

Laboratoire **M.S.M.A.P.** SARL

Microanalyse

Sciences des Matériaux Anciens et du Patrimoine - Etude des objets d'art

ETUDE D'UNE SCULPTURE EN PIERRE: *Statue de Chicomecoatl* (H : 91,5 cm)
Époque et provenance supposées : Mexique, Culture Aztèque, 1400-1521 CE



Cette analyse a été effectuée pour :

Monsieur J.C. Argillet
Galerie Furstenberg
8, rue Jacob
75006 PARIS

Analyse : **Dr. B. DUBOSCQ**

Docteur en géologie du quaternaire
et préhistoire
Ingénieur en microanalyse.

N. POIRIER

Ingénieur en archéométrie

REMARQUE

Cette étude, réalisée en respect de la déontologie scientifique, se propose de rechercher et d'apporter des éléments d'analyse concernant la technique de fabrication du bien culturel, l'altération du matériau qui le constitue, et les dépôts ou éventuels traitements présents à sa surface.

La démarche analytique est fondée sur l'observation de l'objet, l'analyse physico-chimique de prélèvements suivant les techniques et les protocoles succinctement décrits dans le rapport, qui sont employées de longue date par les spécialistes de l'étude scientifique des matériaux anciens.

La comparaison des résultats obtenus avec les éléments bibliographiques actuellement à la disposition de la communauté scientifique permet de conclure en faveur ou non de l'ancienneté de l'œuvre étudiée, au regard de sa provenance et de son âge supposés.

Ces travaux sont effectués indépendamment de toute recherche historique, iconographique et stylistique concernant l'œuvre étudiée. Les indications de provenance, d'époque ou d'attribution de l'œuvre relèvent de la responsabilité du commanditaire et ne sont mentionnées dans le rapport qu'à titre indicatif. Toutefois, ces données fournies sont prises en compte dans le débat conduisant à la conclusion finale du rapport.

OBJECTIFS

Etude d'une sculpture en pierre : *Statue de Chicomecoatl* (H : 91,5 cm).
Provenance et période supposées : Mexique, Culture Aztèque, 1400-1521 CE.

Caractérisation du matériau constitutif de l'objet, des traces des outils ayant servi à la sculpture, de son altération et de ses éventuels dépôts superficiels afin de déterminer s'ils résultent d'un processus naturel de longue durée compatible avec son âge présumé et si la fabrication de l'objet est en accord avec des techniques lapidaire traditionnelles aztèques.

MOYENS MIS EN OEUVRE

Stéréomicroscope, microscope optique inversé, microscopie électronique à balayage (M.E.B) avec imagerie en mode électrons rétrodiffusés (contraste de composition) et électrons secondaires (contraste topographique) couplé à une analyse élémentaire en dispersion de rayons X (E.D.X).

PRELEVEMENTS

L'étude a été menée à partir de six prélèvements obtenus par répliques de la surface de l'objet, trois microprélèvements de la roche et un microprélèvement de dépôt noir.

- R1** : réplique de surface réalisée au dos, dans la partie supérieure de la sculpture sur le côté gauche ;
- R2** : réplique de surface réalisée au dos, dans la partie supérieure droite de la sculpture ;
- R3** : réplique de surface réalisée sur la face avant, au niveau de l'épi de maïs tenu par la main gauche ;
- R4** : réplique de surface réalisée sur la face avant, sur la coiffe au dessus du front ;
- R5** : réplique de surface réalisée au dos, dans la partie supérieure de la coiffe, au sommet de la seconde crénelure en partant de gauche ;
- R6** : réplique de surface réalisée au dos, près du microprélèvement P1
- P1** : microprélèvement de roche réalisé au dos sur la tranche extérieure gauche de la coiffe ;
- P2** : microprélèvement de la roche réalisé au dos de la sculpture dans la partie haute de la coiffe, au niveau de la troisième crénelure en partant de la gauche ;
- P3** : microprélèvement de roche réalisé au dos, sous les crénelures, au niveau du motif tressé vertical ;
- P4** : microprélèvement d'un dépôt noir encroûtant au dos de la sculpture sur la partie haute de la coiffe au niveau du motif tressé horizontal sur la gauche.

Les microprélèvements de roche ont été inclus dans une résine epoxy et une microsection perpendiculaire à leur surface a été réalisée. Les microsections et les répliques ont été métallisées à l'or afin de permettre l'étude au M.E.B. Cette opération est à l'origine du pic de l'or (Au) observées sur les spectres d'analyse X élémentaire.

RESULTATS DE L'ETUDE

Nous avons envisagé successivement dans cette étude la nature de la roche, l'état d'altération du matériau, les dépôts présents à la surface de l'objet et les traces des outils ayant servi à la sculpture. Les observations et les analyses sont illustrées dans les pages suivantes. Elles ont permis de mettre en évidence que :

- En l'absence d'analyse pétrographique sur lame mince, la structure vésiculaire et porphyrique de la roche, couplée à l'observation de la nature et de la morphologie des phases minérales constitutives : phénocristaux d'olivine associés à une matrice microlithique de feldspaths plagioclases, olivine microcristalline et verre volcanique (mesostase), avec des phases accessoires d'oxydes de fer et d'ilménite permettent d'identifier l'utilisation d'un **basalte**.
- Avant d'être sculptée, la roche a été soumise à une altération hydrothermale qui est responsable de la couleur rouge, résultant de l'altération de l'olivine en iddingite.
- **Aucune altération chimique de la roche après l'élaboration de la sculpture n'a été observée.** En particulier, aucune modification de la couleur entre la surface sculptée et la roche « à cœur » n'est visible. Le verre volcanique et les olivines constituant la roche sont pourtant très réactifs aux processus d'altérations météoriques.

- Différents dépôts sont observés à la surface de l'objet :
 - Un dépôt minéral sédimentaire beige a été appliqué à la surface de la roche sculptée dans le but de simuler un dépôt résultant d'un enfouissement de l'objet.
 - Un gel de silice artificiel recouvre la surface de l'objet
 - Un dépôt encroûtant noir constitué de sulfate de calcium (cristallisations, probablement recouvertes d'un pigment noir riche en carbone)
- On n'observe aucune trace d'outil à la surface l'objet, mais **beaucoup de copeaux métalliques de fer-chrome (acier inoxydable) sont observés en contact direct avec la roche, ce qui peut montrer l'usage possible d'outils modernes.**

Ces caractéristiques ne sont pas compatibles avec l'âge présumé de l'objet.

Pessac, le 18 septembre 2015, Dr. Bertrand Duboscq



Figure 1: Vues générales de l'objet et localisation des prélèvements.

1. OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES

La sculpture a été réalisée dans une roche rouge (Fig 1. 2 et 3). La texture de la roche diffère des zones restaurées de l'objet (Fig. 2b)

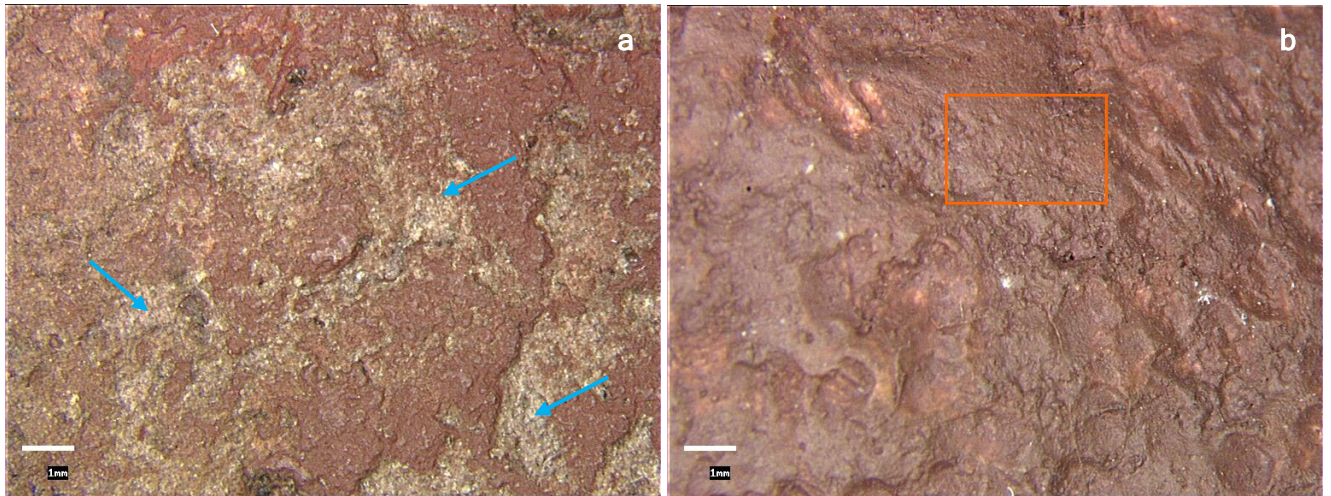


Figure 2: Vues de détail de la sculpture (stéréomicroscope x10, **a**- épi de maïs sur la droite, **b**- partie restaurée sous l'épi de maïs.

A certains endroits, la roche apparaît émoussée, avec des reliefs rougeâtres (Fig. 3a, flèches orange) ce qui pourrait, à première vue, indiquer une altération de la roche. L'étude détaillée de la roche montre que ces reliefs sont constitués de phénocristaux (Fig. 3b, flèches) recoupés par la surface sculptée.

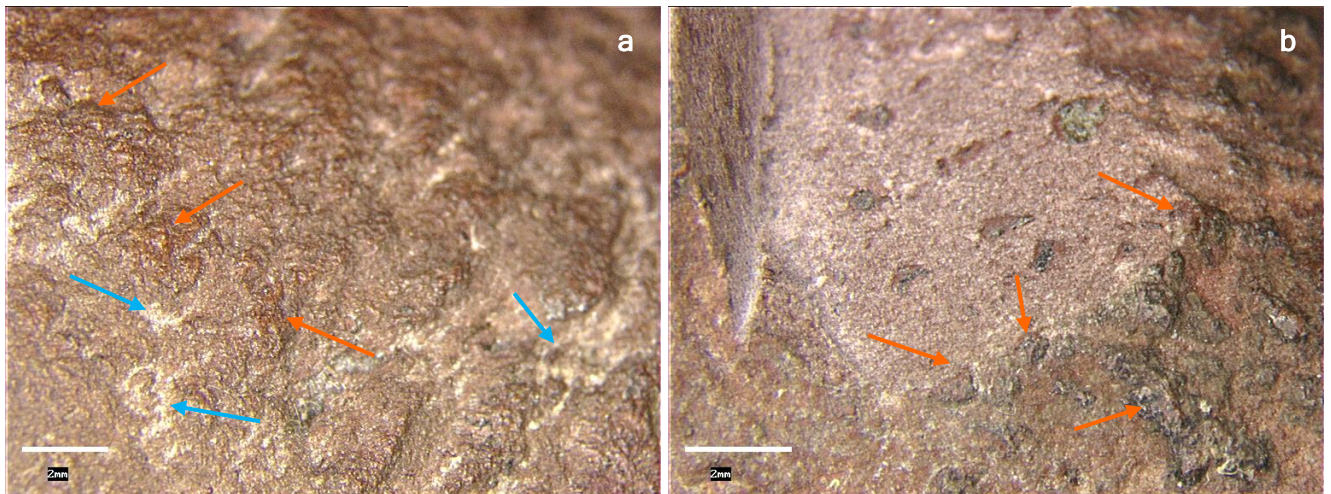


Figure 3 : Vues de détail de la sculpture (stéréomicroscopie), **a**-, épi de maïs non restauré dans la main droite, x7, **b**-, à l'arrière, sur le côté externe gauche de la coiffe, localisation du microprélèvement P1, x8, **c**-, à l'arrière, sur la partie supérieure de la coiffe, au niveau du motif tressé horizontal, localisation du microprélèvement P4, x5.

Un dépôt beige (Fig. 2a et 3a, flèches bleues) est présent sur la totalité de la sculpture.

Un encroûtement noir est aussi présent, principalement au dos du personnage (Fig. 3c, flèches).

2. NATURE ET ALTÉRATIONS DU MATÉRIAU CONSTITUTIF DE L'OBJET

La roche présente une texture porphyrique, avec des phénocristaux d'olivine (Fig. 4. O et 4c) inclus dans une matrice de couleur rouge (Fig. 4. M). La roche est fortement vésiculaire, les vésicules correspondant à l'espace entre des agglomérats de microlites de plagioclases.

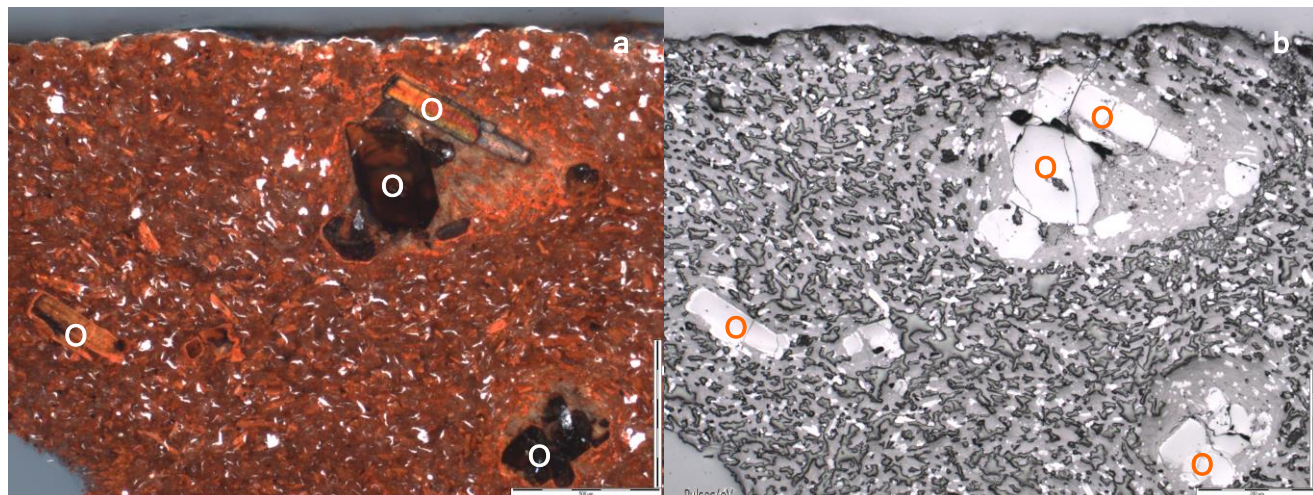
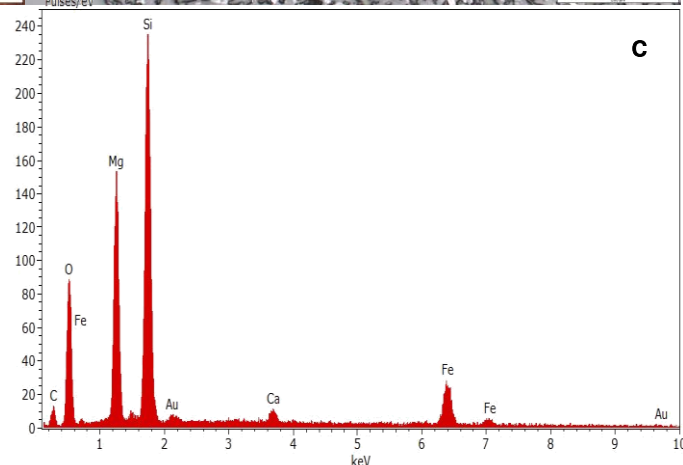


Figure 4 : Vues de détail (microscope optique inversé, x50, même champ. **a-**, lumière polarisée, **b-**, lumière réfléchie) de la microsection de l'échantillon P2 et spectre d'analyse X élémentaire (**c-**) d'une phase d'olivine.

La matrice est constituée de microlites de feldspaths plagioclases (Fig. 5a, F et 5b) et de petits cristaux d'olivine dans une mésostase vitreuse (Fig. 5a. G).

La teinte rouge de la roche vient des iddingsites (argiles riches en oxydes de fer ou en ferrhydrite) résultants de l'altération des phases d'olivine et de la présence de minuscules inclusions de fer et d'oxydes de fer-titane dans la matrice (Fig. 5a. flèches).



En l'absence d'analyse pétrographique sur lame mince, la texture de la roche, associée à un examen du type et de la morphologie des phases minérales, a permis d'identifier l'utilisation d'un **basalte**.

La roche a été soumise à une altération hydrothermale, responsable de la transformation partielle voir totale de l'olivine en iddingsite.

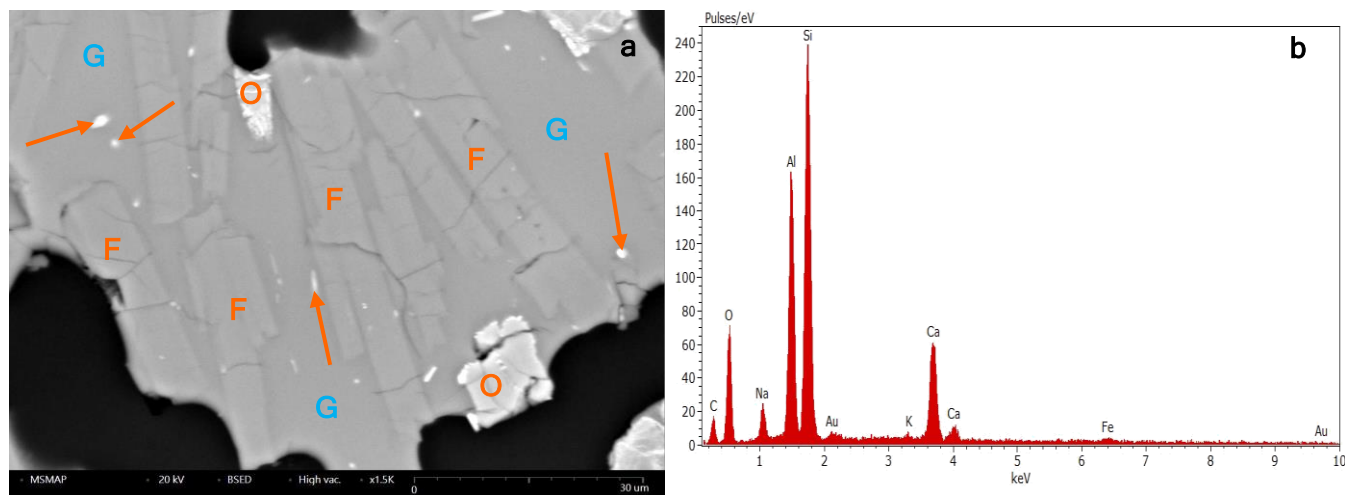


Figure 5 : Vue de détail (**a-**, MEB, ERD, x1500) de la matrice de la roche et spectre d'analyse X (**b-**) d'un microlite d'un feldspath plagioclase. Microsection de l'échantillon P2.

Aucune altération météorique de la roche après le façonnage n'a été observée, que ce soit au niveau des microsections (Fig.6), que sur les répliques de surface (Fig.7). En particulier, aucune modification de la couleur entre la surface sculptée (Fig. 6a, S) et la roche « à cœur (Fig. 6a, R) » n'est observée.

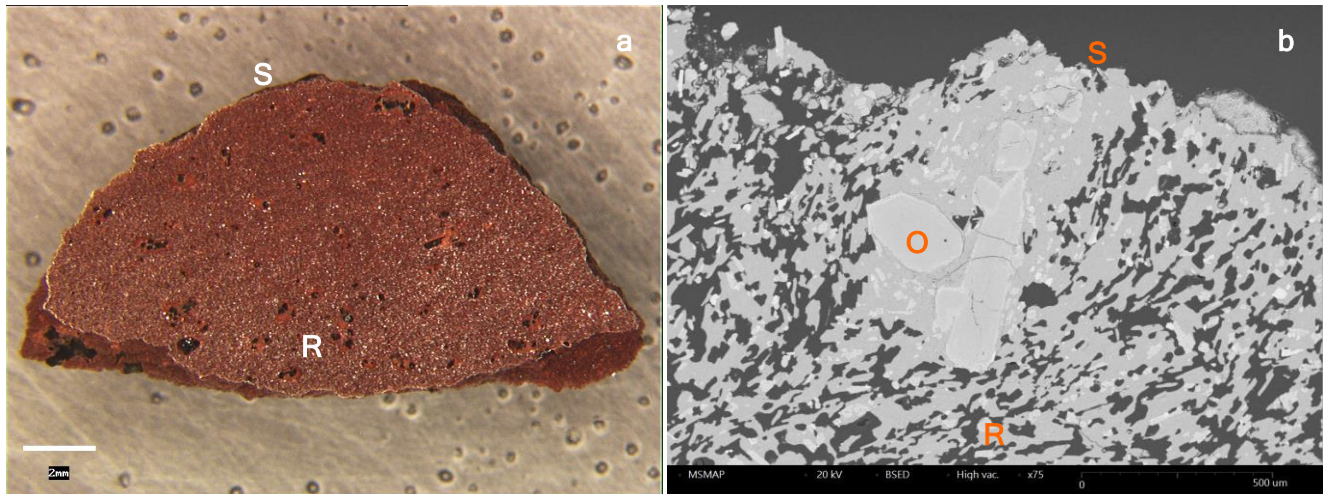


Figure 6 : Vues de détail (a-, stéréomicroscope, x6, b- MEB, ERD, x75 et c-, MEB, ERD, x350) de la microsection du prélèvement P1.

Le verre volcanique et les olivines constituant le basalte sont pourtant très réactifs aux processus d'altérations météoriques.

Le verre volcanique s'altère généralement rapidement en un matériau argileux, ce qui n'est pas le cas ici.

Les olivines (Fig. 6b. O) en surface de la sculpture ne montrent pas de processus d'altération plus prononcé (par exemple une totale transformation en iddingsite, dissolution...) que l'altération hydrothermale générale.

Certains dépôts remplissant les porosités en surface correspondant aux vésicules de la roches ont été observés (Fig. 6c, flèches). Ils seront détaillés plus loin dans ce rapport.

Sur les répliques de surfaces (Fig. 7), les phases minérales apparaissent non-altérées, avec seulement des fractures de surface provenant d'un stress mécanique de la sculpture.

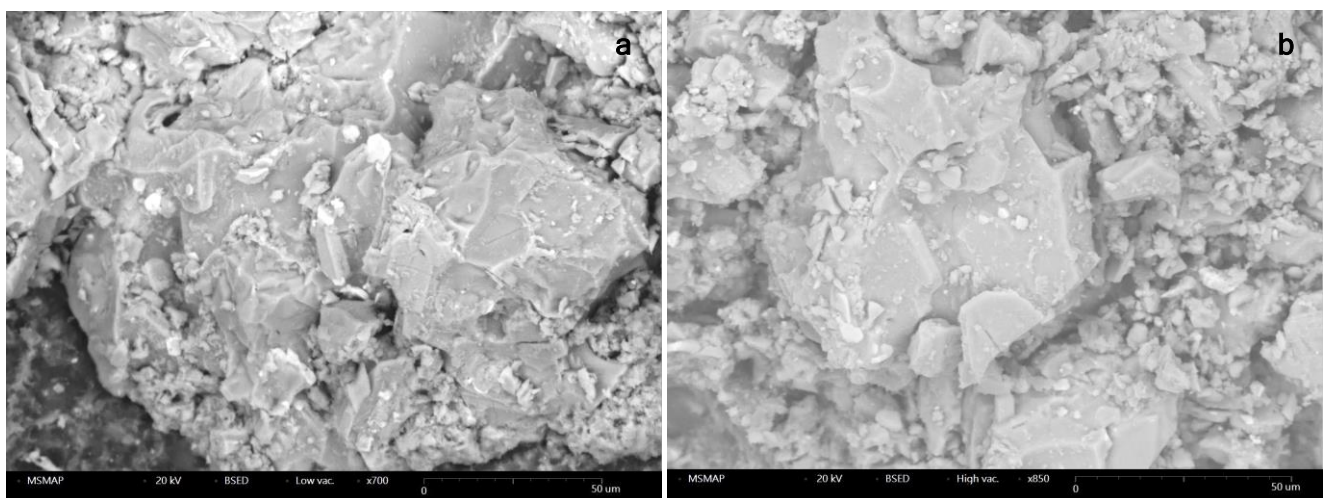


Figure 7 : Vues de détail (MEB, ERD) des phases minérales de la roche présentes sur les répliques de surface R2 (a-, x700) et R5 (b-, x850).

3- ÉTUDE DES DÉPÔTS DE SURFACE

Le dépôt beige présent sur toute la sculpture est conservé dans les zones en dépressions protégées de la surface (Fig. 8a. D1, localisation de la réplique R2)

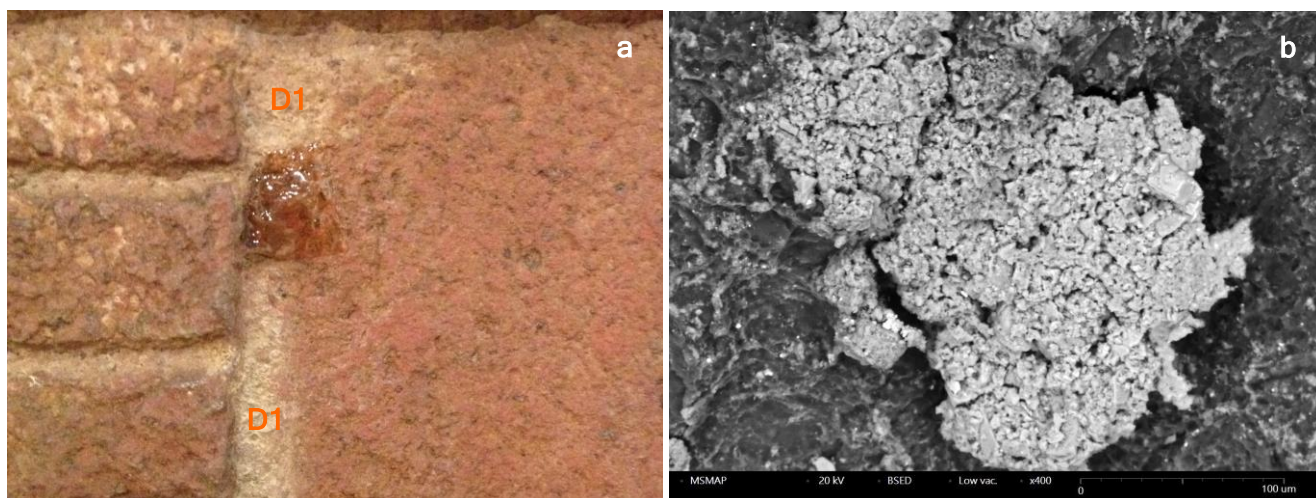


Figure 8: Vue de détail de la sculpture (a-, à l'arrière, partie supérieur de la sculpture, côté droit, localisation de la réplique R2), vue de détail (b-, MEB, ERD, x400) et spectre d'analyse X (c-) du dépôt beige.

Le dépôt est constitué par un matériau argileux microcristallin (Fig. 8b).

Ce matériau reste à la surface de la sculpture (Fig. 9, D1 et cf. Fig. 6b) et ne s'infiltré pas dans les porosités de la roche.

Aucune interaction n'est observée (altération, lixiviation du verre, etc.) entre la surface de la roche et le dépôt. Certains fragments de roches sont présents à l'intérieur du dépôt (Fig. 9, flèches) mais ils ne sont visiblement pas altérés. Ils résultent probablement d'un broyage du fragile matériau intervésiculaire (verre, microlites de feldspaths...).

Le dépôt consiste visiblement en un matériau sédimentaire naturel déposé dans les porosités en surface de l'objet afin de simuler un matériau provenant de son milieu d'enfouissement.

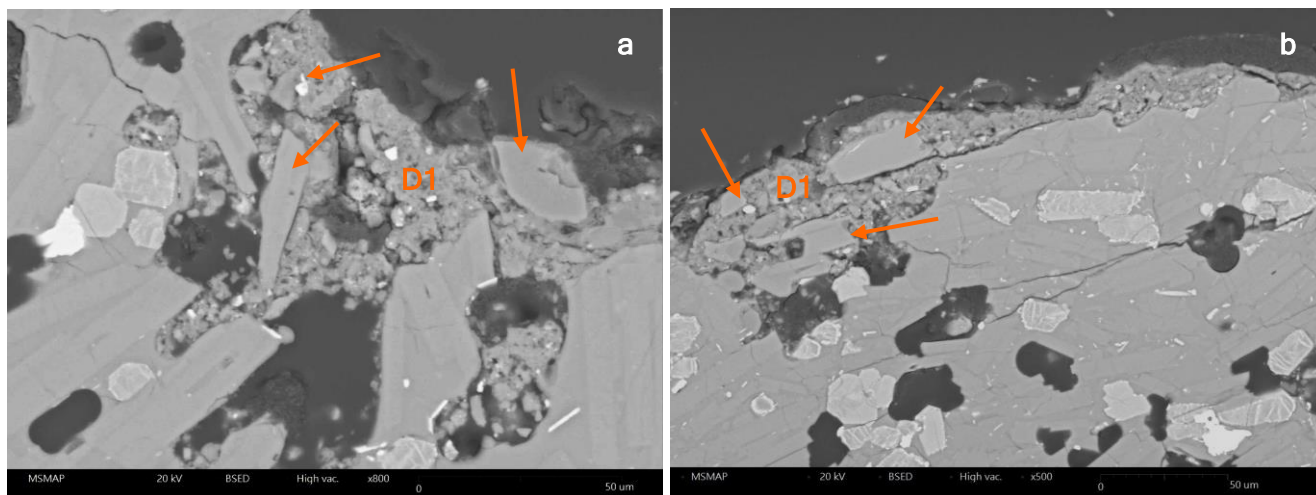


Figure 9 : Vues de détail (MEB, ERD) du dépôt beige à la surface des microsections P1 (a-, x800) et P2 (b-, x500)

Un dépôt translucide est observé presque systématiquement au contact de la roche (Fig. 10a, D2).

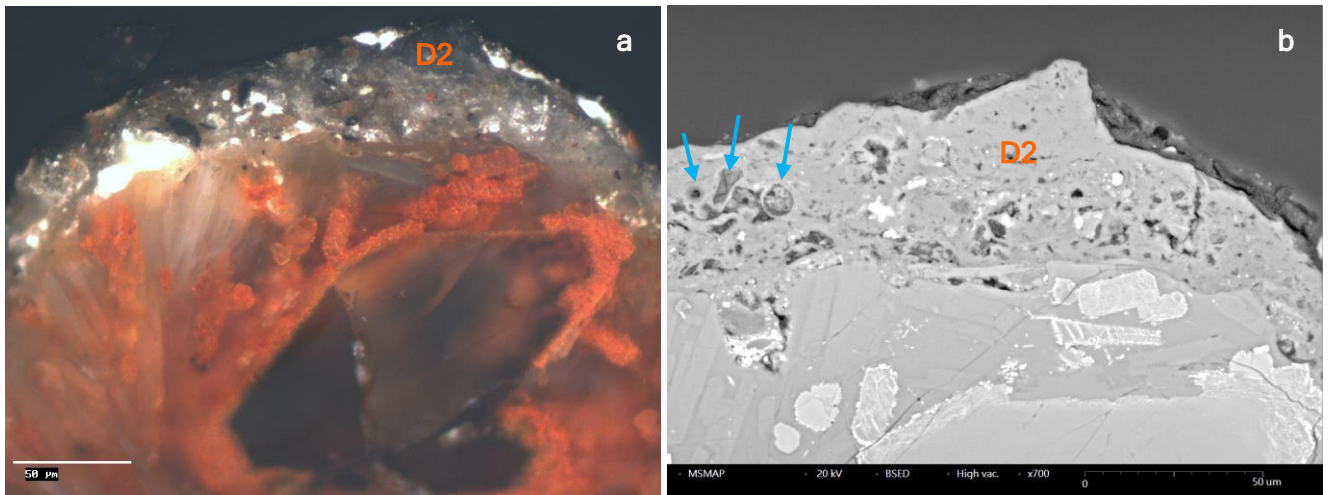


Figure 10 : Vues de détail (a-, microscope optique inversé, lumière polarisée, x500, b-, MEB, ERD, même champ, x700) et spectre d'analyse X (c-) du dépôt translucide. Microsection du prélèvement P1.

Ce dépôt consiste en un matériau cryptocristallin à amorphe riche en silice (Fig. 10b, D2 et 10c).

Ce « gel de silice » inclut des fragments de roches non-altérés (Fig. 11a, flèches orange), comme observé dans le dépôt beige. Il est difficile à notre niveau d'analyse de préciser la nature de ce matériau.

Dans le dépôt, certaines structures avec une morphologie creuse arrondie (Fig. 10 et 11, flèches bleue) suggèrent une origine organique (microorganismes, végétal ?).

Toutefois, une origine bio-minérale du dépôt, formé durant la phase d'enfouissement de l'objet dans un environnement biologiquement actif aurait induit une altération biochimique de la roche. Mais, sous le dépôt, la roche n'est pas altérée (Fig. 11b), ce qui est contradictoire avec la précédente hypothèse.

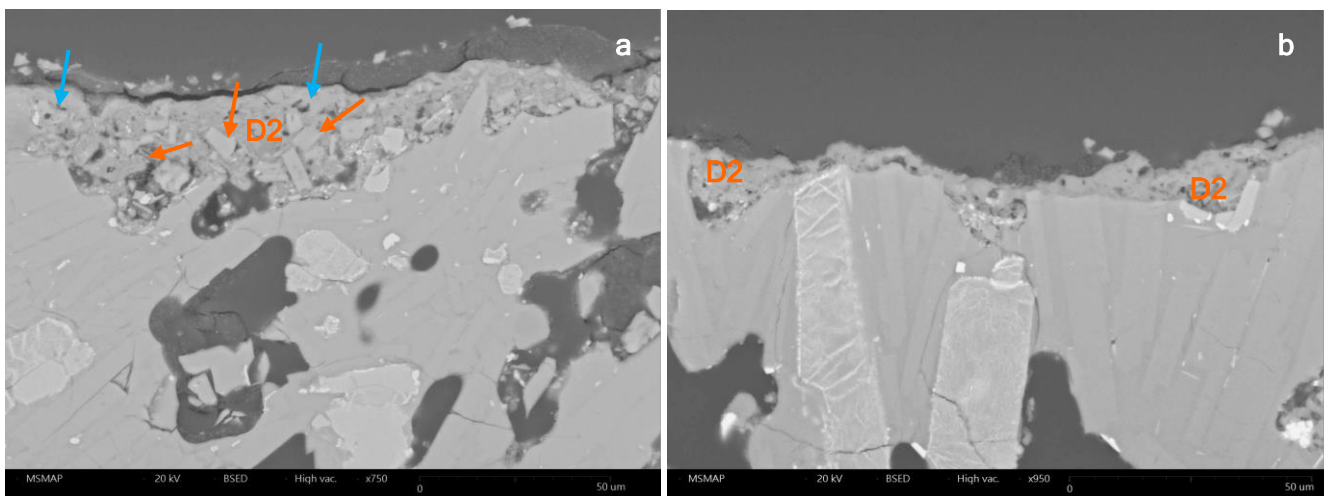


Figure 11: Vues de détail (MEB, ERD) du dépôt translucide à la surface des microsections P2 (a-, x750) et P1 (b-, x950).

Le dépôt translucide riche en silice contient des fragments broyés de sulfate de baryum (Fig. 12 et 13, flèches et Fig. 12b). Le sulfate de baryum ou baryte est une charge ou un pigment blanc utilisé en peinture depuis le début du XIX^{ème} siècle.

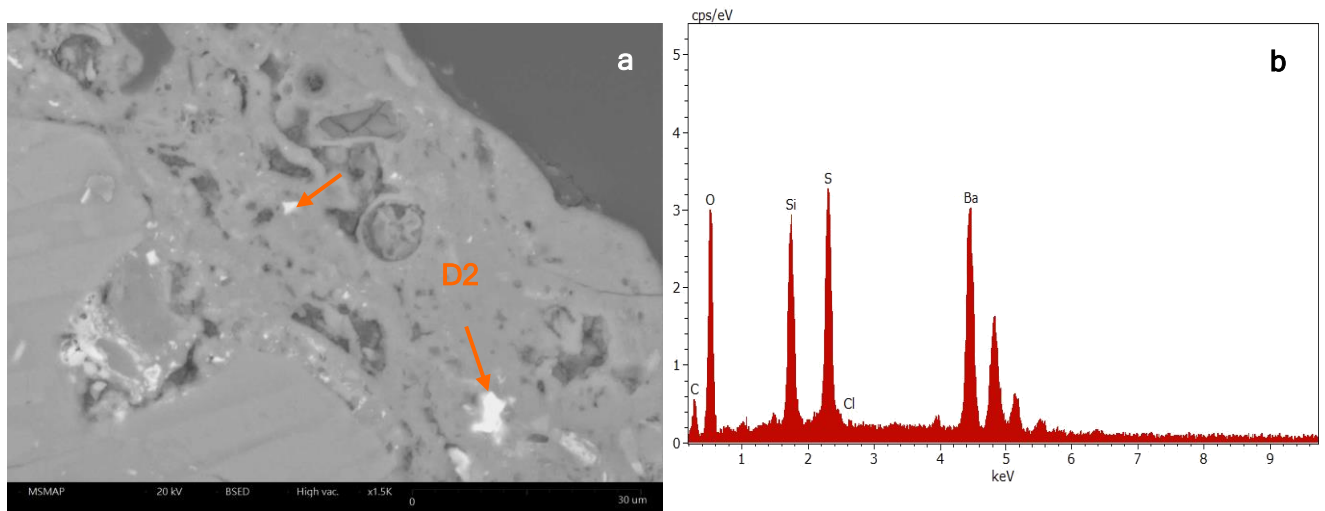


Figure 12: Vue de détail (a-, MEB, ERD, x1500) du dépôt translucide à la surface de la microsection P1 et spectre d'analyse X (b-) d'une particule de sulfate de baryum dans les dépôts.

La baryte est aussi un minéral qui peut être une impureté naturelle dans les sols. Cependant, l'importance de la présence de cet élément, comme l'unique impureté du dépôt, suggère qu'il a été volontairement ajouté au matériau riche en silicium.

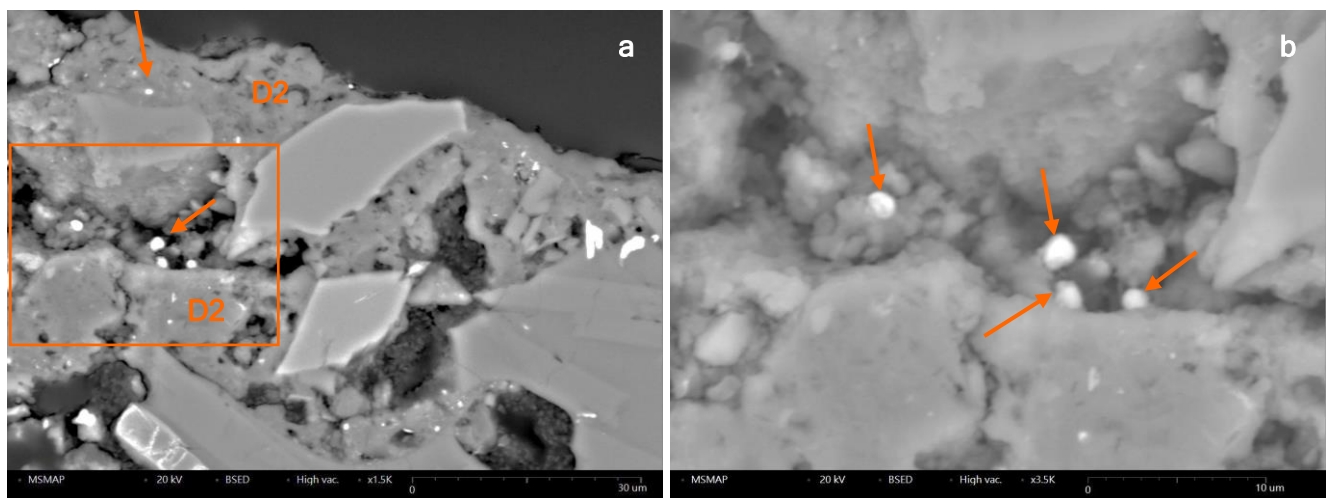


Figure 13: Vues de détail (MEB, ERD, a-, x1500) du dépôt translucide à la surface de la microsection P1 et (b-, x3500) de particules de sulfate de baryum dans le dépôt. Le cadre localise la figure 13b.

Ces caractéristiques sont en accord avec l'hypothèse d'une application d'un revêtement de gel de silice artificiel à la surface de l'objet.

Les dépôts encroûtant noirs présents au dos de la sculpture ont été étudiés à partir du microprélèvement P4 (Fig. 14, P4 et 14b)

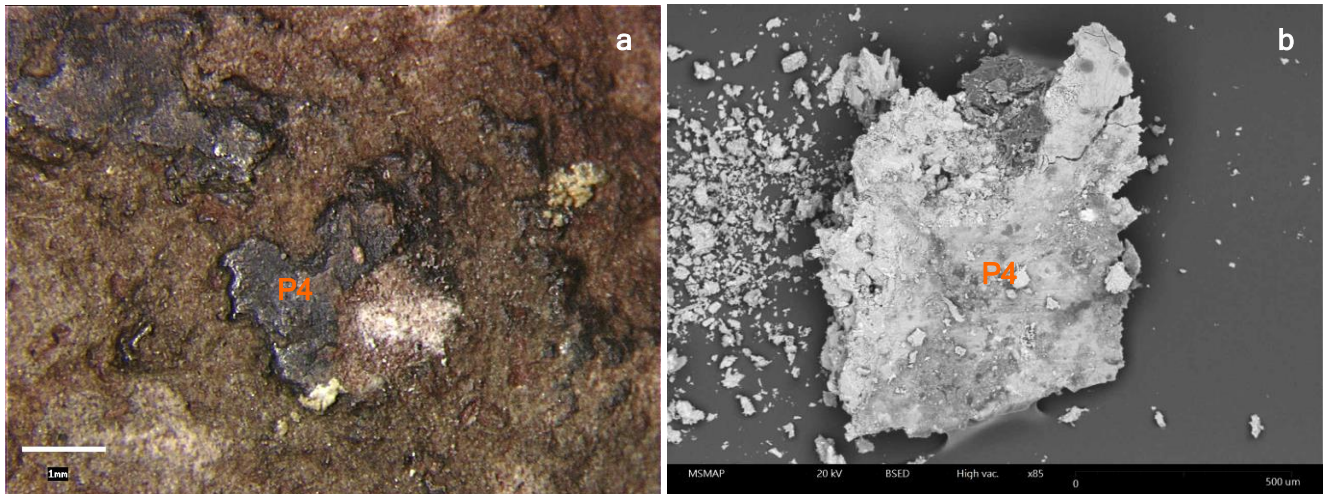


Figure 14: Vues de détail (a-, stéréomicroscope x15, motif tressé horizontal, b-, MEB, ERD, x85) et spectre d'analyse X (c-) du dépôt noir, localisation du prélèvement P4.

L'étude par MEB-EDX révèle un matériau riche en sulfate de calcium (Fig. 14c). Les composés silicatés (silice, aluminium, sodium, potassium, magnésium) proviennent du dépôt beige.

Le dépôt de sulfate de calcium (Fig. 15, SCa) est également observé sur les microsections, au-dessus du matériau translucide riche en silice décrit précédemment (Fig. 15a, D2) ou en contact direct avec la roche (Fig. 15b).

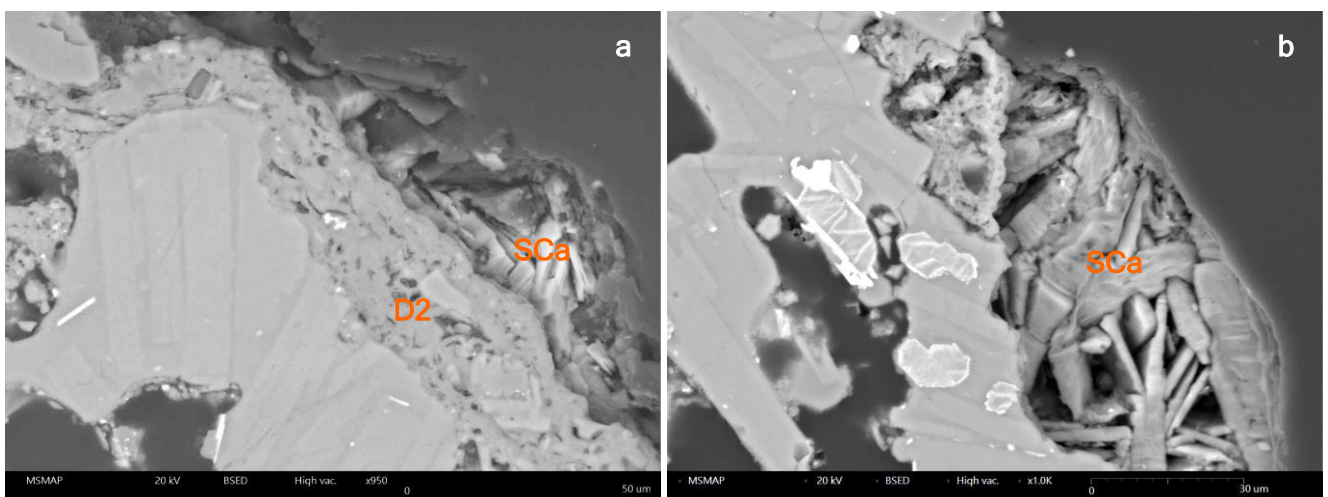


Figure 15: Vues de détail (MEB, ERD, a-, x950, b-, x1000) des dépôts de surface sur la microsection P1.

Cette position au-dessus du dépôt translucide met en évidence de la nature artificielle de l'encroûtement. Sa couleur noire pourrait avoir pour origine un pigment de noir de carbone appliqué sur les cristallisations de sulfate de calcium.

Un **dépôt blanc** est observé sur la microsection du prélèvement P3 (Fig. 16a, D3). Les analyses par MEB-EDX du dépôt montrent une teneur élevée en calcium et en titane (Fig. 16c) ainsi que de l'aluminium et du silicium. Du chlore et des traces de potassium sont également détectés.

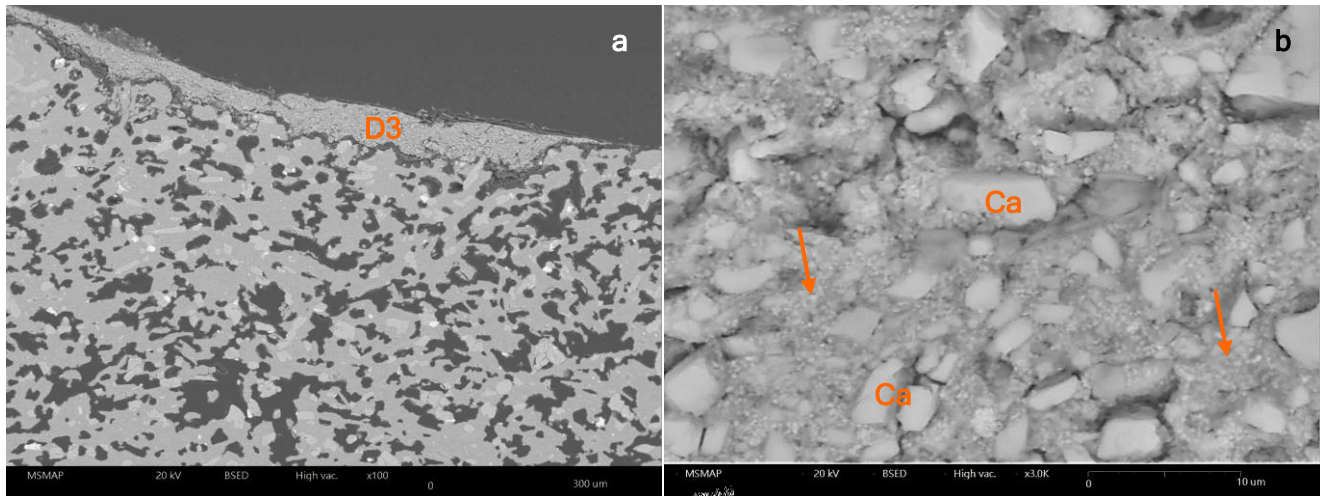


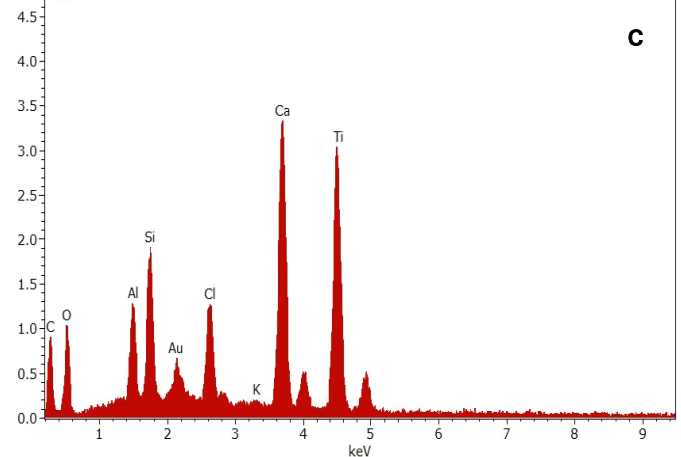
Figure 16 : Vues de détail (a-, MEB, ERD, x100) de la microsection du prélèvement P3, vue de détail (b-, MEB, ERD, x3000) et spectre d'analyse X (c-) du dépôt blanc

La teneur élevée en titane provient des nombreuses microparticules de pigment blanc d'oxyde de titane présentes (Fig.16b, flèches). Le blanc de titane est un pigment moderne (20ème siècle) utilisé en peinture.

Il est associé à du carbonate de calcium abondant (Fig. 6b, Ca) et du kaolin (argile).

Le chlore détecté peut provenir du liant de la peinture.

Ce dépôt est une peinture moderne. Cela pourrait être une pollution moderne plutôt qu'un dépôt volontaire.



4. ÉTUDE DES TRACES D'OUTILS

Les traces des outils utilisés pour façonner la sculpture n'ont pas pu être étudiées, à cause de la forte microporosité de surface de la roche.

Néanmoins, l'étude des répliques montre la présence récurrente de copeaux de fer et de chrome (acier inoxydable) en contact direct avec la roche altérée (Fig. 17a, flèches et 17b) mettant en évidence l'usage d'outils modernes pour le façonnage de la sculpture.

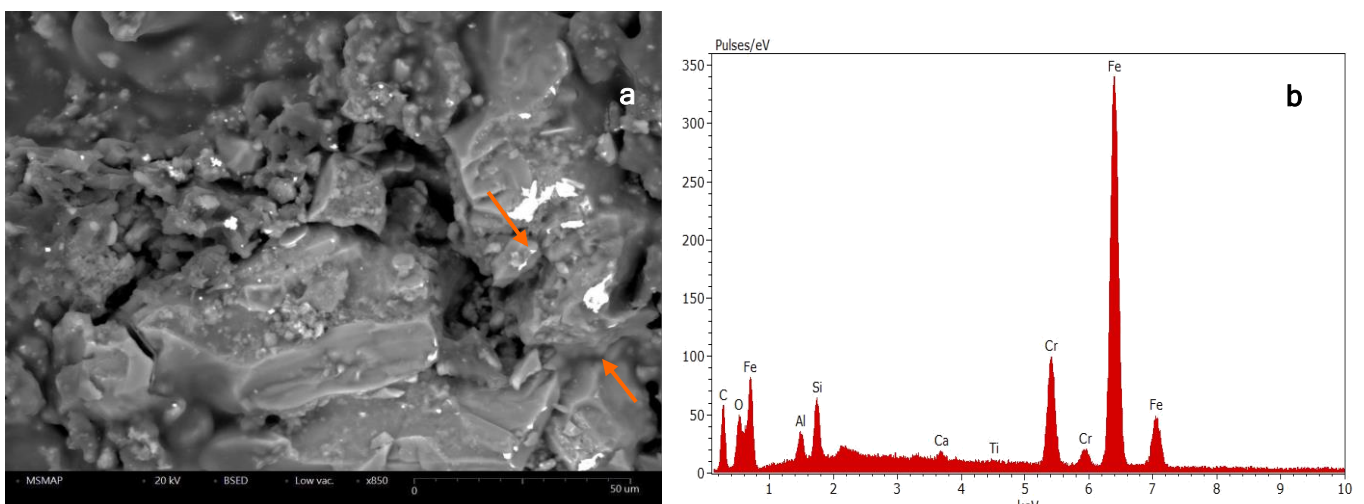


Figure 17 : Vue de détail (a-, MEB, ERD, x 850) et spectre d'analyse X (b-) des copeaux métalliques en contact avec la roche. Réplique R4.