

# Etude géobactériochimique de minéralisations aurifères et polymétalliques du Mexique

Alain MELCHIOR <sup>(1)</sup>  
José CARDENAS <sup>(2)</sup>  
Léon DEJONGHE <sup>(1)(3)</sup>

*Geobacteriochemical study of gold and base metals mineralization in Mexico*

Chron. rech. min., n° 517, 1994, pp. 3-21, 11 fig., 5 tabl.

Mots-clés : Or, Métaux de base, Géochimie sols, Géochimie roches, Microbiologie, Bacillus cereus, Mexique.

Key words: Gold, Base metals, Soil geochemistry, Rock geochemistry, Microbiology, Bacillus cereus, Mexico.

## Résumé

Cinq sites minéralisés mexicains ont fait l'objet d'une étude géochimique et géomicrobiologique en vue de tester une nouvelle technique d'exploration minière. Des sols ainsi que des roches ont été récoltés le long de profils recoupant des minéralisations situées dans des contextes climatiques et géologiques distincts. Les échantillons ont été analysés pour leur contenu en Bacillus cereus et leur teneur en Au, Fe, Mn, As, Cd, Ba, Zn, Cu, Ni, Pb, Sb, Ti, Mo, Cr, V et Co. L'analyse en composantes principales et la cartographie des données ont permis d'identifier les principales unités lithologiques ainsi que les associations chimiques caractéristiques des minéralisations.

L'étude montre que l'analyse bactériologique de la fraction fine de l'horizon A permet de circonscrire les secteurs minéralisés au sein des sites étudiés. En effet, les sols semblent présenter une densité de Bacillus sporulé en relation avec le degré de minéralisation de l'horizon A, malgré un décalage généralement plurimétrique entre anomalies bactériennes et métallifères. Plusieurs hypothèses sont proposées pour interpréter le fréquent décalage entre

"horizon A hautement minéralisé et les wls enrichis en micro-organismes.

La faible reproductibilité des résultats bactériologiques dans le temps est sans doute liée à la présence d'une autre bactérie sporulante dont les critères d'identification des colonies sont quasi identiques à ceux de B. cereus. Des données antérieures ont montré que le nombre de certaines bactéries similaires à B. cereus et très résistantes à la pénicilline décroît rapidement avec le temps. Vos observations suggèrent que la présence d'organismes semblables pourrait expliquer la diminution des colonies sporulées dans les échantillons de plusieurs sites mexicains.

A côté de son faible coût et de sa relative simplicité par rapport aux méthodes géochimiques classiques, l'analyse géomicrobiologique se justifie principalement par sa potentialité pour localiser des minéralisations subaffleurantes.

## Resumen

En cinco localidades mineralizada, mexicanas se realizó un estudio geoquímico y geomicrobiológico con la finalidad de probar una nueva técnica de exploración minera. Tanto suelos como

rocas fueron muestreados, a lo largo de perfiles asociados a mineralizaciones situadas en contextos climáticos y geológicos diferentes. Las muestras fueron estudiadas por sus contenidos en Bacillus cereus y en Au, Fe, Mn, As, Cd, Ba, Zn, Cu, Ni, Pb, Sb, Ti, Mo, Cr, V y Co. El análisis en componentes principales y la cartografía de los datos han permitido identificar las principales unidades litológicas, así como las asociaciones químicas características de las mineralizaciones.

El estudio mostró que el análisis bacteriológico de la fracción fina del horizonte A, permite circunscribir los sectores mineralizados en el seno de los sitios estudiados. En efecto los suelos parecen presentar una densidad de Bacillus esporulado en relación con el grado de mineralización del horizonte A, no obstante existe un desplazamiento generalmente plurimétrico entre anomalías bacterianas y metalíferas. Varias hipótesis son propuestas para interpretar el desplazamiento frecuente entre el horizonte A, altamente mineralizado, y los suelos enriquecidos en microorganismos.

La débil reproductibilidad de resultados bacteriológicos en el tiempo está sin duda relacionada a la presencia de

(1) Service géologique de Belgique, 13 rue Jenner, 1040 Bruxelles, Belgique.

(2) Consejo de Recursos Minerales de México, Bd. F. Angeles S/N, Carratera Mexico-Pachuca KM. 93.5, C.P. 42080 Pachuca, HGO, México.

(3) Université libre de Bruxelles, 50 av. F.D. Roosevelt, 1050 Bruxelles, Belgique.

otra bacteria esporulante en donde los criterios de identificación de colonias son casi idénticos a aquellos del *B. cereus*. Los datos anteriores han mostrado que el número de ciertas bacterias similares al *B. cereus* y muy resistentes a la penicilina declinan rápidamente con el tiempo.

Nuestras observaciones sugieren que la presencia de organismos paracidos podría explicar la disminución de colonias esporuladas en las muestras de algunos sitios mexicanos.

Aparte de su bajo costo y de su relativa simplicidad con respecto a los métodos geoquímicos clásicos, el análisis geomicrobiológico se justifica principalmente por su potencial para localizar mineralizaciones que no afloran.

#### Abstract

A geobacteriochemical soil study was carried out at five mineralized sites in Mexico (fig. 1) selected in distinct climatic and geological settings. Soil samples from the A and B horizons, as well as rock chip samples, were analyzed for *Bacillus cereus*, Au, Fe, Mn, As, Cd, Ba, Zn, Cu, Ni, Pb, Sb, Ti, Mo, Cr, V and Co. The principal component analysis and distribution maps of results enabled identification of the main lithologic units and the chemical patterns characteristic of the mineralization (fig. 2a-b).

In our study, the generally observed interval between positive anomalies of *B. cereus* and those of metals does not enable a significant multivariate statistical analysis.

—The geobacteriochemical results are graphically presented for each of the five mineralized sites (figs 4, 5a-b-c, 6a-b, 7, 8). They indicate a spatial association between high values of *B. cereus* and metals at four of the mineralized sites.

- Examination of figure 9 suggests that *B. cereus* correlates mainly with Au and, to a lesser extent, with the other elements of the mineralization (including Cu and Pb), but not with metals independent of the mineralization, particu-

larly Cr and Ni, nor with the major elements Fe and Mn.

- Figure 10 illustrates the spatial relationship between *B. cereus* and the degree of mineralization, represented by the sum of the metals - Au/1000 (ppm) + Cu (ppm) + Pb (ppm) - that mostly characterize the studied ores. The graph suggests that the soils exhibit a density of sporulated *Bacillus* possibly related to the degree of metal enrichment in the fine fraction of the A horizon overlying mineralization, although a nearly systematic displacement between bacterial and metal anomalies is observed. This relationship also indicates that a low Au content (ppb) acts similarly to higher base-metal contents (ppm). On the other hand, we note an erratic behaviour in the *B. cereus* distribution at the exclusively auriferous sites of Los Uvares and Arteaga-Los Pozos (fig. 2a-b, fig. 7).

To summarize: the main results of this study reveal that the bacteriological analysis of the fine fraction of the A horizon generally enables discrimination of the mineralized zones along the sampling profiles, even though only a weak correlation exists between bacterial sp. colonies and metals inside the mineralized sectors.

Several hypotheses are advanced to interpret the interval between high sporulating-microorganism values and elevated metal contents of the soil inside the mineralized areas.

a. The strong spatial association between *B. cereus* and heavy metals has been interpreted mainly by a link between the metal-tolerance of the microorganisms and their resistance to penicillin (Watterson et al., 1986).

b. The influence of another factor, independent of the penicillin resistance, is deduced from our data.

1. The possible toxicity caused by elevated concentrations of certain metals -for example, As (generally linked with Au) shows poor correlation with *B. cereus*. Results of an experimental study (Hambuckers Behrin and Remade, 1990) suggest to us that high As contents might be a contaminant for *B. cereus*.

2. Other data show that the level of metal bioavailability is crucial for sporulation and bacterial growing in natural soils (Melchior et al., 1994). The low rate of sporulation in metal-enriched soils could be explained by a dominance of biologically unavailable minerals (such as Fe-Mn oxides/hydroxides) relative to other soil components (clays, amorphous phases, organic matter, etc.) in the mineralized soils.

3. A third hypothesis is derived from previous observations (Pardhun, 1991) which suggest a relationship between *B. cereus* and Au content in the soils found at the bottom of the creosote vegetation in sub-arid conditions. The author also indicates that an analysis of the two variables may enable the detection of concealed mineralization. On the basis of earlier work (Sulten, 1993; Sulten et al., 1993), we assume an affinity between soluble and bioavailable metal forms (organometallic complexes, colloids associated with humic and fulvic acids) and *B. cereus* spores in the organic-rich soil of the A horizon. We suggest that these bioavailable metallic components might form a secondary halo similar to the dispersion envelope of the bioavailable Au found in a lateritic environment of Brazil (Machesky et al., 1993). On the other hand, a recent applied study (Antropova et al., 1992) suggests to us that certain bacteria, and particularly *B. cereus*, could be linked to trace elements in mobile form originating from the weathered bedrock and moving to the superficial pedological horizon (A horizon). Hence, the lateral dispersion of these metal forms derived from the primary metallic source may be the cause of the interval between metal and *B. cereus* anomalies, because metallic solutions are normally much more toxic (due to a very high metal content) in the A horizon overlying suboutcropping mineralization than they are in the peripheral areas. The possible dispersion of bioavailable metals along a vertical gradient justifies our assumption concerning the potentiality of *B. cereus* in looking for concealed mineralization (fig. 5b-c and fig. 6a-b).

4. A simple explanation is deduced from the lower density of bacterial spores (1.4 g/cm<sup>3</sup> and diameter of 1 μm)



relative to mineral particles. As light spores are more widely spread than mineral grains (Fe-Mn oxides/hydroxides; heavy minerals, etc.) in the fine fraction of the A horizon, the mechanism might explain the interval between metals and high *B. cereus* values. This hypothesis evidently implies a reduced potentiality of the method for detecting concealed mineralization.

The decrease of the *Bacillus* content with time in the collected soil samples (deduced from different bacteriological results achieved two months after the first analysis) is probably related to the presence of another sporulated *Bacillus* species with identification criteria that are nearly identical to those of *B. cereus*. Data of a previous study (Waterson et al., 1986) showed that the number of an undetermined bacteria sp., very similar to *B. cereus* and very penicillin-resistant, promptly declined with time. Our observations indicate that the presence of similar or identical organisms could explain the observed decrease of *Bacillus* sp. colonies in the samples collected at several Mexican sites.

Geomicrobiological analysis is not a substitute for geochemical analysis because the method is not quantitative. The bacteriological analyses require very hygienic conditions for sample preparation. As the visual quantification is rather complex, and consequently slow, it is not generally possible to analyse more than 50 samples a day (by 1 analyst using basic equipment). Improvement of the methodology would involve simplification of the sample preparation and a spore quantification by image analysis. Due to the low cost and relative simplicity of the methodology, geomicrobiological analysis might be a promising method for the exploration of subsurface mineralization. Some experimental work (Sulten, 1993) also suggests that other bacteria should be studied and tested for possible utilization as an exploration tool.

## Introduction

Une étude géochimique et géobactériologique de minéralisations polymétalliques mexicaines a été réalisée sur des



Fig. 1. – Carte du Mexique et localisation des sites minéralisés étudiés.

Fig. 1. – Map of Mexico showing the location of the mineralized sites selected for this study.

échantillons de roche et de sol. Les sites sélectionnés regroupent divers types de minéralisations, principalement aurifères, situées dans des environnements climatiques et géologiques distincts. Cinq sites minéralisés ont été étudiés (fig. 1) : Arteaga-Los Pozos, El Real, Asignación Beatriz, Los Uvares et La Testera.

**Arteaga-Los Pozos** se situe dans la partie méridionale de l'État du Michoacan à environ 200 km au SSW de la capitale, Morelia. Le climat subtropical est caractérisé par l'alternance de deux saisons sèches et humides. Ce secteur, qui correspond à un plateau situé à 1 000 m d'altitude, est couvert principalement par des forêts de pins. La minéralisation aurifère est associée à des corps intrusifs granodioritiques dans une série volcano-sédimentaire mésozoïque. Les prélèvements géobactériologiques ont été effectués au mois de mars, en saison sèche.

**El Real** est localisé à environ 40 km au SSE de la capitale de l'État du Michoacan, Morelia. Le climat est sensiblement équivalent à celui de la région d'Arteaga-Los Pozos, avec néanmoins une influence maritime plus réduite conditionnant une pluviométrie moins importante. Le relief peu accentué est caractérisé par une succession de petites collines à une altitude moyenne de 600 m. La végétation était formée prin-

cipalement d'arbustes épineux et de plantes grasses au moment du prélèvement des échantillons en saison sèche. Le contexte géologique général est similaire à celui d'Arteaga. La roche contenant la minéralisation est une granodiorite.

**Asignación Beatriz** se situe à environ 100 km au NNE de la ville d'Hermosillo, capitale de l'État de Sonora. Le climat subdésertique est caractérisé par une saison sèche et une saison plus humide. La végétation est formée de cactus et d'arbustes épineux en saison sèche. En saison subhumide, une végétation basse envahit la zone. La minéralisation s'insère dans une série volcano-sédimentaire mésozoïque recoupée par de nombreuses intrusions différenciées mises en place au début du Cénozoïque. Les prélèvements géobactériologiques ont été effectués au mois de mars en saison humide.

**Los Uvares** se trouve à environ 50 km au sud de La Paz, capitale de l'État de la Basse Californie du Sud. Le climat subdésertique de la partie centrale de la péninsule est fortement conditionné par les influences maritimes sur les côtes ainsi que dans les deux secteurs échantillonnés, situés sur le flanc oriental de la chaîne montagneuse axiale de la Basse Californie. Le développement de la végétation au cours des saisons est similaire à celui de Sonora. La minéralisation s'insère dans un vaste batholite