



HAL
open science

PIXE et traces de fission : une approche des réseaux d'échanges de l'obsidienne dans l'aire andine préhispanique (Colombie, Équateur)

Gérard Poupeau, Ludovic Bellot-Gurlet, Olivier Dorigel, Thomas Calligaro, Jean-Claude Dran, Joseph Salomon

► To cite this version:

Gérard Poupeau, Ludovic Bellot-Gurlet, Olivier Dorigel, Thomas Calligaro, Jean-Claude Dran, et al.. PIXE et traces de fission : une approche des réseaux d'échanges de l'obsidienne dans l'aire andine préhispanique (Colombie, Équateur). Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série IIa, Sciences de la terre et des planètes, 1996, 323, pp.443-450. hal-01839418

HAL Id: hal-01839418

<https://hal.science/hal-01839418>

Submitted on 14 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PIXE et traces de fission : une approche des réseaux d'échanges de l'obsidienne dans l'aire andine préhispanique (Colombie, Équateur)

Gérard Poupeau, Ludovic Bellot-Gurlet, Olivier Dorighel,
Thomas Calligaro, Jean-Claude Dran et Joseph Salomon

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 323, série II a,
p. 443 à 450,
1996

Résumé Nous avons analysé par PIXE la composition chimique de 50 artefacts en obsidienne provenant de sites archéologiques côtiers colombiens et équatoriens de la période préhispanique, ainsi que celle de 21 obsidiennes prélevées dans des gisements naturels. Seize de ces échantillons ont été datés par traces de fission. La caractérisation géochronologique/géochimique de ces échantillons montre que les artefacts proviennent de cinq sources différentes, dont trois sont actuellement inconnues. Le couplage PIXE/datations permet de raffiner le regroupement des échantillons en ensembles homogènes pour les recherches de provenance.

Mots-clés : Obsidienne, PIXE, Traces de fission, Archéologie précolombienne, Provenance.

G. P., L. B.-G. et O. D. :
Groupe de Géophysique Nucléaire,
UPRES-A n° 5025 du CNRS,
Laboratoire de Géodynamique
des Chaînes Alpines,
Institut Dolomieu,
Université Joseph-Fourier,
15, rue Maurice-Gignoux,
38031 Grenoble, France ;
poupeau@ujf-grenoble.fr

Th. C., J.-Cl. D. et J. S. :
Laboratoire de Recherche
des Musées de France,
6, rue des Pyramides,
75041 Paris CEDEX 01, France.

Abstract **Obsidian circulation in prehispanic times in Colombia and Ecuador: a coupled PIXE/fission track dating approach**

We analysed by PIXE the chemical composition of 50 obsidian artefacts from Colombian and Ecuadorian archaeological coastal sites of the prehispanic period, and 21 samples from natural outcrops and dated 16 of these samples by the fission track method. Geochemical/age characterization of obsidian artefacts show they come from five sources, of which three are unknown. The combination of PIXE and fission track dating can refine the grouping of samples into homogeneous clans for sourcing studies.

Keywords: Obsidian, PIXE, Fission tracks, Precolombian archaeology, Provenance.

**Abridged
English
Version**

PROVENANCE studies of obsidian artefacts rely on the observation that in general the chemical variations between different obsidian sources are larger than intra-source variations. It may, however, happen that two geographically distant sources are chemically difficult to differentiate, as between the Bingöl and Nemrut Dag sources in Anatolia (Renfrew

et al., 1966; Gratuze *et al.*, 1993), or that a given source presents a variable composition (Hughes and Smith, 1993). In such cases, it may be useful to complement the geochemical characterization of obsidian by its dating (Bigazzi *et al.*, 1993, 1994, 1996). We found that this combined geochemical and geochronologic approach, using PIXE and fission

Note

présentée par
Yves Coppens.

remise le 1^{er} avril 1996,
acceptée le 13 mai 1996.

track dating might allow a better resolution in Colombian and Ecuadorian archaeological artefact sourcing studies.

PIXE ANALYSES

The Ion Beam Analysis facility we use is the 2 MV tandem accelerator AGLAE of the *Laboratoire de Recherche des Musées de France*. PIXE analyses are made with a beam of 3 MeV protons, the measurements being performed in air with an external beam (Calligaro *et al.*, 1996). The samples are generally prepared as polished sections. However, precious artefacts can be analysed non-destructively and working outside the accelerator vacuum gives a greater flexibility in positioning such samples. The experimental set-up includes two Si(Li) detectors for the simultaneous detection of respectively low- and high-energy X-rays, corresponding to light ($8 < Z < 30$) and heavy ($Z > 30$) elements. In order to reduce X-ray attenuation by air a helium gas flux is injected in the gap between the beam impact spot on the sample and the low-energy X-ray detector. Backscattered protons, detrimental for the low-energy detector resolution, are deflected by a permanent magnet set up in front of this detector. The X-rays spectra are treated with the GUPIX software (Maxwell *et al.*, 1989). For each sample three spot analyses are made in order to overcome sample inhomogeneity. In obsidians we determine routinely 15 major and trace elements with a precision of 5% or better (at 1 σ level).

FISSION TRACK DATING

Obsidians are dated in Grenoble by the fission track method. The analytical procedures are described in Dorighel *et al.* (1994). As the spontaneous fission tracks are often partially annealed in obsidians, we determined fission track ages using the plateau-ages technique proposed by Storzer and Poupeau (1973).

The fission track ages considered in this work for the obsidian sources were those obtained in Pisa by Bigazzi *et al.* (1992) and in Grenoble by Dorighel *et al.* (1994), Bellot-Gurlet *et al.* (1996) and Dorighel and Labrin (unpublished results).

The precision on fission track ages, which depends essentially on the number of fossil tracks counted, is typically between ± 5 to $\pm 10\%$ (1 σ).

RESULTS AND INTERPRETATION

We are working on an obsidian provenance project on prehispanic archaeological sites in Colombia and Ecuador. In this article, we present data obtained on obsidian sources and archaeological artefacts, all located in southern Colombia and northern Ecuador. We studied 71 samples by PIXE, and determined fission track plateau-ages on 16 of these.

Sources

Ecuador

The sources studied, the most important ones of Ecuador, are located in the *Sierra de Guamani*, to the SE of Quito in the Cordillera oriental (fig. 1). We found that these sources, are distributed in discrete age/composition groups (fig. 2). Like Asaro *et al.* (1994) we observed that obsidians from the rhyolitic lava flow of Mullumica about 8 km long presented variable compositions suggesting a two-component magma mixing. The only sample we had of the 0.18-0.19 Ma old (Bigazzi *et al.*, 1992) Potrerillos source was not reported in figure 2 because of internal inhomogeneity of chemical composition. It is to be noted that no artefact approaches the range of compositions of this sample.

Colombia

The "Rio Hondo" Colombian source, comprising several samples taken near to the Purace volcano, near to Popayan appears as chemically homogeneous. The chemical composition and age of this source are quite different from the Ecuadorian sources of the *Sierra de Guamani*.

Artefacts

50 artefacts were analysed by PIXE. In figure 2, some artefacts may be considered as belonging to source domains whereas a large group, within the stippled area, is only marginally secant with one source domain, that of Mullumica. If one takes into account the fis-

sion track age of sources and artefacts, other differences appear.

This is the case for one artefact with an age of 0.42 ± 0.04 Ma in the field of the 0.17-0.18 Ma Callejones source in figure 2 and for two artefacts with ages of respectively 2.58 ± 0.12 and 2.60 ± 0.10 Ma associated to the 1.4-1.7 Ma Quiscatola-Yanaurcu source. On the contrary, one artefact in the Quiscatola-Yanaurcu compositional field with an age of 1.65 ± 0.16 Ma concordant with that of this source must come from there; similarly the first artefact belonging to the Rio Hondo chemical group dated presents an age of 3.6 ± 0.2 Ma, concordant with that of this source and therefore must come from the Purace volcano.

Fission track dating assigns the Mullumica flow an age of 0.17-0.18 Ma (Bigazzi *et al.*, 1992 and our unpublished data). The fission track plateau-ages of 14 artefacts coming from the coastal sites of figure 1 dated so far are in the range 0.25-0.31 Ma (Dorighel *et al.*, 1994; Dorighel and Labrin, unpublished data). The apparent ages of six other samples from this group, with fossil tracks partially annealed, are all slightly older than the Mullumica flow and < 0.25 Ma. The fission track data exclude a Mullumica origin for these artefacts.

Archaeological interpretation

Coastal sites

The coastal sites of figure 1 have ages in the range 800 BC-1,100 AD. As the region is devoid of obsidian, pieces found in these sites must have been imported from more or less distant sources either by purely continental routes or at least partly by coastal shipping.

Of all the artefacts studied in this work, only one can be traced back to its source: the 1.65 Ma artefact from La Tolita, which would come from the Quiscatola-Yanaurcu source of the *Sierra de Guamani*.

Sources of the other artefacts remain unknown: one piece from La Tolita comes from a source chemically close to that of Callejones, but older; a similar case occurs with two artefacts from Inguapi and the Quiscatola-Yanaurcu source. It would remain in such cases to investigate whether or not chemical proximity

between one artefact and a known source corresponds to geographical closeness between this source and the source of the artefact. This calls for more detailed field studies and sampling of some source areas.

Finally, a large number of artefacts apparently come from a single, still unknown, 0.3 Ma source.

Interior sites

These are the two Colombian sites of La Elvira (2 artefacts analysed) and San Isidro (7 artefacts) located near (< 50 km) to the Rio Hondo source. It is therefore not surprising to observe that one of their artefacts presents the same age of 3.6 ± 0.2 Ma and composition as obsidians from this 3.7 ± 0.1 Ma old source and therefore comes from the Purace volcano. Gnecco *et al.* (1993) had reached the same conclusion from NAA analysis of 24 artefacts from La Elvira and one from San Isidro. The obsidian of the Rio Hondo source appears therefore to have been widely used in this area of the high Cauca valley.

CONCLUSION

In this work we show that the characterization of an obsidian artefact by its age only or its chemical composition only may not be sufficient to determine its source, and that a combined fission track dating/PIXE analysis approach allows a finer discrimination.

In the case of the coastal sites studied here, which are in a region devoid of obsidian, it is shown that (i) at least four obsidian sources must be invoked, of which only one, located in the Ecuadorian *Sierra de Guamani*, has been identified, and (ii) one unknown source made a major contribution to the obsidian industry of these cultures.

Conversely in the case of the sites located near to an obsidian source, like those of the Popayan area in Colombia, at least a fraction of the artefacts come from this source.

Measurements on obsidians and hundreds of obsidian artefacts from many Andean sites are in progress. We thus hope in the future to understand better the obsidian procurement strategies in this part of the prehispanic Andes and to reconstitute the obsidian trade routes and their development with time.

1. INTRODUCTION

Les études de provenance des artefacts en obsidienne que l'on rencontre dans les sites archéologiques remontent à une trentaine d'années. Elles reposent sur l'observation selon laquelle les variations de composition chimique au sein d'une coulée, sont généralement plus faibles que d'une coulée à une autre. Cependant, l'obsidienne d'une même coulée ou d'un même tuf peut présenter une composition variable selon les points d'échantillonnage (Hughes et Smith, 1993). Inversement, dans une région volcanique, des obsidiennes provenant de centres éruptifs parfois très éloignés peuvent être difficiles à différencier géochimiquement. C'est par exemple le cas en Anatolie, avec certaines obsidiennes de Bingöl et du massif de Nemrut Dag, distantes d'une centaine de kilomètres (Renfrew *et al.*, 1966, Gratuze *et al.*, 1993). Dans de tels cas, une caractérisation supplémentaire, par l'âge de l'obsidienne, peut éventuellement permettre de lever l'indétermination (Bigazzi *et al.*, 1993, 1994, 1996).

Nous avons adopté, pour l'étude de la provenance des artefacts en obsidienne des sites préhispaniques de Colombie et d'Équateur, une approche combinant datation par traces de fission et caractérisation géochimique par PIXE (Bellot-Gurlet *et al.*, 1996). Les premiers résultats obtenus (Dorighel *et al.*, 1996) suggèrent que l'on pourrait ainsi parvenir à une meilleure résolution dans la définition des matériels-sources des artefacts étudiés. Dans cet article, qui porte sur un échantillonnage plus important, ces tendances sont confirmées et de nouveaux groupes d'obsidiennes sont clairement mis en évidence pour la provenance des obsidiennes préhispaniques de Colombie et d'Équateur. Les implications archéologiques, comme la signification magmatique de nos résultats, seront discutées ailleurs.

2. ANALYSES PAR PIXE

Pour les analyses par faisceau d'ions, nous utilisons l'accélérateur tandem de 2 MV « AGLAE » du Laboratoire de Recherche des Musées de France (Amsel *et al.*, 1990).

Les mesures sont réalisées avec un faisceau extrait de protons de 3 MeV (Calligaro *et al.*, 1996). Ce dispositif expérimental permet, en travaillant à l'extérieur du vide de l'accélérateur, une grande souplesse d'utilisation, en particulier pour les échantillons qui doivent être analysés de manière non destructive. Les échantillons sont préparés sous la forme de sections polies, sauf pour les artefacts précieux d'un point de vue archéologique, qui doivent conserver leur intégrité. Nous utilisons deux détecteurs Si(Li) pour la détection simultanée des rayonnements X de basse et haute énergie, correspondant respectivement aux éléments légers ($8 < Z < 30$) et lourds ($Z > 30$). Afin de réduire l'atténuation dans l'air des rayons-X de basse énergie, un flux d'hélium est injecté dans l'espace compris entre l'échantillon à mesurer et le détecteur de rayons-X de basse énergie. Les protons rétrodiffusés qui pourraient détériorer la résolution du détecteur basses énergies sont défectés par un aimant permanent situé à l'avant de ce détecteur.

En général, trois points d'analyse sont réalisés sur chaque échantillon, afin de tenir compte d'éventuelles inhomogénéités de composition chimique. Les spectres obtenus sont traités par le logiciel GUPIX (Maxwell *et al.*, 1989). Nous déterminons en routine la teneur d'une quinzaine d'éléments majeurs et en traces, avec une précision inférieure à 5% ($\pm 1 \sigma$).

3. DATATIONS PAR TRACES DE FISSION

Les obsidiennes sont datées à Grenoble par la méthode des traces de fission. Les procédures expérimentales sont décrites par Dorighel *et al.* (1994).

En réponse aux conditions d'environnement naturelles, les traces de fission spontanée sont souvent affectées, dans ce type de verre, d'un effacement partiel qui se traduit par un diamètre moyen des traces chimiquement révélées, inférieur à celui des traces produites par la fission induite en réacteur nucléaire ; dans ce cas, l'âge traces de fission est inférieur à l'âge de formation de ces verres (voir par ex. Poupeau *et al.*, 1996). Pour les échantillons mentionnés dans ce travail, les traces fossiles présentent un raccourcissement moyen négligeable pour certains, ou pouvant atteindre 34 % pour d'autres. Afin de tenir compte de cet effet d'effacement, les échantillons ont été traités par la technique des âges-plateaux de Storzer et Poupeau (1973).

Les âges traces de fission des sources considérées dans ce travail ont été déterminés à Pise par le groupe de Giulio Bigazzi (Bigazzi *et al.*, 1992) ou à Grenoble (Dorighel *et al.*, 1994 ; Bellot-Gurlet *et al.*, 1996 ; Dorighel et Labrin, données non publiées). Ces deux laboratoires sont associés depuis plusieurs années dans divers programmes d'intercalibrations (Bigazzi *et al.*, 1988 ; Poupeau *et al.*, 1993 ; Balesrieri *et al.*, 1996 ; et résultats non publiés). La précision sur un âge traces de fission dépend essentiellement du nombre de traces fossiles présentes dans un échantillon. Elle est typiquement comprise entre $\pm 5 \%$ et $\pm 10 \%$ (1σ).

4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Nous avons analysé par PIXE 71 échantillons d'obsidienne, dont seize ont été datés par âges-plateaux. Les sites archéologiques dont proviennent les artefacts, comme les sources géologiques, sont localisés dans la figure 1. Nos résultats sont illustrés par le diagramme binaire de la figure 2.

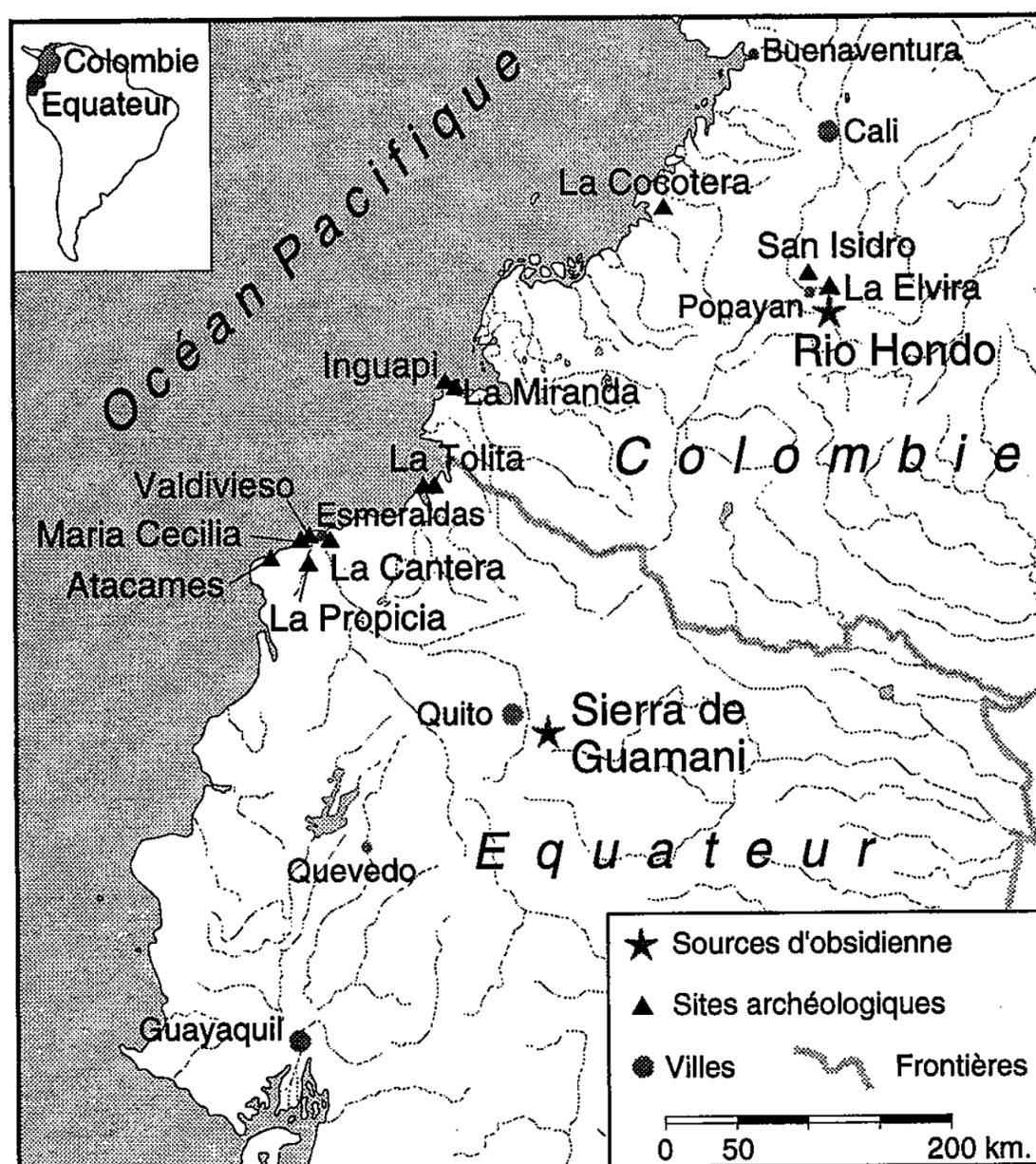


Fig. 1 Carte schématique montrant la localisation des sources d'obsidienne et des sites archéologiques mentionnés dans le texte.

Schematic map showing the location of the obsidian sources and archaeological sites cited in the text.

1. Sources

Équateur

Les plus importantes sources équatoriennes d'obsidienne connues sont celles de la *sierra de Guamani*, à l'Est de Quito, dans la Cordillère orientale. Les échantillons analysés ont été prélevés sur huit coulées ou gisements de blocs d'obsidienne (Bigazzi *et al.*, 1992). Ces obsidiennes se répartissent en plusieurs groupes âges-composition discrets (fig. 2). L'un de ces groupes, celui de Quiscatola-Yanaurcu, comporte à la fois deux échantillons provenant d'un complexe volcanique érodé et un autre pris à proximité, dans un niveau de matériel remanié.

Les obsidiennes de la coulée rhyolitique de Mullumica, d'environ 8 km de long (Salazar, 1985), présentent entre elles des différences de composition chimique suggestives d'un mélange binaire, comme l'avaient déjà observé Asaro *et al.* (1994). Ces auteurs inter-

prêtèrent ces différences comme le résultat d'un mélange imparfait de deux magmas.

Une source équatorienne n'est pas représentée dans la figure 2, celle de Potrerillos, datée à 0,18-0,19 Ma (Bigazzi *et al.*, 1992), car l'échantillon analysé, partiellement dévitrifié, est apparu comme inhomogène à l'échelle des points d'analyses. Cependant, aucun des artefacts analysés ne présente une composition proche de chacune des déterminations réalisées sur cet échantillon.

Colombie

Les échantillons colombiens analysés, prélevés au voisinage du volcan Purace près de Popayan, forment un groupe « Rio Hondo » (Gnecco *et al.*, 1993) qui est, par sa composition chimique, comme par son âge ($3,7 \pm 0,1$ Ma, Doriguel et Labrin, non publié), différent des sources équatoriennes.

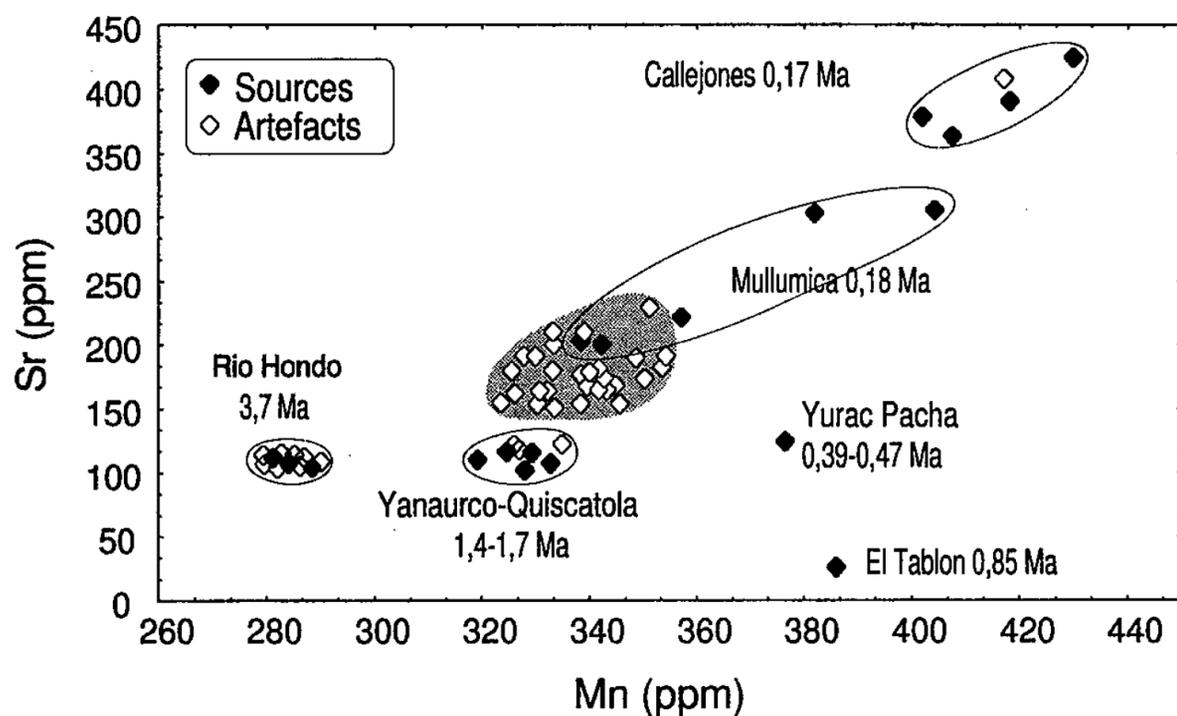


Fig. 2 Diagramme binaire comparant les teneurs en Mn et en Sr des échantillons traités par PIXE. Les sources sont repérées par leurs noms et leurs âges ; leur domaine est approximativement cerclé d'un trait continu, lorsque plusieurs échantillons sont analysés. Origine des données : PIXE, Dorighel *et al.*, 1996 et résultats non publiés ; traces de fission : Bigazzi *et al.*, 1992, Dorighel *et al.*, 1994 et résultats non publiés.

Binary diagram comparing the Mn and Sr contents of the samples analysed by PIXE. The source names and ages are reported; where several samples of a given source were analysed, the source domain is approximately encircled. Origin of data: PIXE, Dorighel *et al.*, 1996 and unpublished results; fission tracks: Bigazzi *et al.*, 1992, Dorighel *et al.*, 1994 and unpublished results.

2. Artefacts

Cinquante artefacts ont été étudiés. Dans la figure 2, certains artefacts peuvent être considérés comme faisant partie de domaines géochimiques occupés par des sources, comme celles de Rio Hondo, Quiscatola-Yanaurcu et Callejones, alors qu'un ensemble important, figuré en grisé, n'apparaît qu'en position marginale par rapport à une source, celle de Mullumica.

La considération des âges traces de fission des artefacts fait apparaître d'autres différences. Ainsi, l'artefact situé dans le domaine du groupe Callejones présente un âge traces de fission de $0,42 \pm 0,04$ Ma, qui implique une origine différente. Par ailleurs, parmi les trois artefacts qui apparaissent dans le groupe Quiscatola-Yanaurcu, l'un, d'âge $1,65 \pm 0,16$ Ma concordant avec celui de cette source en proviendrait donc, mais les deux autres, d'âges plus élevés, de respectivement $2,58 \pm 0,12$ et $2,60 \pm 0,10$ Ma, ne le peuvent.

Dans le groupe Rio Hondo, l'âge du seul artefact daté pour le moment est, avec $3,6 \pm 0,2$ Ma, concordant avec celui de cette source et en proviendrait donc.

Il est difficile de décider, sur la seule base de la composition chimique, si les artefacts de l'espace grisé de la figure 2, qui représentent plus de la moitié de notre échantillonnage, doivent être ou non associés à la coulée de Mullumica, puisqu'avec un échan-

tillonnage limité actuellement à cinq points de prélèvement, on ne peut connaître les termes compositionnels extrêmes de cette dernière. La datation par traces de fission montre qu'une partie au moins des artefacts de ce groupe n'aurait aucun rapport avec la coulée de Mullumica : les âges-plateaux déjà déterminés pour quatorze de ces pièces sont groupés dans l'intervalle 0,25-0,31 Ma et les âges apparents de six autres, dont les traces fossiles sont partiellement effacées, sont supérieurs à celui de la coulée de Mullumica (fig. 1) et inférieurs à 0,25 Ma. Ces données excluraient toute source connue. La datation (en cours) des autres artefacts de cet ensemble montrera s'ils proviennent tous de la même source.

3. Retour à l'archéologie

Sites côtiers

Les sites côtiers ou proches de la côte (fig. 1), dont des artefacts en obsidienne ont été analysés dans ce travail, sont chronologiquement compris entre 800 av. JC et 1 100 AD, ce qui correspond aux périodes Formatives tardives, à celles de l'Intégration puis des Développements Régionaux. Ces régions ne comportant pas de gisements d'obsidienne, celle que l'on y rencontre a donc nécessairement été apportée. On peut envisager, soit un transport purement continental de l'obsidienne, les sources dans ce cas étant à envisager dans l'arrière-pays de la sierra andine, soit un apport comprenant une composante de cabotage, à partir de sources plus ou moins éloignées (Dorighel *et al.*, 1996).

Dans ce travail, un seul artefact côtier (sur quarante-et-un analysés), recueilli à La Tolita, peut être rapporté avec certitude à l'une des sources équatoriennes que nous avons étudiées, puisque son âge et sa composition chimique s'accordent avec ceux des échantillons du groupe Quiscatola-Yanaurcu.

Tous les autres proviennent de sources inconnues : ainsi, un autre artefact de La Tolita vient d'une source de composition proche de celle de Callejones, mais plus ancienne ; il en est de même pour deux artefacts d'Inguapi avec la source de Quiscatola-

Yanaurco. Ces similitudes géochimiques signifieraient-elles que les sources de ces artefacts seraient à rechercher à proximité de Callejones et de l'édifice volcanique érodé de Quiscatola-Yanaurco respectivement ? Une meilleure connaissance des gisements d'obsidienne de la *sierra de Guamani* apparaît de ce point de vue comme très souhaitable.

Sites intérieurs

Il s'agit de deux sites Colombiens, La Elvira et San Isidro (respectivement 2 et 7 échantillons), situés dans la région de Popayan. Tous les échantillons de ces sites se retrouvent au sein du groupe âges/composition chimique Rio Hondo. Gnecco *et al.* (1993) avaient déjà atteint la même conclusion à partir de l'analyse par activation neutronique de vingt-quatre échantillons de La Elvira et un de San Isidro. L'obsidienne de Rio Hondo aurait donc été largement utilisée à proximité de sa source, dans la haute vallée du Cauca.

5. CONCLUSIONS

Les analyses par PIXE de sources d'obsidienne déjà étudiées par d'autres laboratoires nous ont permis de retrouver les

groupes compositionnels connus de Colombie et d'Équateur. Dans ce travail portant sur douze sites archéologiques préhispaniques du Sud de la Colombie et du Nord de l'Équateur, nous montrons que la caractérisation d'un artefact en obsidienne par la géochimie ou par la datation peut être insuffisante pour en identifier la provenance. Par contre, l'utilisation systématique de ces deux approches, ici par PIXE et traces de fission, permet une meilleure discrimination.

Dans le cas des sites côtiers concernés, il apparaît ainsi que les artefacts étudiés proviennent au moins de quatre sources. Une seule source a été identifiée ; il s'agit de celle d'un artefact du site de La Tolita, qui serait située dans la *sierra de Guamani* de la Cordillère orientale. Cette étude montre, par ailleurs, qu'une grande partie des artefacts de ces sites proviendrait d'une même source, qui reste à découvrir.

Plusieurs centaines d'artefacts en obsidienne provenant de nombreux sites colombiens et équatoriens andins sont en cours de mesure. Nous espérons ainsi parvenir à retrouver les stratégies d'approvisionnement en obsidienne dans cette partie des Andes préhispaniques et retracer les « routes de l'obsidienne » et leurs variations temporelles.

La mission de l'un d'entre nous (O. D.) en Colombie et en Équateur a été financée par l'Institut Français d'Études Andines. Ce travail a été réalisé en partie dans le cadre du GDR n° 1033 du CNRS, « Méthodes Nucléaires en Archéologie ».

Remerciements : Les auteurs remercient les archéologues qui ont fourni les échantillons analysés : J.-F. Bouchard, C. Gnecco, M. Guinea, D. Patiño, M. Villalba, A. Yopez ; ainsi que Giulio Bigazzi et Michael D. Glascock de leurs généreux envois d'échantillons et les échanges de vues et de données avec leurs équipes.

AMSEL, G., MENU, M., MOULIN, J. et SALOMON, J., 1990. The 2 MV tandem Pelletron accelerator of the Louvre Museum, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, 45, p. 296-301.

ASARO, F., SALAZAR, E., MICHEL, H. V., BURGER, R. L. et STROSS, F. H., 1994. Ecuadorian obsidian sources used for artifact production and methods for provenience assignments, *Latin American Antiquity*, 5, p. 257-277.

BALESTRIERI, M. L., BIGAZZI, G., BOUSKA, V. J., HADLER, N. J. C., KITADA, N., LABRIN, E., NUNES, P., POUPEAU, G., WADATSUMI, K. et ZUÑEGA, A., 1996. Potential glass age standards for fission-track dating: an overview, *International Workshop on Fission Track Dating*, Gent, Belgique, 26-30 août, résumé.

BELLOT-GURLET, L., CALLIGARO, T., DORIGHEL, O., DRAN, J.-C., POUPEAU, G. et SALOMON, J., 1996. On the coupling of PIXE and fission track dating for obsidian

provenience studies, *Intern. Assos. Obsidian Studies Bull.*, 16, p. 3-7.

BIGAZZI, G., DOMPNIER, E., HADLER NETTO, J., POUPEAU, G. et VUILLEZ, E., 1988. A reactor intercalibration for fission track dating and Uranium micromapping, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 15, p. 755-757.

BIGAZZI, G., COLTELLI, M., HADLER, N. J. C., OSORIO ARAYA, A. M., ODDONE, M. et SALAZAR, E., 1992. Obsidian-bearing lava flows and pre-Colombian artifacts from the Ecuadorian Andes: first new multidisciplinary data, *J. South Amer. Earth Sci.*, 6, p. 21-32.

BIGAZZI, G., ERCAN, T., ODDONE, M., OZDOGAN, M. et YEGINGIL, Z., 1993. Application of fission track dating to archaeometry: provenience studies of prehistoric obsidian artefacts, *Nucl. Tracks Radiat. Measur.*, 22, p. 757-762.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIGAZZI, G., YEGINGIL, Z., ERCAN, T., ODDONE, M. et OZDOGAN, M., 1994. Provenance studies of prehistoric artifacts in Eastern Anatolia : first results of an interdisciplinary research, *Miner. Petrog. Acta*, XXXVII, p. 17-36.
- BIGAZZI, G., POUPEAU, G., BELLOT-GURLET, L. et YEGINGIL, Z., 1996. Provenance studies of obsidian artefacts in Anatolia using the fission-track dating method: an overview, *preprint*.
- CALLIGARO, T., MACARTHUR, J. D. et SALOMON, J., 1996. An improved experimental setup for the simultaneous PIXE analysis of heavy and light elements with a 3 MeV proton external beam, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* (sous presse).
- DORIGHEL, O., POUPEAU, G., BOUCHARD, J.-F. et LABRIN, E., 1994. Datation par traces de fission et étude de provenance d'artefacts en obsidienne des sites archéologiques de La Tolita (Équateur) et Inguapi (Colombie), *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 91, p. 133-144.
- DORIGHEL, O., BELLOT-GURLET, L., POUPEAU, G., BOUCHARD, J.-F. et WIDEMANN, F., 1996. Premiers résultats sur la provenance des artefacts en obsidienne de quelques sites archéologiques côtiers de Colombie et d'Équateur, *Revue d'Archéométrie* (sous presse).
- GNECCO, C., GLASCOCK, M. D. et NEFF, H., 1993. Chemical composition analyses of obsidian from La Elvira, SW Colombia, Rapport Interne, Missouri University Research Reactor, Columbia, Missouri, 20 p.
- GRATUZE, B., BARRANDON, J. N., AL ISA, K. et CAUVIN, M.-C., 1993. Non-destructive analysis of obsidian artefacts using nuclear techniques: investigation of provenance of near eastern artefacts, *Archaeometry*, 35, p. 11-21.
- HUGHES, R. E. et SMITH, R. L., 1993. Archaeology, geology, and geochemistry in obsidian provenance studies. In STEIN, J. K. et LINSE, A. R., éd., Effects of Scale on Archaeological and Geoscientific Perspective, *Geol. Soc. Amer. Special Paper* 283, p. 79-91.
- MAXWELL, J. A., CAMPBELL, J. L. et TEESDALE, W. J., 1989. The Guelph PIXE software package, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, 43, p. 218-230.
- POUPEAU, G., DORIGHEL, O. et BELLOT-GURLET, L., 1995. La datation par traces de fission des verres naturels et artificiels. Applications en archéologie, *Actes du Séminaire International « Le Verre et le Temps »*, Université Bordeaux- III (sous presse).
- POUPEAU, G., LABRIN, E., SABIL, N., BIGAZZI, G., ARROYO, G. et VÂTIN-PERIGNON, N., 1993. Fission track dating of 15 Macusanite glass pebbles from the Macusani volcanic field, (SE Peru), *Nucl. Tracks and Radiat. Measur.*, 21, p. 499-506.
- RENFREW, C., DIXON, J. E. et CANN, J. R., 1966. Obsidian and early cultural contact in the Near East, *Proc. Prehist. Soc.*, 34, p. 319-331.
- SALAZAR, E., 1985. Investigaciones arqueológicas en Mullumica (provincia del Pichincha), *Misceláneas Antropológica Ecuatoriana*, 5, p. 130-160.
- STORZER, D. et POUPEAU, G., 1973. Ages-plateaux de minéraux et verres par la méthode des traces de fission, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 276, série D, p. 137-139.