

Microscopie et minéralogie des indurations

Didier DUBROEUCQ

*Pédologue Orstom, Instituto de Ecología A.C., apartado postal 63,
91000 Xalapa, Veracruz. Mexique.*

RÉSUMÉ

Dans la région de Xalapa (Veracruz), les tepetates prennent naissance dans les épaisses couvertures argileuses provenant de l'altération ferrallitique des mesetas de basaltes andésitiques. Les profils présentent deux ou trois horizons prismatiques superposés séparés par des horizons laminaires indurés. L'ensemble atteint trois à quatre mètres d'épaisseur jusqu'à la roche-mère altérée. Dans les horizons laminaires s'observent d'épais revêtements avec des degrés différents d'induration. Par leur microstructure ils diffèrent des argilanes et montrent, en lumière polarisée, un réseau polygonal de bandes plasmiques entrecroisées. Dans ces revêtements les diffractogrammes RX confirment la prédominance de l'hallowysite et de la cristobalite et les micro-analyses indiquent un contenu supérieur en silice à celui du matériau argileux primaire. Dans les horizons inférieurs du sol apparaissent des pseudomycéliums blancs qui sont les formes initiales de l'accumulation de la silice. Ainsi cet élément est mobile dans l'ensemble du sol, mais il s'accumule de manière stable dans les revêtements laminaires qui sont une combinaison de silice et d'hallowysite non différenciables optiquement.

MOTS CLÉS : *Tepetates – Duripan – Silicification – Mexique.*

ABSTRACT

MICROSTRUCTURE AND MINERAL COMPOSITION OF TEPETATES INDURATIONS

In the region of Xalapa (Ver.), Tepetates are developed in thick clayey mantles originated from a ferralitic alteration of andesite-basalt mesas. Profiles display two or three superimposed prismatic horizons separated by hard laminar horizons. The whole profiles are three to four meters deep and reach the weathered parent rock. In the laminar horizons thick coatings with different grades of hardening are observed. Their microstructure is quite different from argilans: in crossed polarized light a polygonal pattern of cross banded bire-

fringent plasma is observed. XR diffraction diagrams confirm that such coatings are essentially composed of halloysite and cristobalite, and microprobe indicates a higher content of silicon than in the parent clayey material. In the subsoil white pseudomyceliums are clearly visible and show incipient silica deposits. Therefore, silica movability exists in the whole soil but secondary silica remains stable and permanent in the laminar coatings which are composed of silica and halloysite, combined but not optically differentiable.

KEY WORDS : *Tepetates – Duripan – Silica – Mexico.*

RESUMEN

ASPECTOS MICROSCOPICOS Y MINERALOGICOS DE LOS ENDURECIMIENTOS

En la región de Xalapa (Ver.), los tepetates se originan en las espesas cubiertas arcillosas provenientes de la alteración ferralítica de mesetas de basaltos andesíticos. Los perfiles presentan dos o tres horizontes prismáticos sobrepuestos separados por horizontes laminares endurecidos y alcanzan 3 a 4 m de espesor hasta la roca meteorizada. En los horizontes laminares se observan espesos revestimientos con varios grados de endurecimiento. Por su micro-estructura, difieren de los argilanes y presentan en luz polarizada una red poligonal de bandas plásmicas entrecruzadas. En estos revestimientos, los difractogramas de RX confirman la presencia de haloisita y de cristobalita y los microanálisis indican un contenido mayor en sílice que en el material arcilloso parental. En los horizontes inferiores del suelo aparecen seudomicelios blancos que son formas incipientes de acumulación de la sílice. Asimismo, la movilización de la sílice existe en todo el suelo, pero se manifiesta de modo estable en los revestimientos laminares que son una combinación de ópalo-cristobalita y de haloisita no diferenciables ópticamente.

PALABRAS CLAVES : *Tepetates – Duripanes – Sílicificaciones – México.*

INTRODUCTION

Les tepetates se forment dans un milieu riche en silice

Dans la région de Xalapa, l'analyse des eaux circulant dans les tepetates confirme que ce type de sol se forme dans un milieu géochimique à excès de silice (CAMPOS et DUBROEUCQ, 1990). Ce résultat coïncide avec les analyses chimiques de sols similaires réalisées dans la région de Tlaxcala (WERNER, 1986), lesquelles indiquent la présence de silice amorphe dans les horizons fortement compacts et la probable liaison d'acide silicique avec les argiles dans les ciments du sol induré.

Néanmoins, lorsqu'on observe les tepetates de la région de Xalapa, ce sont les particularités morphologiques du sol qui retiennent d'abord l'attention : il apparaît plusieurs couches de structures prismatiques grossières et blanchies, séparées par des horizons laminares sub-horizontaux et durcis. Dans les structures prismatiques se manifeste un appauvrissement en argile (CAMPOS et DUBROEUCQ, 1990) donnant au matériau une couleur plus

blanche et une texture sablo-limoneuse, tandis que dans les horizons laminares apparaissent des accumulations plasmiques sous forme de taches argileuses grises et allongées horizontalement qui s'indurent en lamines.

Le présent article se propose de préciser sous quelle forme se dépose la silice dans les sols de Xalapa appelés "tepetates" et d'expliquer, en particulier, quelle est la minéralogie et la constitution des revêtements dans les horizons laminares. De cette manière se trouvent définis certains caractères qui permettent d'identifier clairement les revêtements laminares des tepetates et ne pas les confondre avec d'autres, plus fréquents, liés au simple dépôt des argiles dans les sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude et échantillonnage

Les sols à tepetate ont été étudiés au nord-est de Xalapa, dans la zone dite du Sumidero, au moyen d'une coupe de 100 m de long et d'une séquence

de cinq puits creusés jusqu'à la roche altérée. Le sol atteint 4 m de profondeur et la roche est une lave andésitique du Pléistocène inférieur, datée de 1,7 M.A., formant des planètes très disséquées inclinées vers l'est et profondément altérées (GEISSERT et DUBROEUQ, 1990). Une couverture mince de cendres, mise en place entre le début et la fin de l'incision du paysage, subsiste par endroit. Un profil moyen (fig. 1) comporte 3 horizons prismatiques séparés par 3 horizons laminaires. La couche prismatique supérieure est la plus blanchie et présente des formes arrondies en colonnes avec d'épaisses coiffes limoneuses. L'horizon inférieur est argileux, polyédrique et de couleur brun-rouge. En-dessous de 4 m de profondeur apparaît graduellement l'andésite altérée en boules.

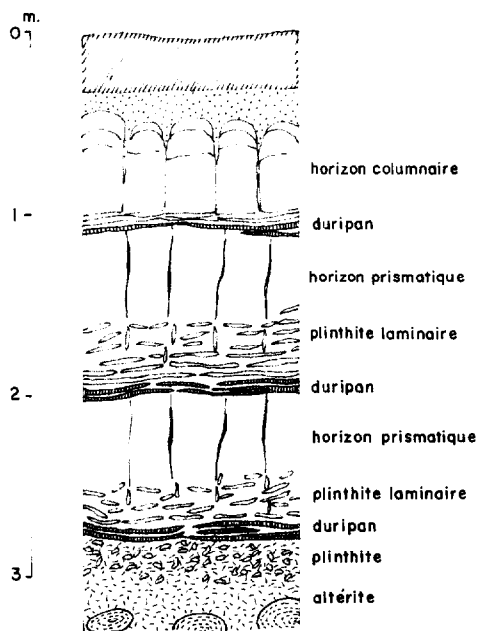


FIG. 1. – Coupe schématique d'un sol à tepetate.
General aspect of a tepetate soil profile.

Des échantillons non perturbés orientés puis imprégnés ont été prélevés dans les 3 puits amont de la séquence et dans 5 profils de la coupe, en particulier dans les différents horizons laminaires et prismatiques. Des échantillons perturbés ont été prélevés dans le matériau d'altération brun-rouge et dans les revêtements laminaires d'argile grise. Les matériaux indurés ont été prélevés sélectivement et broyés pour l'analyse DRX.

Observations en microscopie

Au moyen de lames minces de sol orientées non couvertes, les structures des différents horizons ont été d'abord analysées en microscopie optique. Les revêtements laminaires ont été ensuite plus particulièrement étudiés en microscopie électronique à balayage, ainsi que les pseudomycéliums siliceux. Ces derniers ont été observés également à partir de fragments non imprégnés. Les observations ont porté sur des échantillons à la fois des fosses et des profils de la coupe.

Analyses minéralogiques

Elles ont été réalisées dans les laboratoires de l'Orstom à Bondy, France. Les analyses par diffractométrie RX ont porté sur des échantillons de sol total ainsi que sur la fraction inférieure à 2 microns avec un diffractomètre Siemens D 500 à anticatode de Cu. Les micro-analyses quantitatives ont été réalisées sur lames minces non couvertes et sur fragments à l'aide d'une microsonde électronique EDS Link.

RÉSULTATS

La constitution du sol

La partie supérieure du sol, au-dessus de 1,20 m de profondeur, se compose d'un horizon meuble faiblement organique et d'un horizon columnaire blanchi et très massif (fig. 1). Ces deux horizons apparaissent formés dans un même matériau volcanique peu altéré, avec d'abondants fragments de verres perforés de bulles (fig. 2), des feldspaths sodi-potassiques (sanidine) et des plagioclases calciques (anorthite). Sa composition est globalement rhyolitique. Il s'agit d'une cendre récente avec une teneur importante en silice ($\text{SiO}_2 = 70,9\%$), déposée probablement lors de coulées qui ont emprunté la vallée de La Concepción, voisine du site.

Dans les horizons prismatiques, en dessous de 1,20 m de profondeur, on observe par contre un matériau très évolué, dense, à plasma abondant d'hallöysite et nodules d'oxydes. Les nombreux vides fermés et vacuoles qui s'observent dans les prismes indiquent que ces structures sont le point de départ d'une importante perte de matière. L'allongement des vides ainsi que le sens de l'éluviation partielle du plasma fin sont dirigés du haut vers le bas (fig. 3).

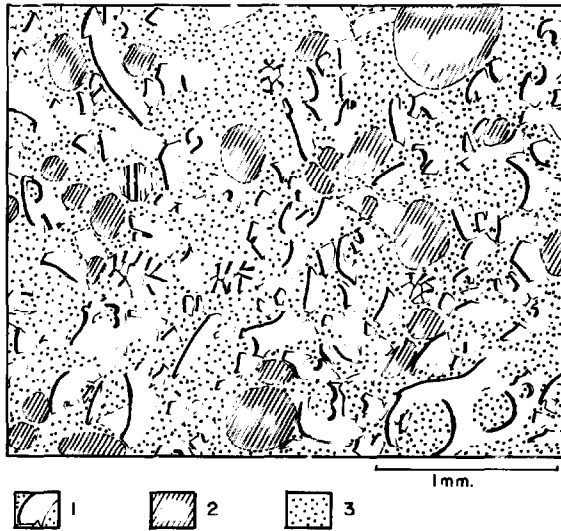


Fig. 2. – Microstructure du matériau de la partie supérieure du sol. 1= verres volcaniques ; 2= nodules ; 3= plasma limoneux.
Soil microstructure in the upper layer. 1= volcanic glass shards; 2= nodules; 3= silty loam plasma.

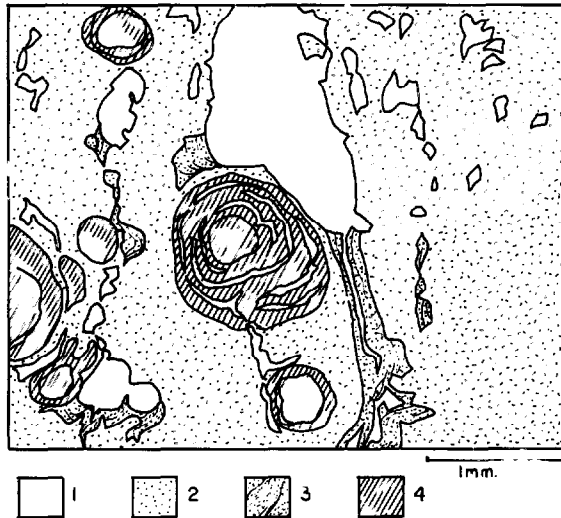


FIG. 3. – Microstructure du matériau de la partie prismatique du sol. 1= vides ; 2= plasma argileux ; 3= argillans ; 4= nodules.
Soil microstructure in the prismatic layer. 1= voids; 2= clay plasma; 3= argillans; 4= nodules.

Dans les horizons laminaires sous-jacents aux structures prismatiques, on observe un réseau horizontal de taches grises allongées dans le sens de circulation des eaux du sol. Ces taches sont en fait d'épais revêtements de plasma fin. Elles mettent en évidence à ce niveau une accumulation de

matière. Les revêtements s'amincissent et se durcissent vers la base des horizons et finissent par former des lamines indurées (duripan) en contact direct avec le sommet des prismes de l'horizon sous-jacent (fig. 1).

Des accumulations d'argile et de silice

Les bandes grises des horizons laminaires offrent, en microscopie optique, l'aspect général d'un revêtement argileux. Mais on n'observe pas de structure stratifiée conforme aux bords des cavités comme dans les argillanes. Le matériau est homogène, entrecoupé de fissures fines (fig. 4). Sous un plus fort grossissement apparaissent en lumière polarisée des bandes plasmiques entrecroisées en réseau orthogonal laissant entre elles des plages non biréfringentes (fig. 5, photo 1).

Les diagrammes de RX indiquent que les revêtements se composent d'halloysite et de cristobalite avec un peu de quartz. Les pics de la cristobalite sont plus fins et plus hauts dans les revêtements indurés que dans ceux qui restent encore plastiques (fig. 6). Il n'apparaît pas, dans les revêtements non indurés, de minéraux siliceux mal cristallisés comme l'opale-A ou l'opale-CT, peut-être par la présence du quartz qui masque le pic secondaire à 0,429 nm de l'opale-CT (L.R. DREES *et al.*, 1989).

Les analyses par microsonde indiquent que les revêtements sont composés principalement de silice, d'aluminium en moindre quantité, de fer et de titane en très faibles quantités. Les rapports atomiques Si/Al varient entre 1,25 et 1,6 selon le degré de durcissement des revêtements, tandis que la matrice halloysitique extérieure présente des rapports de 0,9 à 1. La micro-analyse d'un revêtement silico-argileux, dans un horizon laminaire à 2,50 m de profondeur, a donné la composition suivante: $Al_2O_3=37,82\%$, $SiO_2=55,79\%$, $FeO=3,47\%$, $TiO_2=1,26\%$, rapport Si/Al=1,26. Les autres éléments présentent des valeurs inférieures à 0,5%.

En microscopie à balayage les revêtements montrent une surface d'aspect particulièrement lisse et uniforme qui les apparente plus à un matériau amorphe qu'à un matériau cristallin. On observe également que les bandes de plasma s'organisent autour d'un réseau de micro-fissures qui traversent les revêtements.

Dans l'horizon d'altération s'observent des pseudomycéliums blancs localisés dans les pores entre les agrégats et le long des passages de

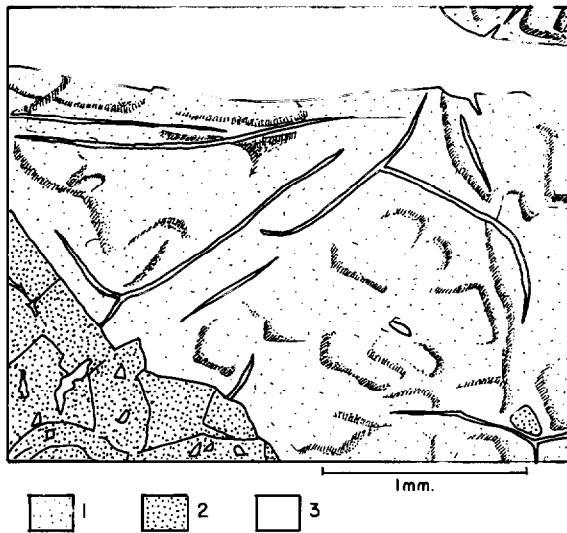


FIG. 4. – Microstructure des revêtements laminaires.
 1= plasma argileux lisse ;
 2= matrice argileuse ; 3 = vides.
Soil microstructure in the laminar coatings.
 1= smooth clay plasma; 2= clay matrix; 3= voids.

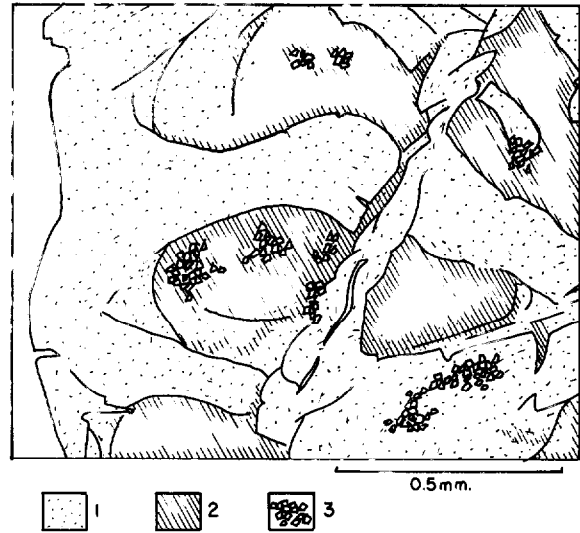


FIG. 5. – Détail d'un revêtement en lumière polarisée.
 1= bandes plasmiques biréfringentes ;
 2= zones obscures non biréfringentes ;
 3= micro-cristaux secondaires de calcite.
Laminar coating aspect under polarized light.
 1= birefringent banded plasma; 2= dark non-birefringent zones; 3= secondary calcite microcrystals.

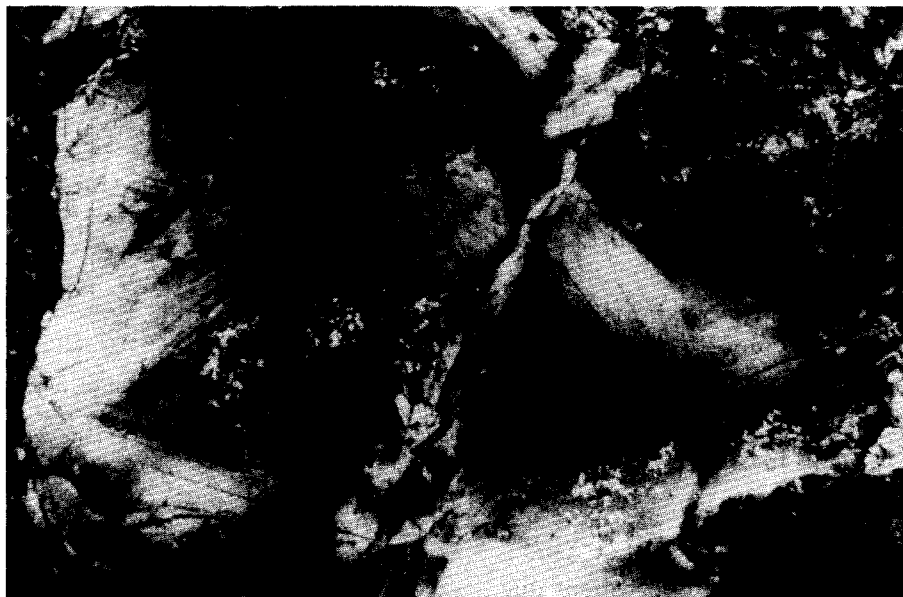


PHOTO 1
 Microphoto en lumière polarisée du revêtement correspondant à la figure 5.
Polarized light microscope image of the laminar coating corresponding to figure 5.

racines. Ces pseudomycéliums sont principalement constitués de silice (fig. 7). Leur structure, mise en évidence par la microscopie à balayage, apparaît

en longs fils constitués de plusieurs brins, chacun formé d'un empilement de sphérules aplaties, comme une colonne de vertèbres (photo 2).

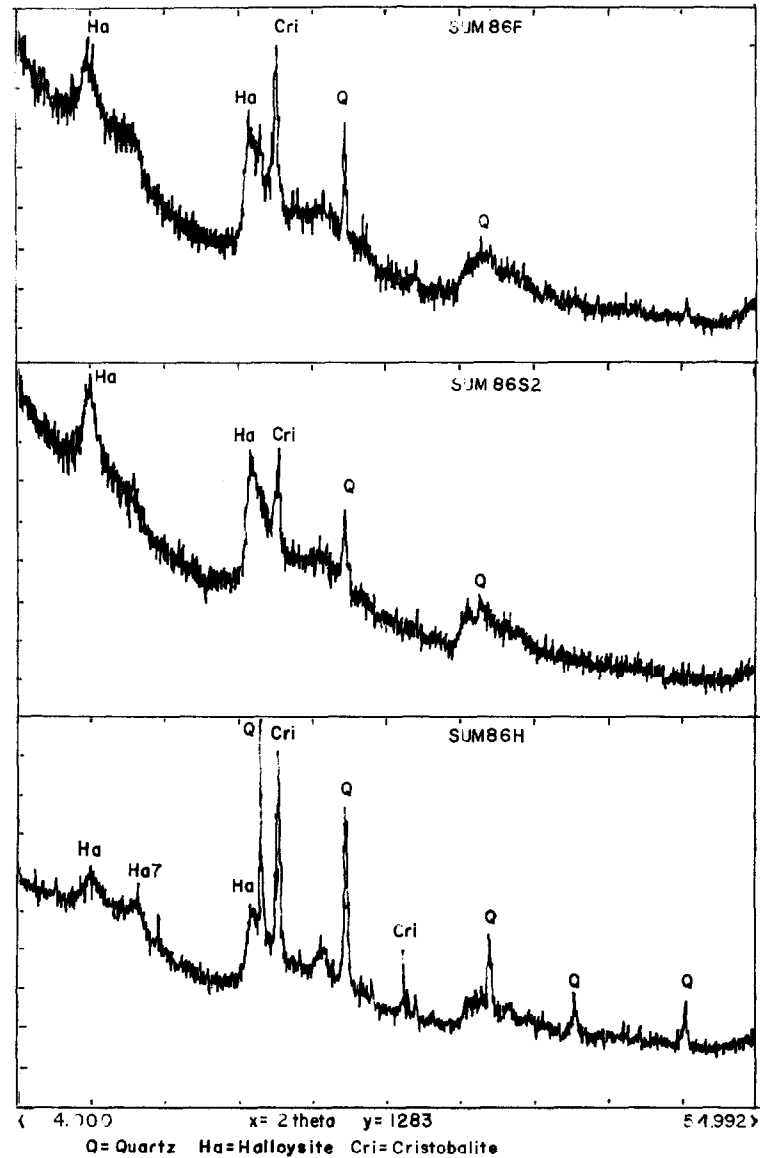


Fig. 6. — Diagrammes de diffraction RX de revêtements très plastiques (haut), compacts (centre), très durs (bas). Les pics de la cristobalite et du quartz s'intensifient dans le diagramme du bas.
X ray diffraction diagrams in very soft (up), compact (middle) and very hard (down) laminar coatings. Cristobalite and quartz peaks are more intense in the lower diagram.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les observations précédentes confirment que argile et silice s'accumulent dans les horizons laminaires des tepetates, tandis que les structures prismatiques sont le site d'une destruction de plasma fin et une concentration relative de limons et de sables. Les pseudomycéliums de l'horizon d'altération constituent également une forme initiale d'accumulation de silice. Ces traits pédolo-

giques mettent en évidence la mobilité de la silice dans ce type de sol et son dépôt à divers niveaux, y compris dans les horizons profonds.

Un certain nombre de caractères spécifiques permettent de différencier les revêtements silico-argileux : une structure homogène sans litage, une faible biréfringence, un réseau orthogonal de bandes plasmiques entrecroisées organisées autour de micro-fissures, une surface parfaitement lisse en microscopie à balayage, une teneur globale en

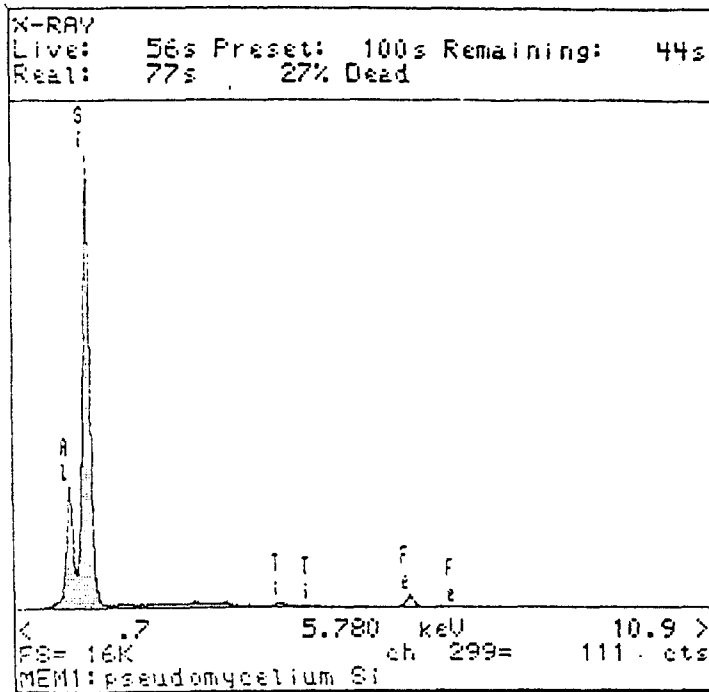


FIG. 7. – Diagramme de micro-analyse d'un pseudomycélium.
Microprobe analysis diagram in a silica pseudomycelium

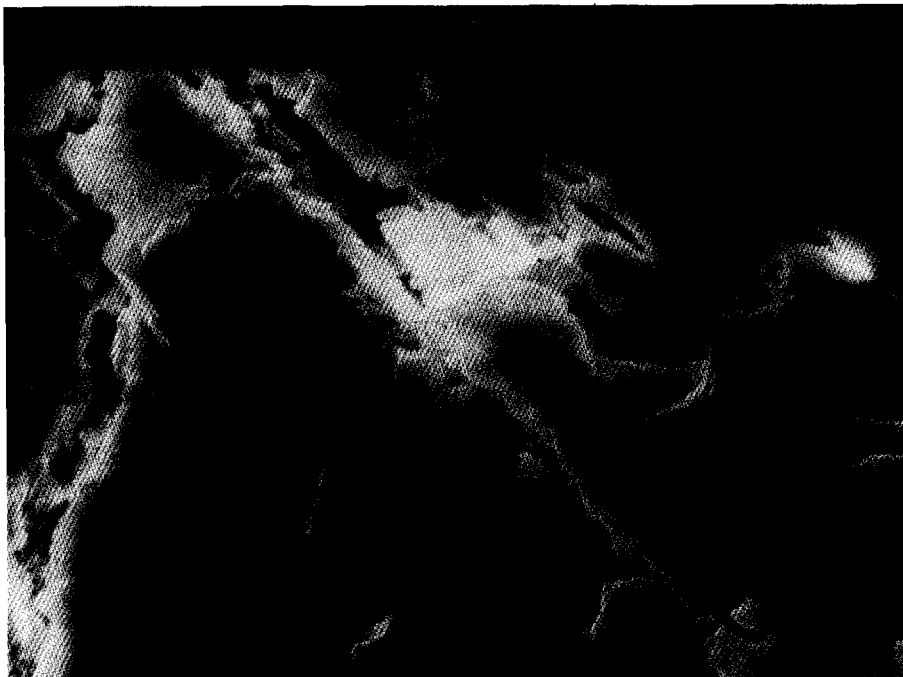


PHOTO 2

Image d'un pseudomycélium en microscopie électronique à balayage. On observe les filaments siliceux composés de sphérules empilées, enveloppées dans un matériau amorphe.
Scan electron microscope image of a silica pseudomycelium. Silica filaments composed of stacked spherules and coated by amorphous material are observed.

silice supérieure à celle de l'argile. Mais optiquement on ne peut séparer l'halloysite de la silice. Les deux minéraux sont liés et finissent par constituer des accumulations stables sous forme de revêtements. Ceux-ci, par leur morphologie, sont nettement différents des argilanes et leur distribution en lames orientées latéralement jusqu'à une profondeur importante dans les profils suggère que la circulation des eaux internes du sol joue un rôle prépondérant dans leur formation.

Ces divers aspects morphologiques montrent une convergence de faciès entre les tepetates de Xalapa et plusieurs formations silicifiées fossiles d'origine

pédologique décrites dans des altérites sur d'autres matériaux, tant en France (THIRY *et al.*, 1983; THIRY et MILLOT, 1987) qu'en Australie (THIRY et MILNES, 1991; MILNES *et al.*, 1991). Les similitudes avec les formes fossiles sont particulièrement frappantes en ce qui concerne les structures columnaires et les structures laminaires. Mais leur importance tient au fait qu'il s'agit ici de formations relativement récentes. Ainsi les tepetates de la région de Xalapa ne pourraient plus être considérés comme un phénomène isolé et spécifique d'une zone volcanique, mais comme une étape vers l'édification actuelle de silicifications d'origine pédologique.