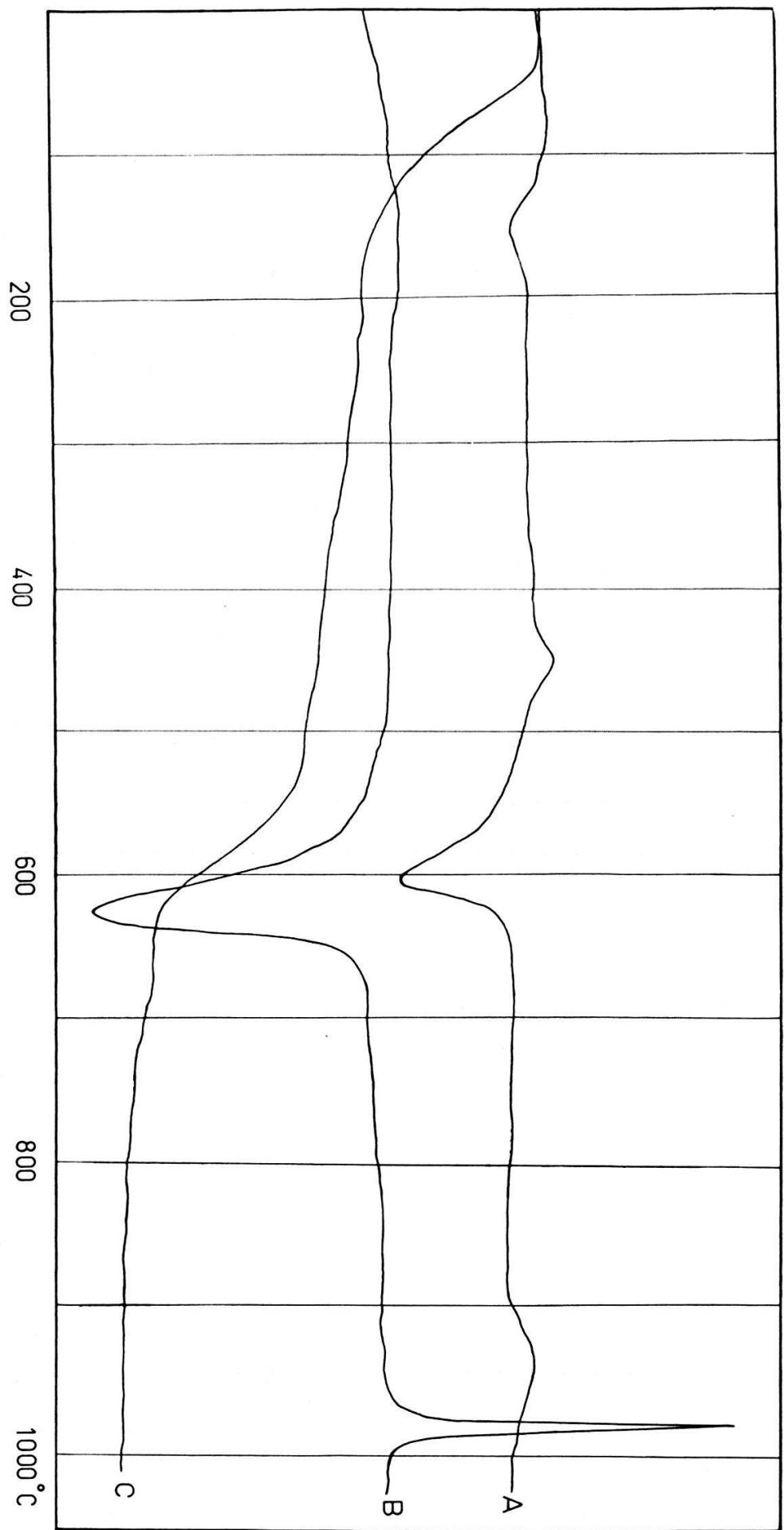


Fig. 1. — Diagrammes d'analyse thermique différentielle (ATD) et d'analyse thermo-pondérale (TG)

A : Argile sidérolithique du Mormont (ATD).

B : Kaolinite de Birch Pit (ATD), échantillon de référence.

C : Argile sidérolithique du Mormont (TG).

DESCRIPTION DES THERMOGRAMMES

Les observations que l'on peut faire sur les thermogrammes obtenus, et particulièrement sur ceux reproduits à la figure 1, sont les suivantes :

1^o Entre 80-200°C la courbe d'ATD de l'argile du Mormont (courbe A) présente un premier pic endothermique peu accusé. Ce pic correspond à la perte de l'eau adsorbée si l'on a affaire à un minéral du groupe de la kaolinite. C'est notre cas. Nous voyons immédiatement, grâce à la courbe de thermogravimétrie (courbe C), que cette déshydration débute vers 40-50°C pour s'achever vers 180°C. Cette perte est faible de l'ordre de 5,5 % du poids de l'argile anhydre à 1000°C (fig. 2).

La kaolinite de Birch Pit ne présente pas ce premier pic endothermique, ce qui est la règle pour une kaolinite normale (courbe B).

2^o A 450°C, un pic exothermique apparaît sur le thermogramme de l'argile sidérolithique. Il est dû à la présence de matières organiques qui achèvent leur destruction. Pour cette même raison, la courbe thermopondérale montre non pas un palier, mais une chute lente et continue qui correspond à une perte de poids d'au moins 2 % (courbe C et fig. 2).

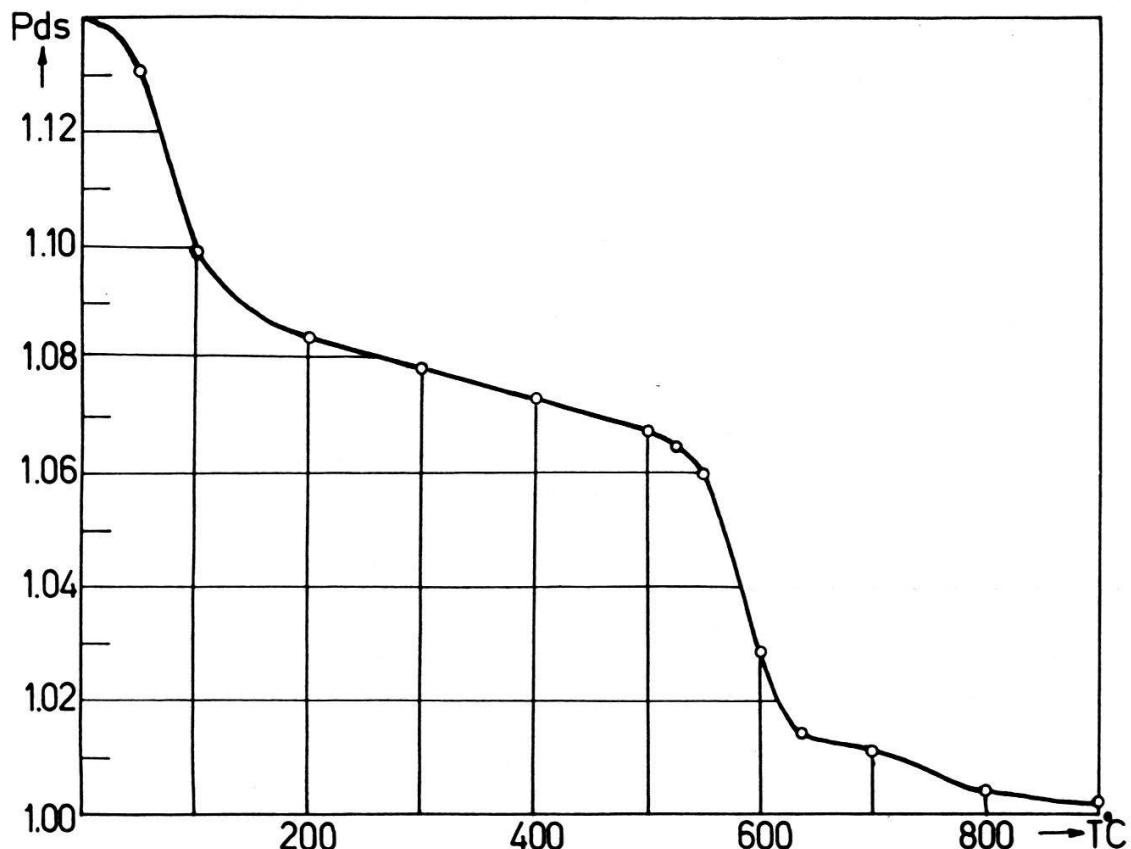


Fig. 2. — Courbe d'analyse thermo-pondérale de l'argile sidérolithique du Mormont

Le poids à 1000°C est pris comme base (100 %) pour l'établissement des pourcentages des chutes de poids dues aux dégagements gazeux.

3^o Aux environs de 550-650°C, la courbe d'ATD de l'argile du Mormont présente un deuxième et grand pic endothermique dont le maximum se trouve à 605°C (courbe A). La kaolinite de l'échantillon standard présente le même pic, mais son maximum est plus haut, soit à 625°C (courbe B).

Ce deuxième pic endothermique correspond à la perte de l'eau structurale, soit les groupes hydroxyles de la couche octaédrique d'alumine.

La thermogravimétrie indique une perte de poids de l'ordre de 5,5 % pour l'argile sidérolithique (fig. 2) et la courbe thermo-pondérale (courbe C, fig. 1) nous montre que cette perte s'achève vers 700°C. Une chute de poids très lente se poursuit cependant jusque vers 1000°C et correspond à un pourcentage inférieur à 1 %. Cela peut être dû à une dérive de l'appareil, ou plus probablement à des traces de carbonates restant après l'attaque chlorhydrique ménagée.

4^o Entre 900 et 1000°C apparaît le grand pic exothermique caractéristique de la kaolinite, à 987°C pour le standard (courbe B, fig. 1). L'argile du Mormont donne plutôt un dôme qu'un pic. Ce dôme très aplati débute aux environs de 900°C, culmine vers 950°C et disparaît à 990°C. Comme ce pic correspond à une réorganisation du réseau effondré de la kaolinite qui se transforme en mullite, la thermogravimétrie n'enregistre aucune perte de poids.

DÉTERMINATION EN FONCTION DES FACTEURS INFLUENÇANT L'ATD

L'un des premiers facteurs influençant les analyses thermiques différentielles est la *granulométrie*. VAN NIEUWENBURG et PIETERS (1929) suggèrent que si la composition granulométrique du minéral argileux révèle une large prédominance de fines particules, l'on peut s'attendre aux effets suivants :

- 1^o accroissement graduel du 1^{er} pic endothermique (50-200°C) ;
- 2^o diminution de taille du 2^e pic endothermique (500-650°C) ;
- 3^o réduction dans la taille du grand pic endothermique (950-988°C).

Si l'on compare la courbe A, soit celle du minéral que nous voulons déterminer, à la courbe B de la kaolinite du standard (voir fig. 1), on peut en conclure que notre minéral argileux du Mormont a une granulométrie plus fine que la kaolinite de Birch Pit. En effet, les trois effets susmentionnés sont nettement marqués,

Le deuxième facteur influençant l'allure des courbes d'ATD est celui de la *cristallinité* du minéral argileux. Dans le domaine des minéraux du groupe de la kaolinite, ce facteur recouvre partiellement l'effet

de la granulométrie puisque dans la plupart des « ball clays » et des argiles réfractaires (fire clays) la granulométrie décroissante est associée à un arrangement structural désordonné. GRIMSHAW et coll. (1945) ont montré aussi que des kaolinites de basse cristallinité provenant d'argiles réfractaires donnaient des pics à des températures de 20-30°C inférieures aux températures des pics obtenus à partir de kaolinites normales.

C'est exactement ce que l'on peut observer sur la figure 1. En effet, le 2^e pic endothermique de l'argile du Mormont (courbe A) culmine à 605°C, alors que celui de la kaolinite de référence (courbe B) se trouve à 625°C. Dans le cas du pic exothermique, on a respectivement 940°C et 987°C. Cet exemple est d'autant plus net que les thermogrammes de ces deux échantillons (courbes A et B) ont été obtenus simultanément et donc dans des conditions de montée de température absolument identiques. C'est là un grand avantage que seuls permettent les appareils d'enregistrements à plusieurs pistes.

L'influence des *substitutions isomorphiques*, des *ions adsorbés* et des *impuretés* constitue le troisième facteur.

Nous savons que la capacité d'échange de cations des minéraux du groupe de la kaolinite est très faible. Cependant, comme la majorité de ces cations est fixée sur les bords brisés des paillettes de kaolinite, la capacité d'échange croît fortement avec la diminution de la cristallinité, ce qui est le cas de l'alophane. ROBERTSON et coll. (1954) ont montré que des substitutions d'ions en nombre limité pouvaient se faire aussi bien dans la couche tétraédrique de silice que dans la couche octaédrique d'alumine. Elles seraient responsables, selon ces auteurs, de certaines différences observées entre les courbes d'ATD de kaolinite normale et celles de kaolinites désorganisées. En 1950, SAUNDERS et GIEDROYS ont noté que la présence de fer parmi les composants d'un minéral du groupe de la kaolinite abaisse la température du grand pic exothermique et peut, dans certains cas, le supprimer complètement.

C'est bien ce que nous observons avec l'argile du Mormont dont le pic exothermique a presque disparu, alors que la kaolinite du standard présente, dans les mêmes conditions, le pic caractéristique de la kaolinite normale.

CONCLUSIONS

Nous savons maintenant que l'argile du Mormont est bien une kaolinite et que les caractéristiques suivantes définissent ce minéral argileux :

- 1^o une granulométrie fine ;
- 2^o une basse cristallinité ;

3^o des substitutions isomorphiques d'ions, des ions adsorbés et des impuretés de fer probablement, ce qui est logique pour un bolus sidérolithique.

Ce sont là des caractéristiques d'argile réfractaire.

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE

Nous avons sélectionné quelques clichés typiques parmi les séries obtenues au microscope électronique. Les préparations sont faites par sédimentation sur membrane de formvar, sans ombrage.

Avant de donner nos résultats, relatons rapidement les expériences faites par M^{me} A. OBERLIN et M. C. TCHOURBAR (OBERLIN et TCHOURBAR, 1958). Ces auteurs ont imaginé de soumettre 20 g de kaolinite pure et de bonne cristallinité aux expériences suivantes :

- 1^o pendant 12 heures, l'argile est placée dans un appareil à circulation intermittente d'eau, en cycle fermé. Toutes les 30 secondes, l'échantillon est lessivé par 10 cc d'eau ;
- 2^o pendant 12 autres heures, l'argile est placée dans une étude à 80°C ;
- 3^o cette alternance de lessivages et de dessiccations dure plusieurs mois.

Cette expérience a été faite en utilisant d'abord de l'eau pure. On constate alors que la kaolinite s'altère selon les plans (001) jusqu'à une épaisseur de l'ordre de 30 Å. Lorsque la paillette est suffisamment fine, ses bords s'enroulent et la présence de tubes séparés peut alors faire croire à un mélange kaolinite-halloysite (voir fig. 3). Ainsi des kaolinites du Fezzan ont montré une grande abondance de tubes dans certains horizons des gisements.

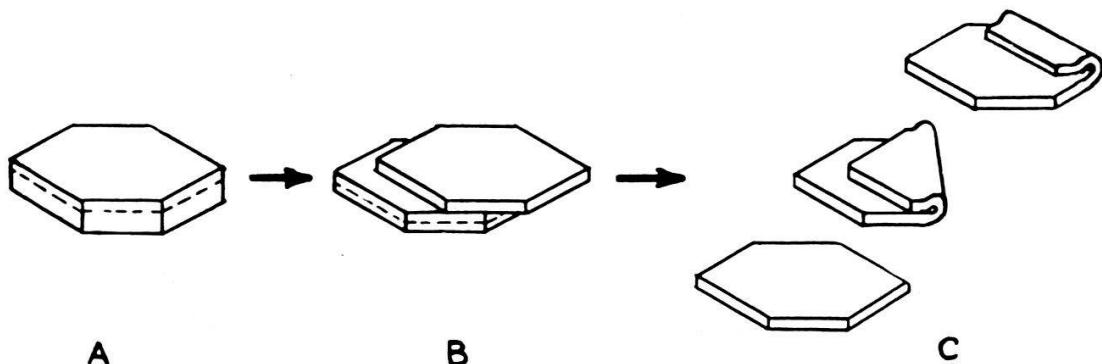


Fig. 3. — Schéma d'altération de la kaolinite par l'eau pure

Figure extraite d'un article de A. OBERLIN et C. TCHOURBAR, paru dans la revue *Silicates industriels*, publiée avec l'aimable autorisation des auteurs.

Une seconde expérience utilise de l'eau contenant du sulfate de magnésium. L'altération est fort différente, car elle ne touche pas seulement le clivage basal (001) qui est un clivage facile, mais elle s'attaque à trois clivages parallèles aux faces latérales. Ces clivages sont dits difficiles. Ils n'apparaissent que lorsque le clivage facile (001) est partiellement bloqué par fixation de magnésium (voir fig. 4). Cette altération est celle d'un milieu saumâtre ou marin, et elle correspond donc à une kaolinite à particules petites et mal formées.

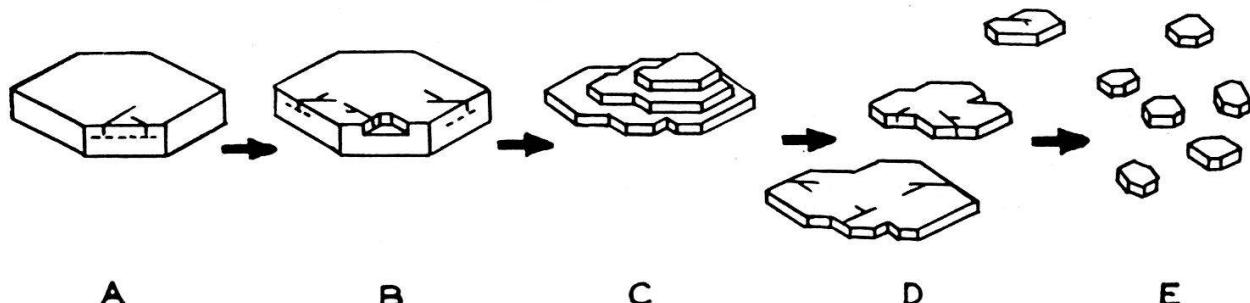


Fig. 4. — Schéma d'altération de la kaolinite par une eau magnésienne

Figure extraite d'un article de A. OBERLIN et C. TCHOURBAR, paru dans la revue *Silicates industriels*, publiée avec l'aimable autorisation des auteurs.

Comme on le voit, la morphoscopie des paillettes de kaolinite peut donner des indications très importantes sur le milieu de sédimentation ou sur le milieu actuel.

DESCRIPTION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

La planche II (page 317) groupe des clichés caractéristiques des différentes observations qu'il a été possible de faire sur les séries de clichés obtenus.

1^o La granulométrie montre la prépondérance de fractions très fines pour une kaolinite. Les plus grandes paillettes ne dépassent pas 1 micron (voir cliché A).

2^o Une altération due à la percolation des eaux a produit la désquamation et l'enroulement des bords de feuillets minces (voir cliché D). On voit, dans ce cliché D, un grand cristal (env. 1 micron) en voie de désquamation avec enroulement des bords de certains de ses feuillets et même un tube isolé provenant de la séparation d'un de ces enroulements du reste du feuillet. A côté de ce cristal, on observe des feuillets isolés et minces, dans le coin supérieur de droite du cliché D un cristal apparemment non altéré.

D'autres enroulements sont visibles dans le cliché C, ce sont ceux que l'on observe couramment dans les préparations d'argile du Mormont.

3^o Un autre type d'altération est présent et même plus important. C'est celui qui brise les paillettes en faisant jouer les clivages difficiles. Nous avons vu que son aboutissement est l'apparition de très petites paillettes pseudo-hexagonales qui naissent aux dépens de microcristaux de plus grandes tailles. Un très bel exemple de ce stade est reproduit par le cliché B. On voit encore la forme primitive qui était un cristal allongé, mais la possibilité d'un *artefact* existe. Par contre, si l'on observe le grand cristal du coin inférieur gauche du cliché A, on note les bords dentelés qui indiquent nettement que la paillette est en voie d'altération. On peut comparer avec intérêt ce cristal altéré avec celui non altéré du cliché D. D'autre part, sa transparence laisse nettement voir que l'on a déjà une sorte d'agglomérat de petits cristaux. Que l'altération se poursuive encore un peu et l'on n'aura plus de grand cristal, mais plusieurs dizaines de très fines paillettes pseudo-hexagonales pareilles à celles qui forment le fond de ce cliché A, donnant l'aspect global du sédiment.

CONCLUSIONS

Le minéral argileux qui constitue l'essentiel de ces argiles du Morimont est bien la kaolinite. Sa granulométrie est connue et seules les plus grandes paillettes atteignent le micron. Cependant, ces cristaux de relativement grande taille s'altèrent sous l'action de deux phénomènes :

1^o La percolation des eaux qui empruntent la cheminée du karst pour rejoindre la nappe phréatique désquame les cristaux de kaolinite produisant des enroulements et rapproche la kaolinite d'une métahalloysite.

2^o La dissolution des calcaires urgoniens crée un milieu basique relativement riche en magnésium comme l'indique d'ailleurs la présence de montmorillonite. L'action de ces eaux désagrège la kaolinite et diminue sa cristallinité.

Ces observations nous font connaître le milieu physico-chimique qui règne dans ces karsts.

FLUORESCENCE X

Une série d'analyses par fluorescence X a été faite à l'Institut de Minéralogie de l'Université de Genève, avec une installation Philips équipée d'un tube à anticathode de Mo. Les résultats sont avant tout qualitatifs. Cependant, on peut avoir une idée des concentrations et surtout des variations de teneurs des éléments d'un échantillon à l'autre en comparant les intensités des pics homologues K α_1 des divers éléments.

C'est ainsi qu'a été établi le tableau ci-dessous dont les chiffres n'ont qu'une valeur relative.

Région et roche	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb/As	Rb	Sr	Y	Zr
<i>Calcaire du Mormont</i>										
Calcaire urgonien, Carrière gare d'Eclépens	7	4	345	7	8	—	16	72	13	65
Arg. d'altération du calc. Carrière gare d'Eclépens	—	T	26	3	6	—	—	52	7	38
<i>Sidérolithique du Mormont</i>										
Sid. pis. rouge, Cinq sous	19	13	515	10	10	13	16	22	18	135
Sid. pis. rouge, Cinq sous	10	T	485	10	9	4	11	38	14	55
Sid. pis. rouge, cimenterie	9	6	417	10	8	8	27	163	26	107
Sid. pis. bigarré, cimenterie	8	6	455	8	10	8	16	217	22	117
Sid. pis. vert, cimenterie .	5	6	490	7	8	7	11	231	14	87
<i>Sidérolithique du Talent</i>										
Bolus pisolith. rouge . . .	29	10	603	10	8	17	23	51	27	135
Bolus pisolith. ocre jaune	33	10	555	15	12	15	29	50	47	205
Pisolithe de grande taille. .	15	10	685	5	4	35	—	7	8	36

En complément de ce tableau, disons que les essais de fluorescence X sur les échantillons de la cimenterie ont mis en évidence une teneur en potassium très faible, quasiment en traces, ce qui correspond bien à leur teneur d'illite « en traces ».

Nous pouvons aussi faire les remarques suivantes en étudiant le tableau susmentionné :

Les teneurs en Mn, Ni, Cu, Rb et Y sont relativement constantes dans tous les échantillons.

La cause de la coloration en vert plutôt qu'en rouge de certains échantillons de la cimenterie n'apparaît pas.

S'il n'y a pas de différences qualitatives entre les échantillons ou les groupes d'échantillons, il y a de nettes différences quantitatives. Ces différences sont telles qu'au vu d'une fluorescence X faite dans les mêmes conditions que les nôtres on peut rattacher l'échantillon qui l'a donnée aux calcaires du substratum, aux remplissages karstiques de bolus pisolithique ou au sidérolithique stratifié.

On observe aussi que la teneur en fer des calcaires urgoniens est très élevée et que leur altération actuelle tend à éliminer l'essentiel de ce fer.

Les échantillons du remplissage karstique ont des compositions très homogènes, à l'exception de la teneur en strontium. Or, nous

savons que le strontium est un des ions que la kaolinite fixe volontiers. Il est donc possible que ce soit simplement une variation dans la teneur en kaolinite qui est responsable de la variation de la teneur en Sr. En minéralogie des argiles, il existe une méthode permettant de déterminer le pourcentage de kaolinite d'un mélange de minéraux argileux en fournissant au dit mélange du Sr dont une partie se fixe dans la kaolinite. Il ne reste plus, après lavage, qu'à déterminer la teneur en strontium. C'est par un mécanisme semblable que nous nous expliquons les différences de teneurs en Sr.

En comparant les sidérolithiques karstique et stratifié, on note que les teneurs en Ti, Mn, Fe, Pb/As et Zr du second sont plus fortes. Ces différences sont nettes et l'on ne peut guère confondre l'analyse semi-quantitative d'un sédiment karstique avec celle d'un sédiment sidérolithique stratifié. Ces variations de teneurs sont dues soit à une concentration des éléments lors du remaniement qui a conduit à la sédimentation dans les dépressions du substratum de la région du Talent soit à un lessivage partiel des éléments après le remplissage des karsts.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

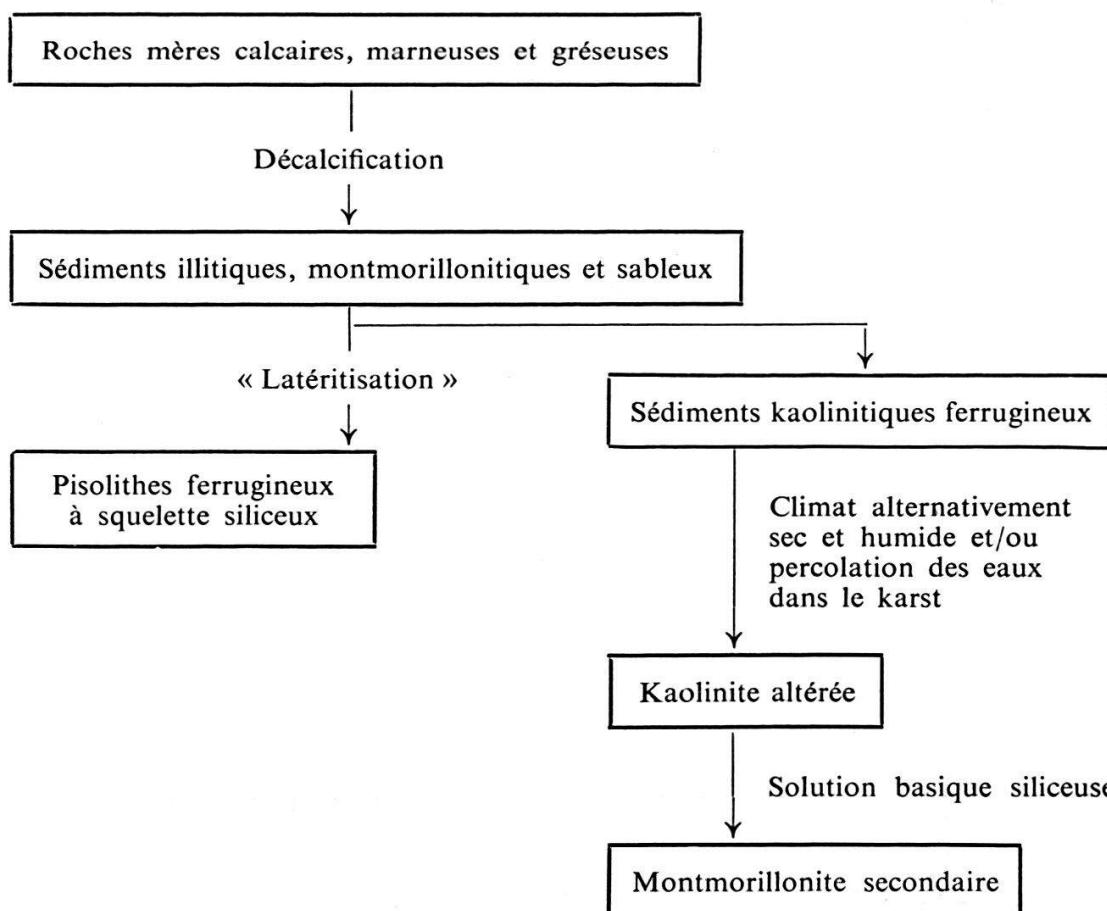
Nous avons vu en détail les principaux résultats obtenus par cette étude. A la fin de chaque chapitre, des conclusions résument les faits, mais maintenant nous allons franchir un nouveau pas et tenter de restituer, en nous basant sur ces faits, les conditions de sédimentation et de gisement. Bien entendu, nous touchons souvent au domaine de l'hypothèse.

La décalcification des calcaires et des grès pré-sidérolithiques a fourni des argiles essentiellement micacées, des illites avec probablement une certaine proportion de montmorillonite. La transformation de ces produits de décalcification en bolus sidérolithiques a produit les pisolithes et transformé les minéraux argileux en kaolinite. Cette néo-formation de kaolinite est typique d'un milieu continental ; elle s'est accompagnée d'une libération de silice provenant de la destruction d'une des couches tétraédriques de l'illite et de la montmorillonite. Du fait du mauvais drainage de cette formation, la silice et les oxydes de fer dissous n'ont pu être totalement lessivés. Le gel de silice s'est aggloméré en sphérolites qui, en se chargeant progressivement en oxydes métalliques, ont donné les fameux pisolithes de fer. C'est une hypothèse que nous émettons en nous basant sur la constatation faite par les auteurs de l'existence d'un squelette de silice dans ces pisolithes.

Ces altérations et paragenèses impliquent l'existence d'un milieu beaucoup plus humide qu'on ne le pensait jusqu'alors. De longues périodes humides pouvaient fort bien alterner avec des périodes plus

sèches ou même sub-désertiques, car le Sidérolithique a duré une trentaine de millions d'années.

Il est nécessaire de relever que le substratum urgonien actuel du Mormont n'est pas la roche mère de la formation sidérolithique, car ces sédiments sont allochtones et proviennent de la « latéritisation » de roches aussi diverses que les grès glauconieux de l'Aptien, les calcaires blancs, les calcaires oolithiques et les marno-calcaires du Barrémien. Les produits d'altération de ces formations se sont accumulés localement dans des karsts, des fissures ou des dépressions du substratum. Ils ont donc subi un certain transport, variable pour chaque gisement. L'envahissement du bassin à l'Oligocène par les sédiments molassiques a caché, remanié ou détruit une grande partie des gisements de sidérolithique et compliqué à souhait l'étude de leur relation avec leurs roches mères.



Les remplissages karstiques qui sont le sujet de cette étude montrent une évolution secondaire. Celle-ci conduit par phénomènes physico-chimiques à l'altération de la kaolinite, soit : d'une part la desquamation et l'enroulement des paillettes, et d'autre part, sous l'action de solutions chargées de sels solubles, principalement de solutions magnésiennes, les grands cristaux de kaolinite se sont clivés en petites

paillettes pseudo-hexagonales. Le magnésium est principalement fourni par l'altération de la roche encaissante. Les solutions dérivant de la destruction des calcaires urgoniens sont magnésiennes et basiques. La dissolution des grains de quartz de la formation sidérolithique a fourni la silice. C'est ainsi que la néo-formation secondaire de montmorillonite a été possible.

En résumé, on a le schéma de la page précédente.

La coloration de ces sédiments sidérolithiques est due à la goethite et à l'hématite pour les formations rouge-brun et pour les niveaux jaune-ocre, probablement à la limonite.

Remerciements

Nous remercions de leur appui tout particulièrement le Fonds national suisse de la recherche scientifique, MM. R. E. Grim et W. Bradley, de l'Université d'Illinois (USA), M^{me} A. Oberlin, du Laboratoire de Minéralogie et Cristallographie de la Sorbonne, MM. A. Gautier et C. Verdan, du Centre de Microscopie électronique de l'Université de Lausanne, M. R. Pièce, de la Gips Union à Bex, M. G. de Beaumont, du Museum d'Histoire naturelle de Genève, MM. A. Buchs et M. Delaloye, de l'Institut de Minéralogie de l'Université de Genève.

Communication présentée à la séance de la SVSN du 27 février 1963

*Laboratoire des argiles, Institut de Minéralogie et Pétrographie,
Université de Lausanne*

BIBLIOGRAPHIE

- BADOUX, H. et DE WEISSE, G. 1959. — Les bauxites siliceuses de Dréveneuse. *Bull. soc. vaud. sc. nat.*, 67, 169-177.
- BERSIER, A. et BADOUX, H. 1937. — Une formation éolienne subdésertique dans le Sidérolithique du Mormont (Vaud). *Eclog. geol. Helv.*, 30, 231-234.
- FLEURY, E. 1909. — Le Sidérolithique suisse. *Mém. soc. fribourgeoise sc. nat.*, VI, 1-260.
- GRIMSHAW, R. W., HEATON, E. et ROBERTS, A. L. 1945. — Constitution of refractory clays, II, *Trans. Brit. Ceram. soc.*, 44, 76-92.
- HOFFSTETTER, R. 1962. — Additions à la faune reptilienne de l'Eocène supérieur du Mormont-Saint-Loup (Suisse). *Bull. soc. géol. France*, 7^e série, 4, 109-117.
- HOFMANN, F. 1960. — Sedimente einer ariden Klimaperiode zwischen Sidérolithikum und Molasse in Lohn, Kanton Schaffhausen und am Rheinfall. *Eclog. geol. Helv.*, 53, 27-32.

- HURLBUT C. S. 1956. — Dana's manual of mineralogy. J. Wiley éd., New York.
- KULBICKI G. 1957. — Constitution et genèse des sédiments argileux sidérolithiques et lacustres du Nord et du Nord-Est de l'Aquitainien. *Sc. de la Terre*, Nancy, IV, 1-101.
- NIEUWENBURG VAN, C. J. et PIETERS, H. A. J. 1929. — Rehydratation of metakaolin and synthesis of kaolin. *Ber. deutsch. Keram. Gesellsch.*, 10, 260-263.
- OBERLIN, A. et TCHOUBAR, C. 1958. — Etude en microscopie et diffraction électro-niques de l'altération de la kaolinite par l'eau. Influence des sels dissous, *Silicates Ind.*, 1-6.
- ROBERTSON, R. H. S., BRINDLEY, G. W. et MACKENZIE, R. C. 1954. — Mineralogy of kaolin clays from Pugu, Tanganyika, *Amer. Min.*, 39, 118-139.
- SAUNDERS, H. L. et GIEDROYC, V. 1950. — Controlled atmosphere d.t.a. *Trans. Brit. Ceram. soc.*, 49, 365-374.
- SCHARDT, H. 1880. — Notice géologique sur la molasse rouge et le terrain sidérolithique du pied du Jura. *Bull. soc. vaud. sc. nat.*, XVI, 609-640.
- 1923. — Terrain sidérolithique de Goumoens-le-Jux. *Mat. géol. suisse, sér. géotech.*, XIII, 127-137.
- VERNET, J.-P. 1958. — Etudes sédimentologiques et pétrographiques des formations tertiaires et quaternaires de la partie occidentale du Plateau suisse. *Eclog. geol. Helv.*, 51/3, 115-1152.
- 1962. — L'halloysite bleue du Mont Vuache (Savoie). *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 254 2377-2379.
- 1962. — Hypothèse sur la genèse de certains minéraux du groupe de la kaolinite dans une poche de sables sidérolithiques du Mont Vuache (Savoie). A paraître au *Bull. gr. fr. des Argiles*. 14.

Manuscrit reçu le 19 juin 1963.