



La Microscopie Électronique à Balayage en Archéométrie : Un outil incontournable.

L'Archéométrie

- Domaine inter-disciplinaire (archéologie, histoire de l'art, physique, chimie, géologie, biologie...)

L'Archéométrie

- Domaine inter-disciplinaire (archéologie, histoire de l'art, physique, chimie, géologie, biologie...)
- Méthodes d'analyses qualitatives et quantitatives appliquées des artefacts archéologiques

L'Archéométrie

- Domaine inter-disciplinaire (archéologie, histoire de l'art, physique, chimie, géologie, biologie...)
- Méthodes d'analyses qualitatives et quantitatives appliquées des artefacts archéologiques
- Caractérisation des matériaux anciens, datation, prospection géophysique, anthropologie...

L'Archéométrie

- Domaine inter-disciplinaire (archéologie, histoire de l'art, physique, chimie, géologie, biologie...)
- Méthodes d'analyses qualitatives et quantitatives appliquées des artefacts archéologiques
- Caractérisation des matériaux anciens, datation, prospection géophysique, anthropologie...
- Objectif : retracer l'histoire des artefacts, comprendre les réseaux commerciaux, l'organisation des ateliers, les structures socio-économiques des sociétés anciennes.

Archéosciences Bordeaux (UMR 6034)

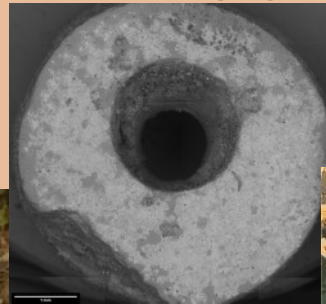
- Thématiques : datation par luminescence, bâtiments, anthropologie, étude de provenance, techniques de fabrication, altération et conservation, reconstitutions 3D...

Archéosciences Bordeaux (UMR 6034)

- Thématiques : datation par luminescence, bâtiments, anthropologie, étude de provenance, techniques de fabrication, altération et conservation, reconstitutions 3D...
- Artefacts et objets archéologiques : céramiques, pierres, obsidiennes, verres, métaux cuivreux, peintures, pigments, os, dents...



Source gallica4017 - Bibliothèque nationale de France



Archéosciences Bordeaux (UMR 6034)

- Thématiques : datation par luminescence, bâtiments, anthropologie, étude de provenance, techniques de fabrication, altération et conservation, reconstitutions 3D...
- Artefacts et objets archéologiques : céramiques, pierres, obsidiennes, verres, métaux cuivreux, peintures, pigments, os, dents...
- Nombreuses techniques : Microscopie optique, cathodoluminescence, XRF, XRD, IR, RAMAN, LIBS, imagerie hyperspectrales, LA ICP-MS, **MEB-EDS...**

<https://www.archeosciences-bordeaux.fr/Presentation>

Archéosciences Bordeaux (UMR 6034)



- JEOL IT 500 HR (FEG), mode LV
- Détecteurs SED, BED et LVSED
- 2 EDS Oxford Instruments Ultimex 100 en vis à vis
- Spectromètre CL GATAN à détection séquentielle

Tapiserie d'Aubusson (Mounier et al.)

La Verdure fine aux armes du Comte de Brühl, Cité Internationale d'Aubusson (France)

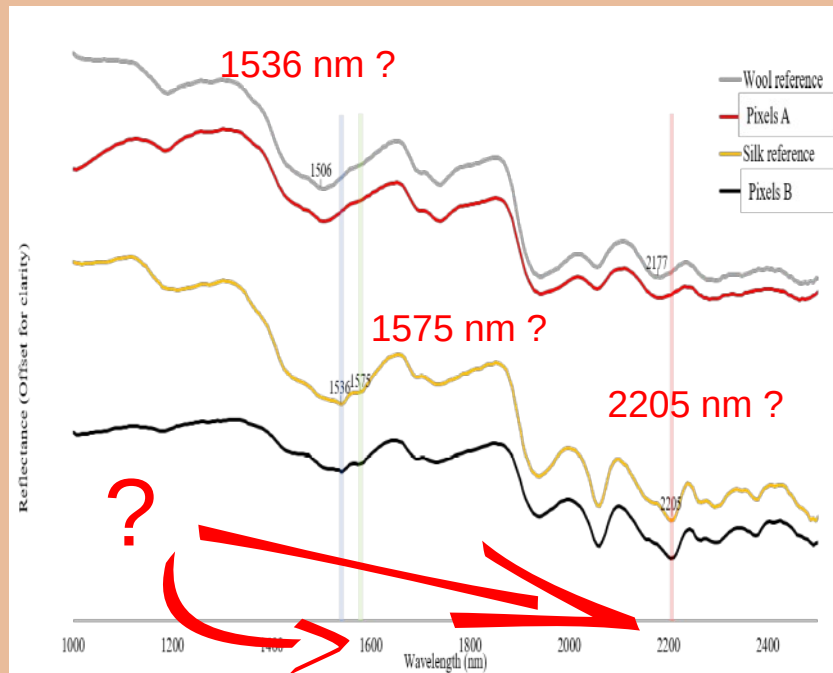


*Brühl tapestry
(7 x 4 m),
photo N. Roger.*

Tapiserie d'Aubusson (Mounier et al.)



Confirmer les données Hyperspectrales pour l'identification des fibres textiles



Tapissserie d'Aubusson (Mounier et al.)

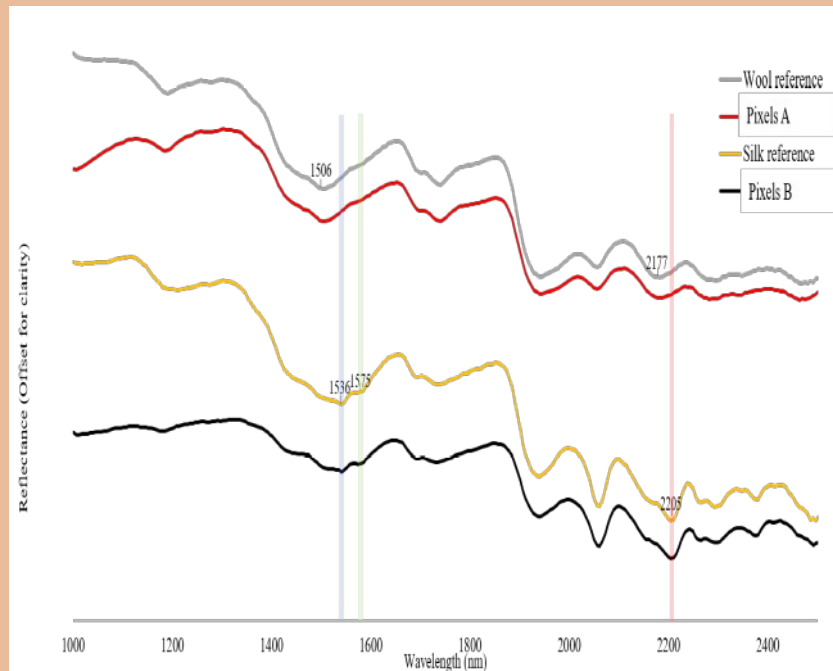
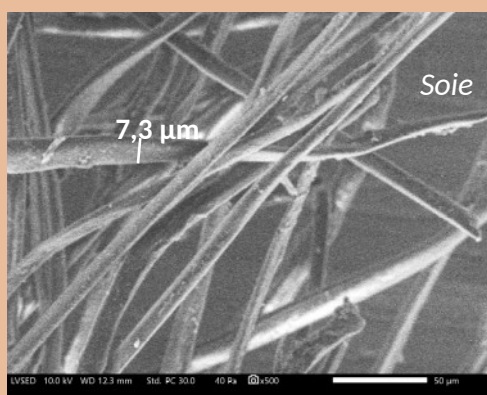
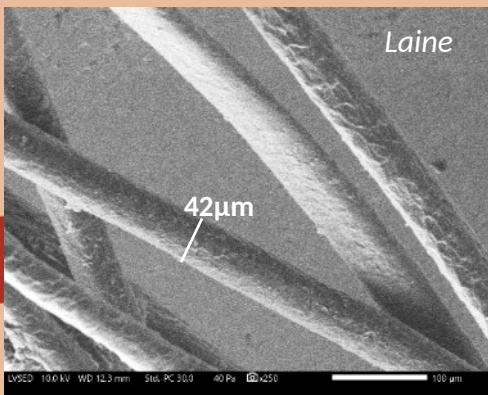
Laine



Soie

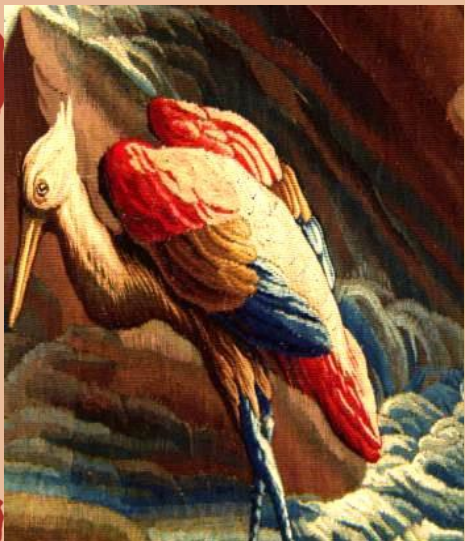


Tissage de fils de laine et soie

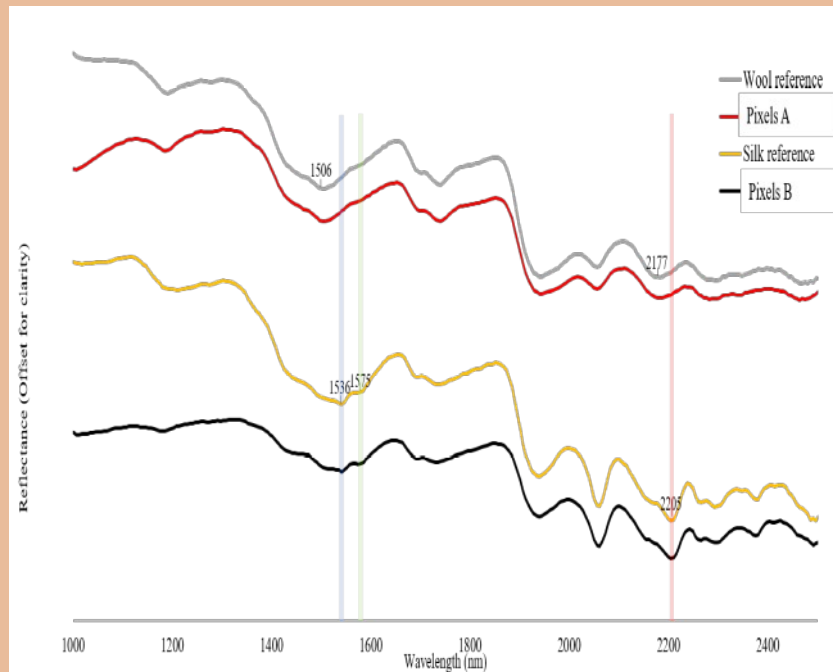


Tapissserie d'Aubusson (Mounier et al.)

Laine Soie Coton



RGB & SWIR HSI false colour 1
(R: 2205, G: 1575, B: 1536 nm)



Dents (Orellana Gonzalez et al.)

- Objectif : Caractérisation et étude de marqueurs de stress des dents de lait. Informations sur les modes de vie, modes d'alimentation et les traits d'histoire de vie.



Dents (Orellana Gonzalez et al.)



Analyse élémentaire par « Spectre Ligne » (% massique, pas de 5 µm)

Dents (Orellana Gonzalez et al.)

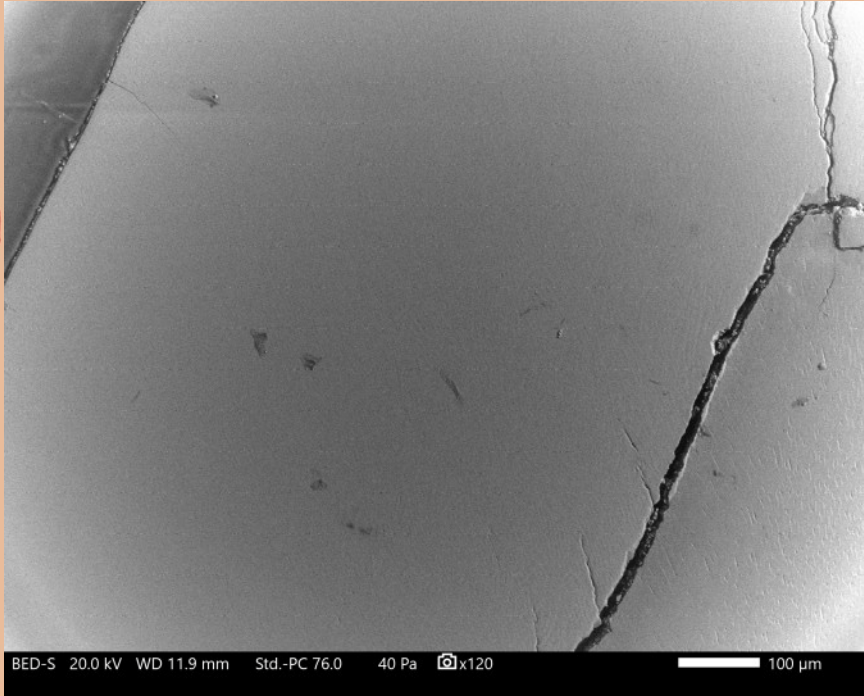


Image BED

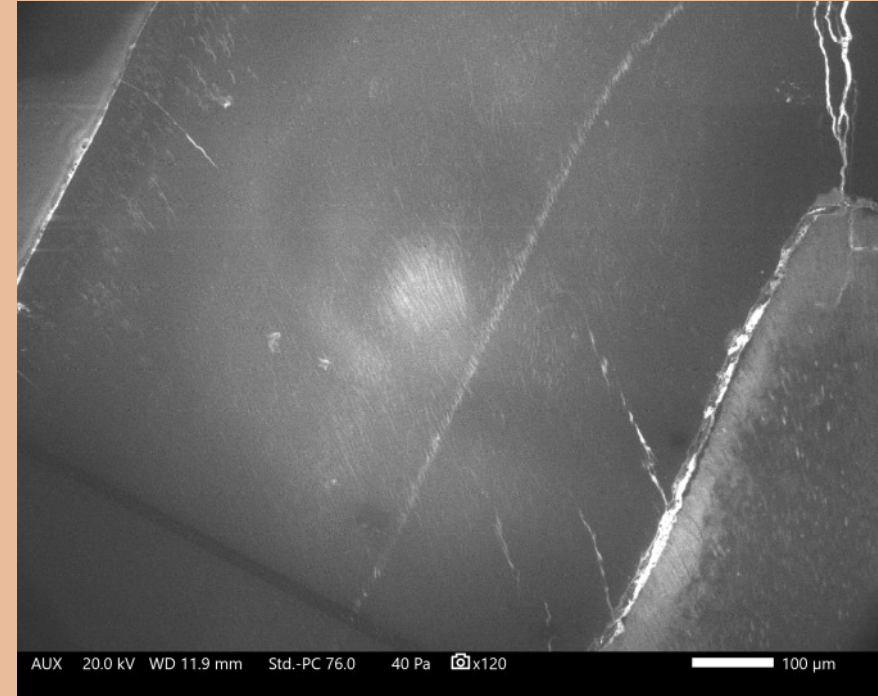
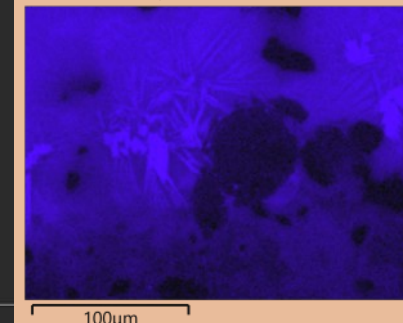
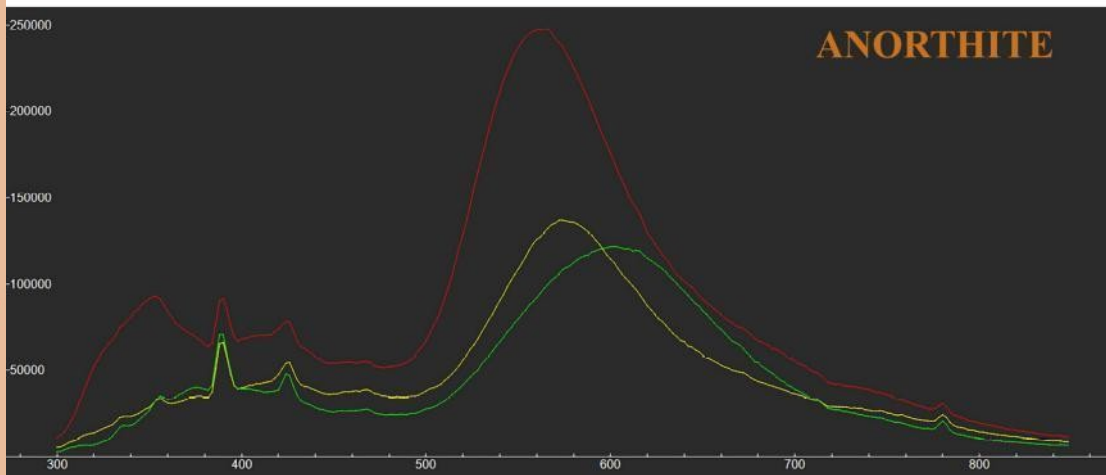
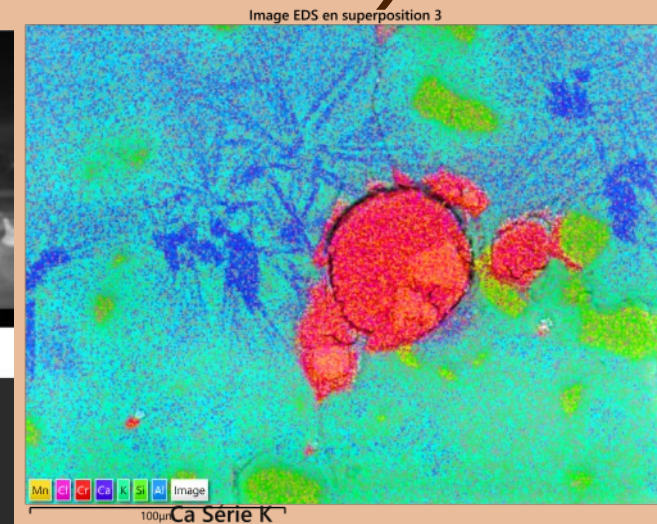
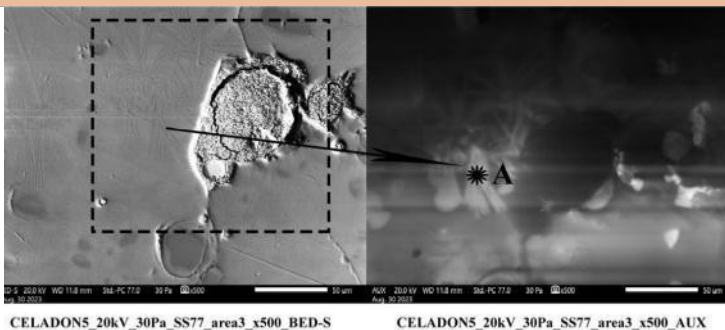


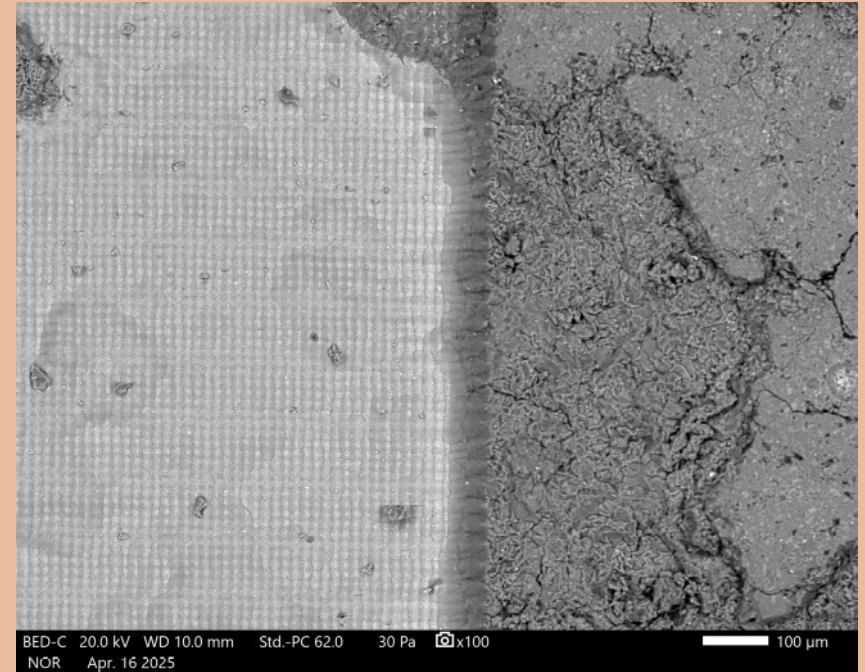
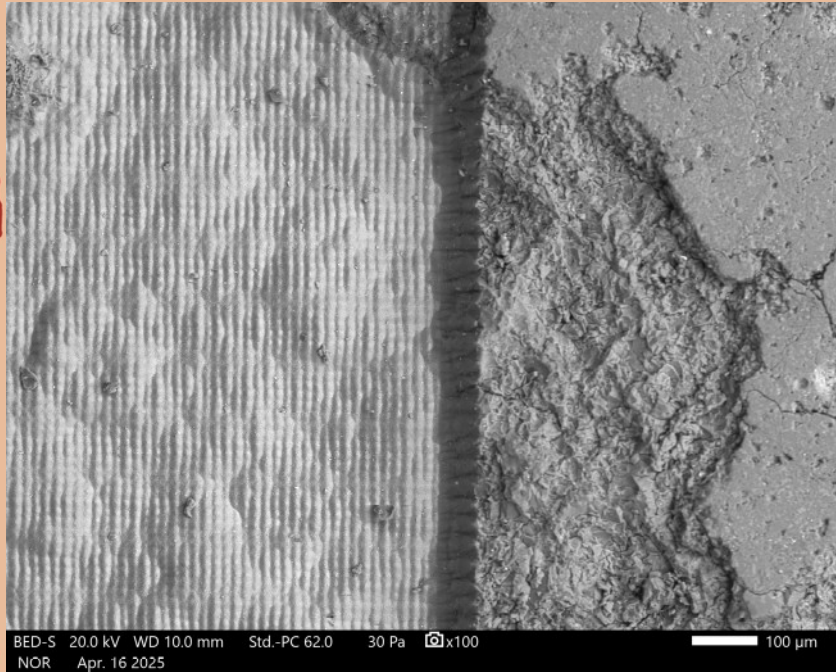
Image CL panchromatique
Microstructures de l'émail et la dentine

Céladon (Emami et al. 2025)



560-600 nm
Mn²⁺ en
substitution
de Ca²⁺

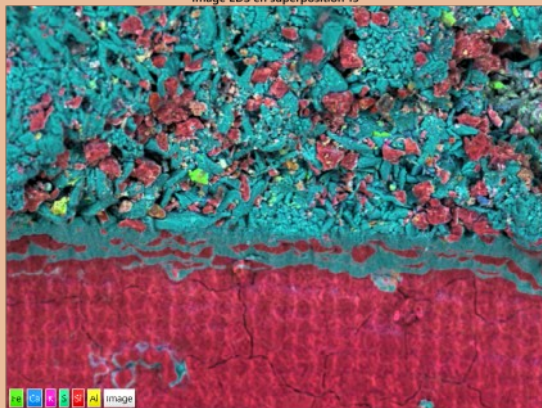
Conservation et nettoyage de vitraux



Mesure d'épaisseur de la grisaille, calcite ou gypse
Efficacité du traitement laser et analyse des dégâts

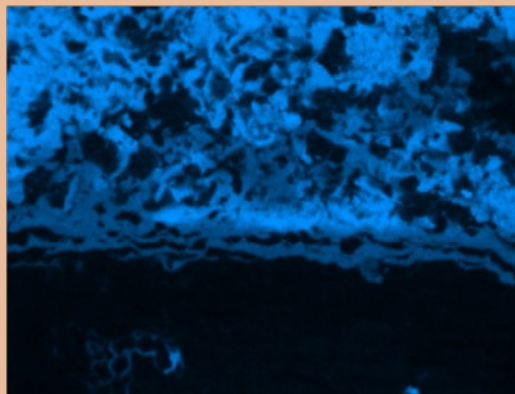
Conservation et nettoyage de vitraux

Image EDS en superposition 15



Si K α 1

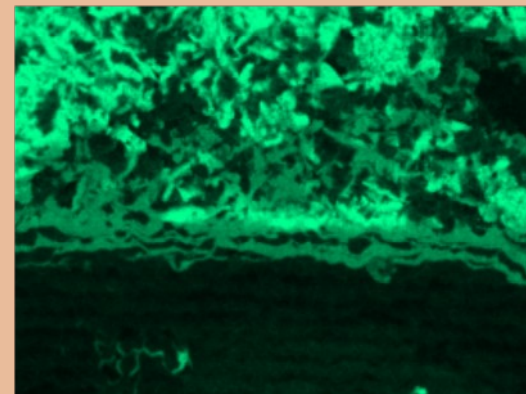
Ca K α 1



100µm

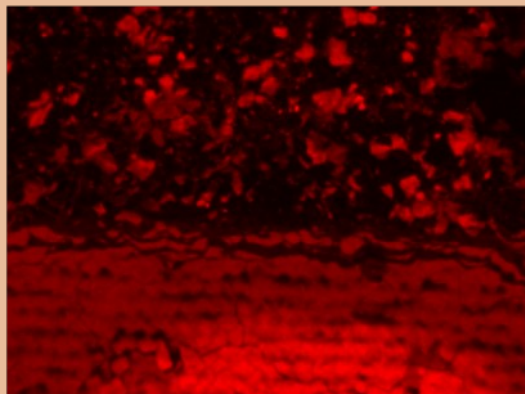
Al K α 1

S K α 1

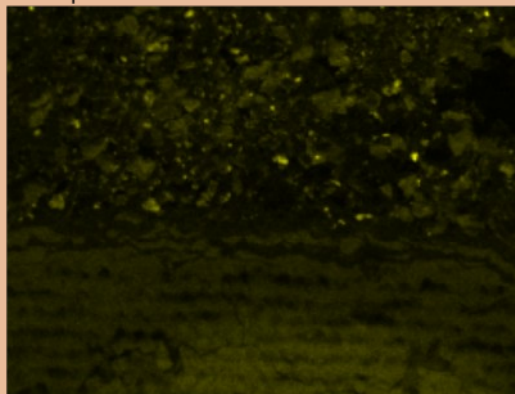


100µm

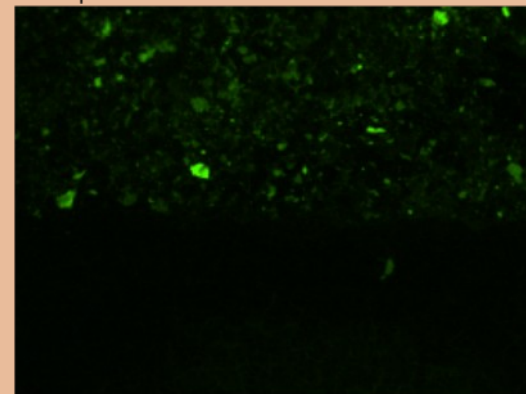
Fe K α 1



100µm



100µm



100µm

PyMca ROI tool

```
import hyperspy.api as hs
```

```
s = hs.load(filenamees = "./Carto_vitraux_nettoyage_laser.rpl",  
            reader = "rpl",  
            signal_type = "EDS_SEM")
```

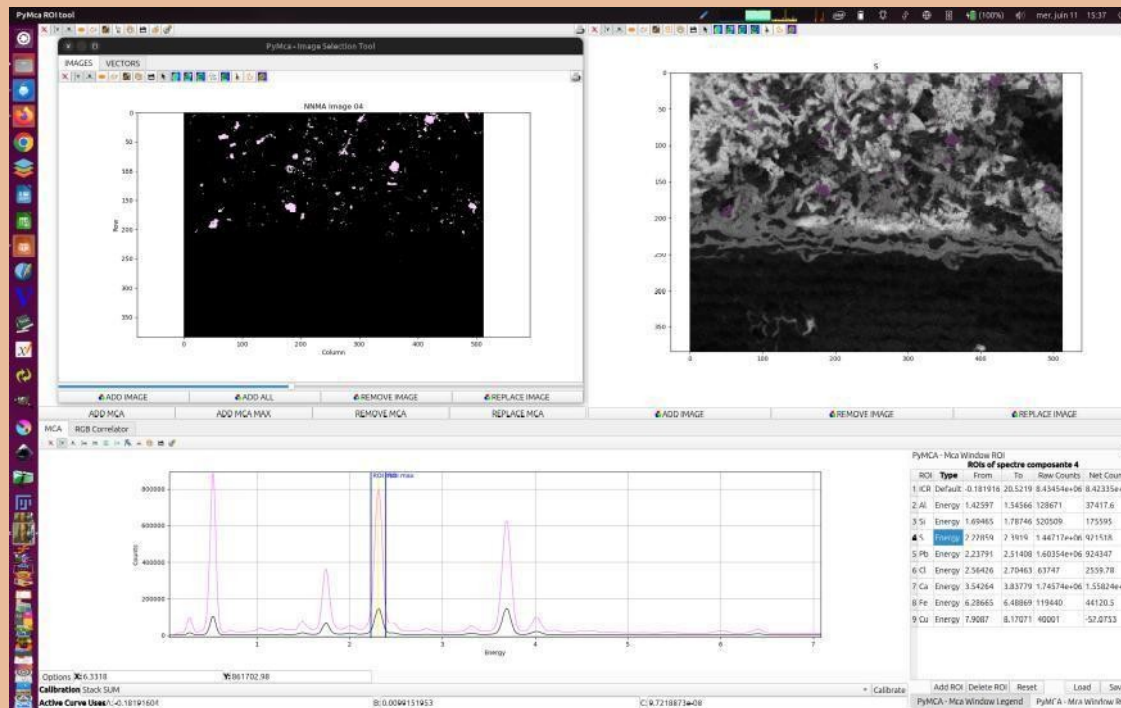
```
print(s)  
im = s.to_signal1D()  
print(im)
```

```
im.save("./Carto_vitraux_nettoyage_laser",  
        close_file = False,  
        extension = "hspy" )
```

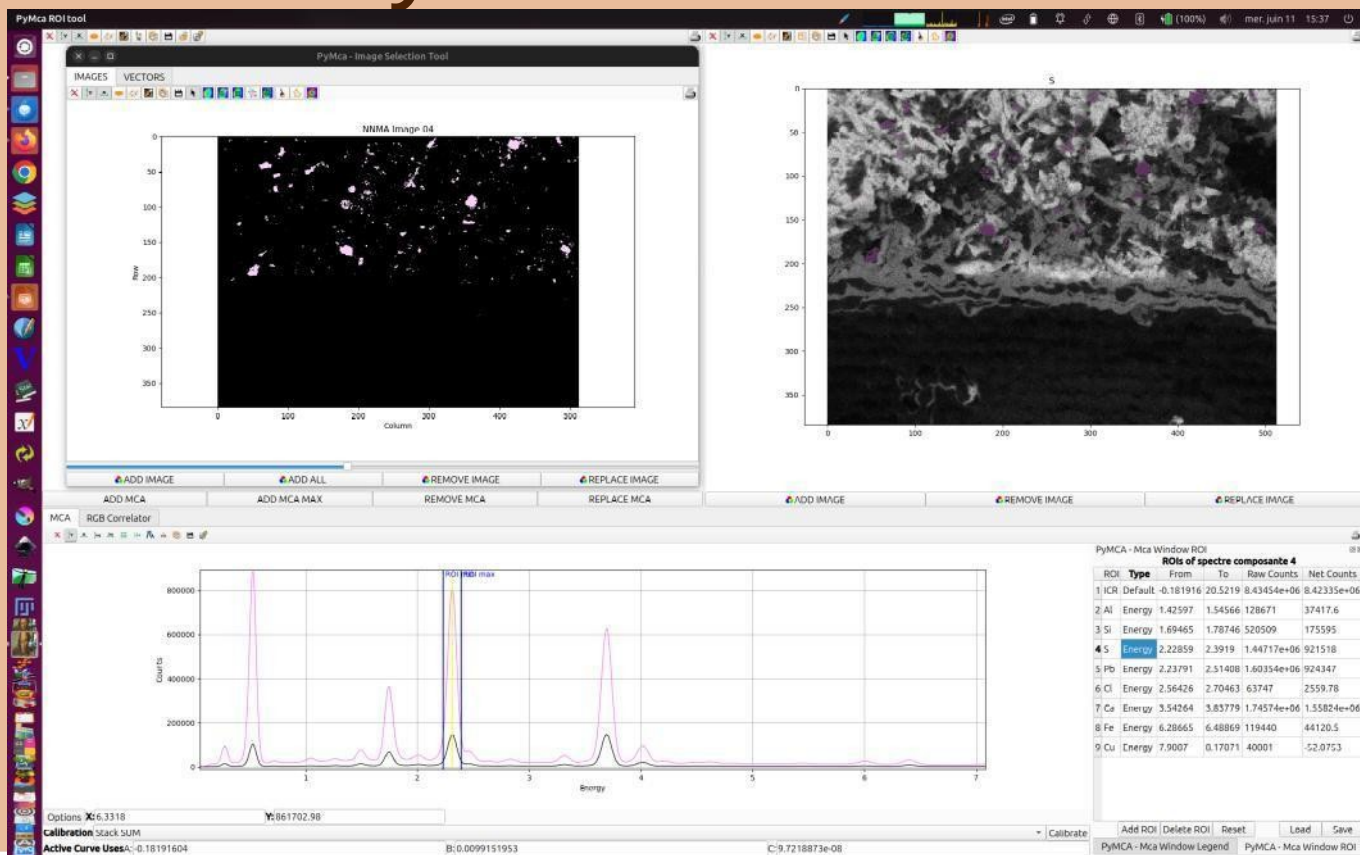
<https://hyperspy.org/>

<https://www.silx.org/doc/PyMca/dev/index.html>

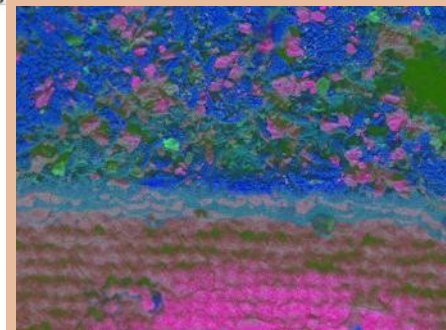
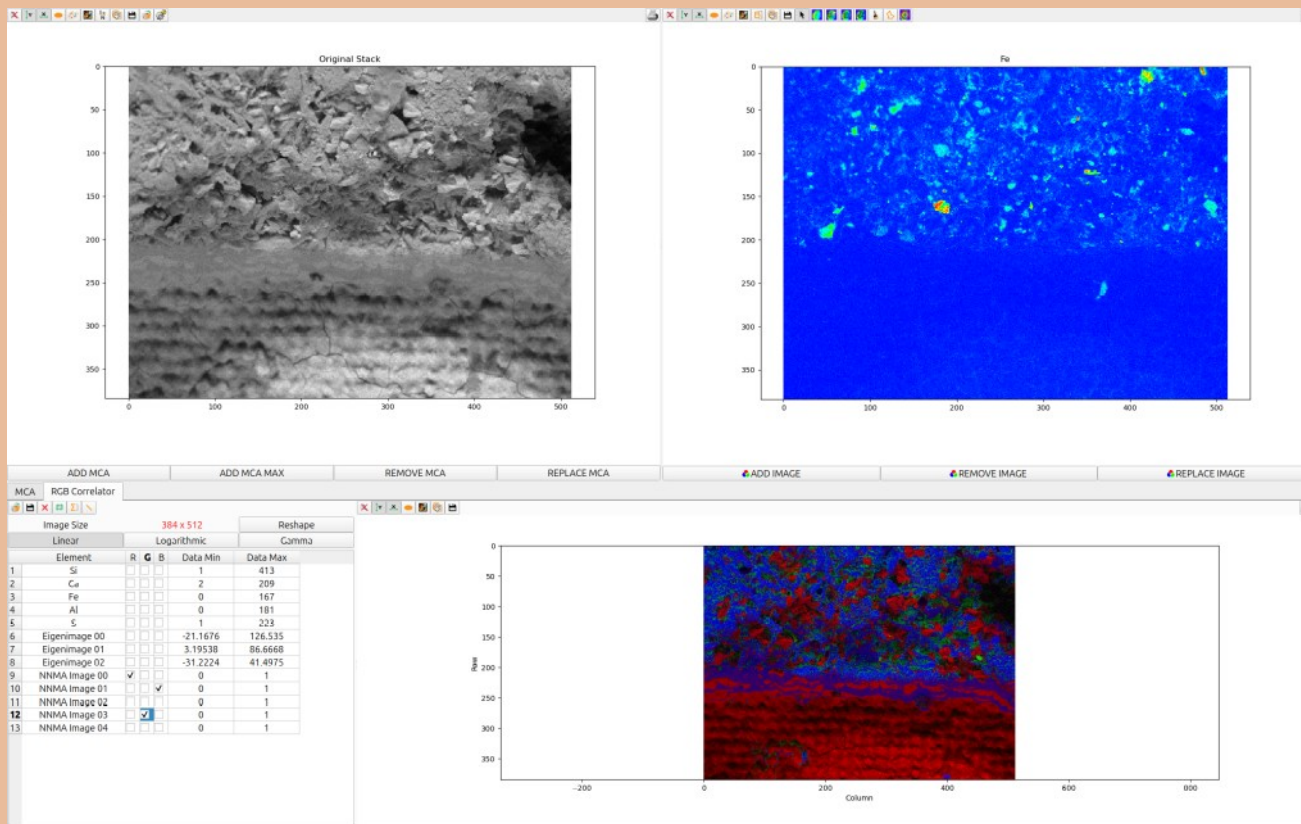
<https://quasar.codes/>



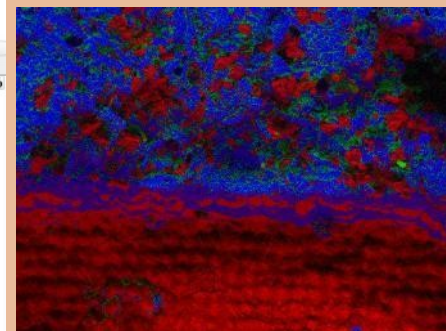
PyMca ROI tool



PyMca ROI tool



Analyse par ACP



Analyse par NNMA

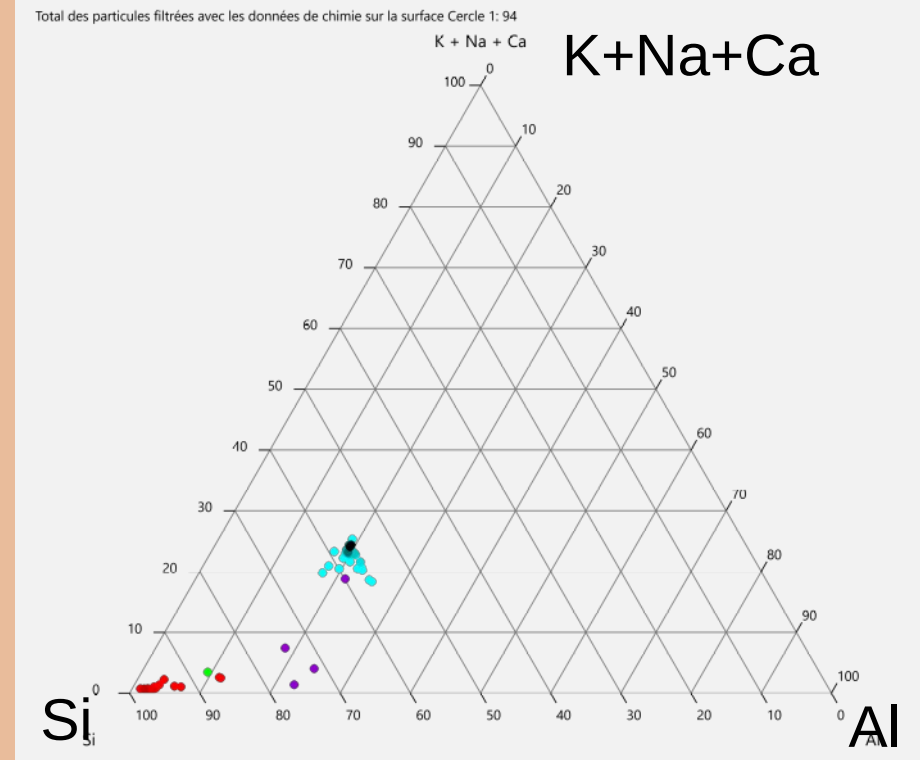
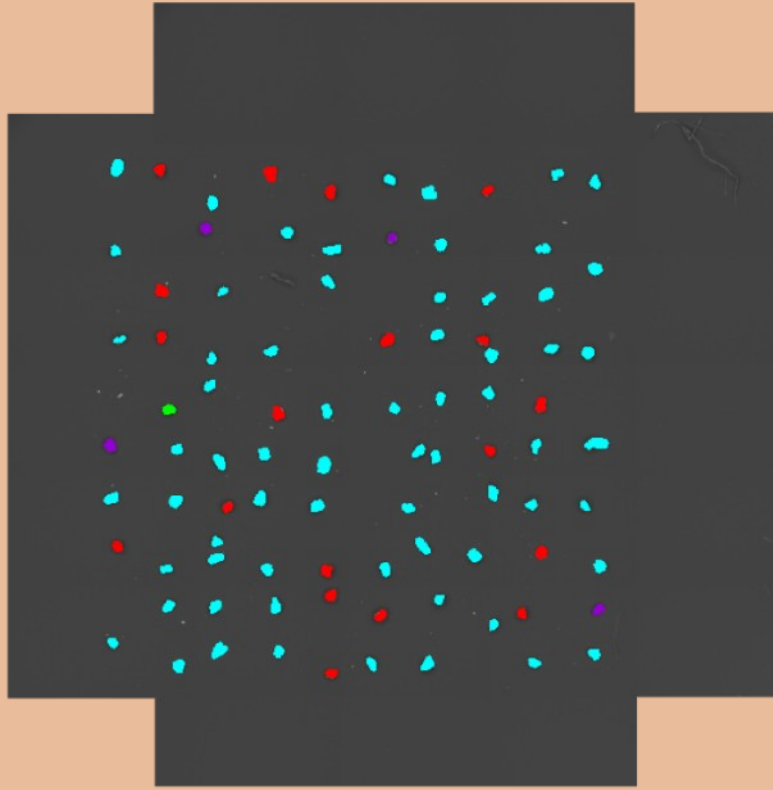
Datation par luminescence

- Équation d'âge : $A = D_e / D_a$
- Objectifs : simulations et calculs d'âges plus justes et précis.

Quantification de [K] pour le débit de dose interne des grains de feldspaths.

- **Détection automatique et quantification des grains.**

Datation par luminescence



2.5mm

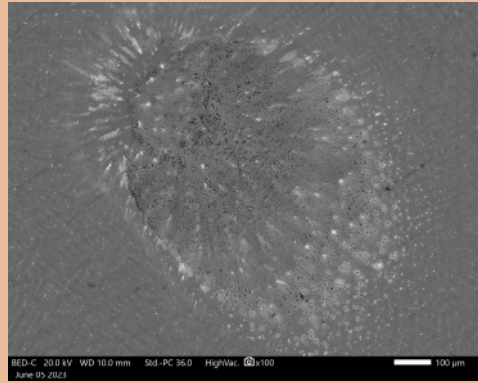
Dureté alliages Cu par LIBS

- Détermination de la dureté d'alliages cuivreux via la LIBS par mesure de rapports d'intensité de certains pics élémentaires
- Problème : Forte dispersion des mesures LIBS

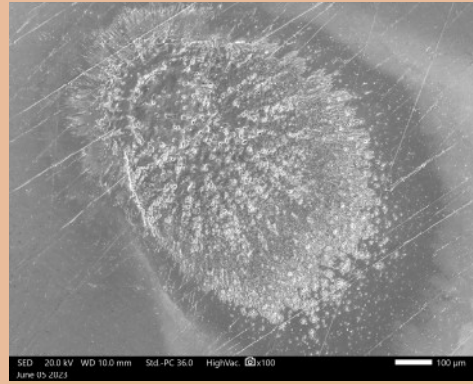


Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

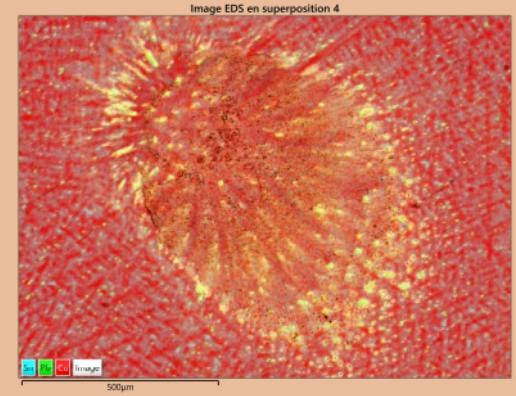
Dureté alliages Cu par LIBS



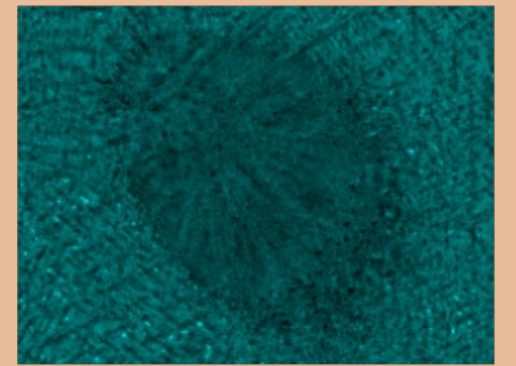
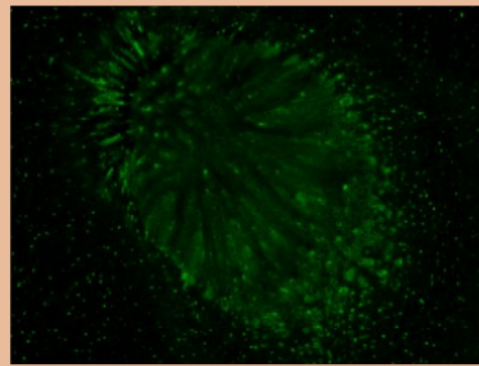
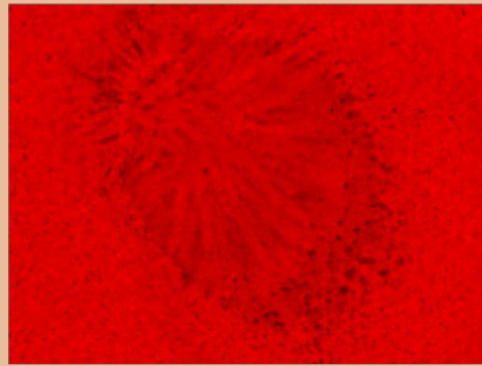
Cu Série K



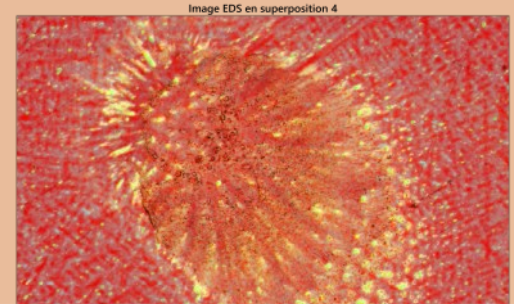
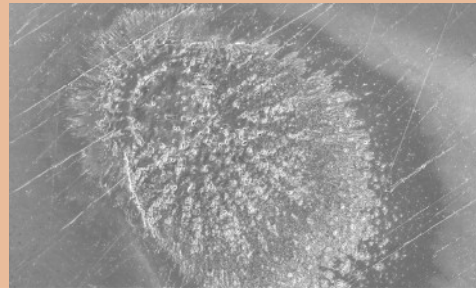
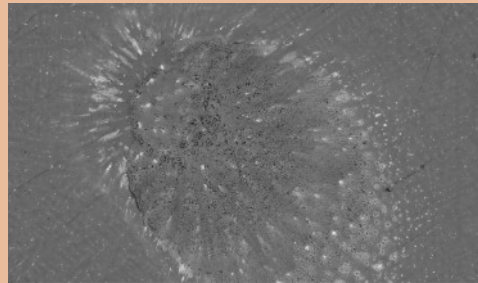
Pb Série M



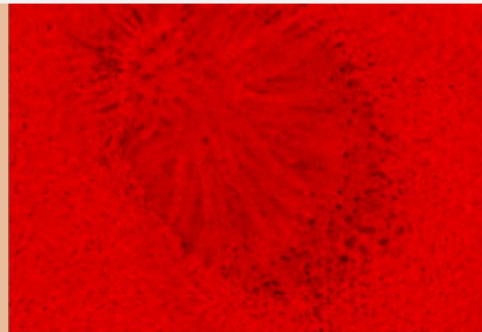
Sn Série L



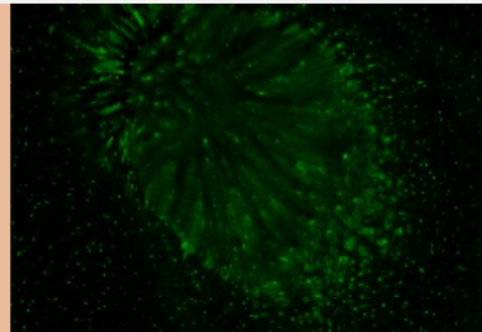
Dureté alliages Cu par LIBS



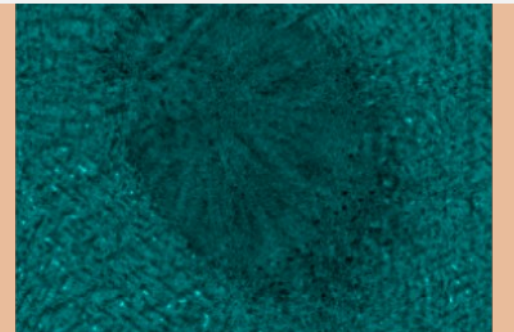
- Nodules de plomb inhomogènes
- Ségrégation et re-déposition



500µm



500µm



500µm

Dureté alliages Cu par LIBS

The screenshot displays the Fiji ImageJ interface with a macro named 'Macro_Paul_2.ijm' running. The macro performs the following steps:

```
1 run("Duplicate...", " ");
2 //run("Brightness/Contrast...");
3 run("Enhance Contrast", "saturated=0.35");
4 run("Apply LUT");
5
6 setAutoThreshold("MaxEntropy dark");
7 //setThreshold(134, 255);
8 setOption("BlackBackground", true);
9 run("Convert to Mask");
10
11
12 run("Fill Holes");
13 run("Open");
14
15
16 run("Set Measurements...", "area shape area_fraction add redirect=None decimal=2");
17 run("Analyze Particles...", " show-overlay display clear include summarize overlay add");
18 run("Analyze Particles...", " show-overlay display exclude clear include summarize overl");
19
```

The 'Summary' window shows the following data:

Size	Count	Total Area	Average Size	NArea	Circ.	Solidity
LB14 20kV PC36 HV LIBS 1 x80_BED-C_1.1.tif	3576	1.017	8.372E-4	16.119	0.861	0.907
LB14 20kV PC36 HV LIBS 1 x80_BED-C_1.1.tif	3571	3.004	8.412E-4	15.942	0.862	0.907

The 'Results' window displays a table of particle measurements:

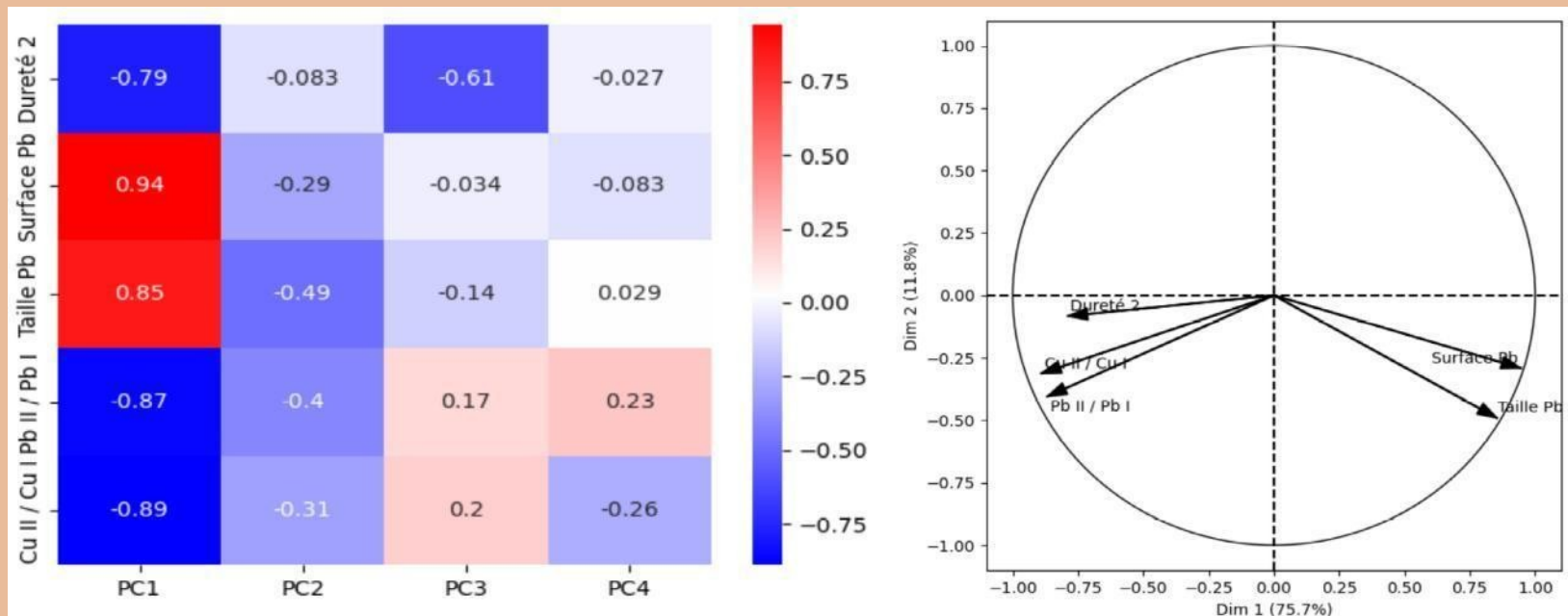
Area	Circ.	NArea	AR	Round	Solidity
3540	2.248E-4	0.96	100	1.28	0.78
3547	2.790E-4	1.00	100	1.21	0.83
3548	1.124E-4	0.98	100	1.61	0.82
3549	1.279E-4	1.00	100	1.20	0.82
3550	1.938E-4	0.88	100	2.56	0.39
3551	6.975E-5	1.00	100	1.36	0.73
3552	8.929E-5	1.00	100	1.37	0.73
3553	2.868E-4	0.96	100	1.65	0.95
3554	2.829E-4	0.94	100	1.29	0.78
3555	3.488E-5	1.00	100	1.00	1.00
3556	6.975E-5	0.92	100	2.00	0.50
3557	2.790E-4	0.78	100	1.87	0.53
3558	1.143E-4	0.95	100	1.51	0.66
3559	8.138E-5	1.00	100	1.18	0.85
3560	2.829E-4	0.87	100	1.57	0.64
3561	9.688E-5	0.90	100	1.91	0.52
3562	2.170E-4	0.85	100	1.23	0.81
3563	1.201E-4	0.98	100	1.32	0.76
3564	3.488E-5	1.00	100	1.00	1.00
3565	9.688E-5	0.98	100	1.45	0.69
3566	5.425E-5	1.00	100	1.32	0.76
3567	6.975E-5	1.00	100	1.36	0.73
3568	1.201E-4	0.98	100	1.41	0.71
3569	5.812E-5	1.00	100	1.14	0.88
3570	3.488E-5	1.00	100	1.00	1.00
3571	5.425E-5	1.00	100	1.32	0.76

Traitement d'image (macro ImageJ) :

- Surface spécifique du plomb
- Taille moyenne des précipités de plomb

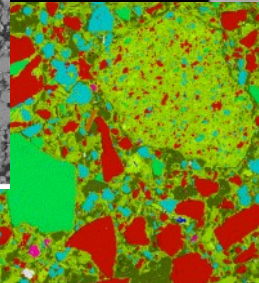
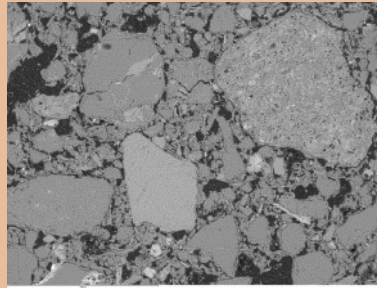
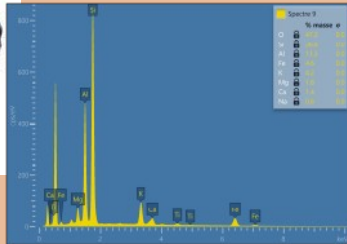
Dureté alliages Cu par LIBS

- ACP sur mesures des pics LIBS et les paramètres stéréologiques mesurés au MEB.

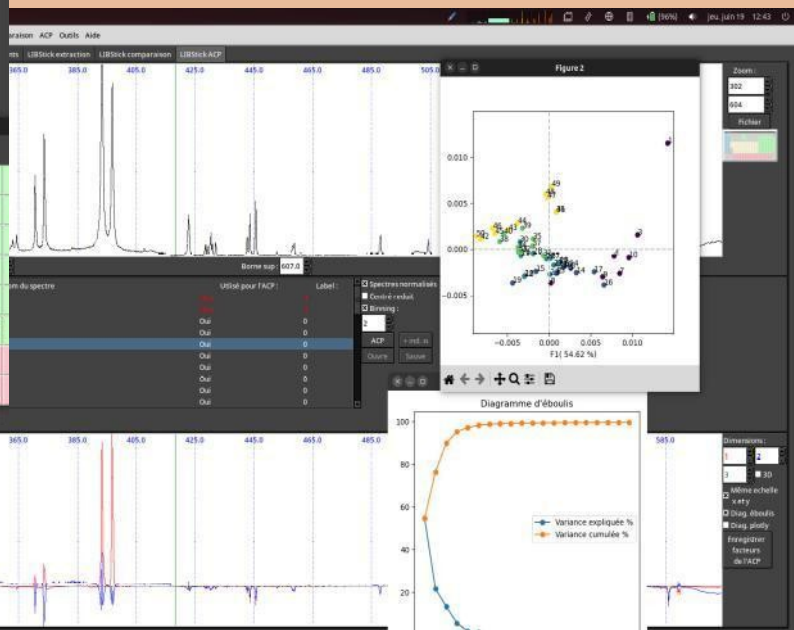
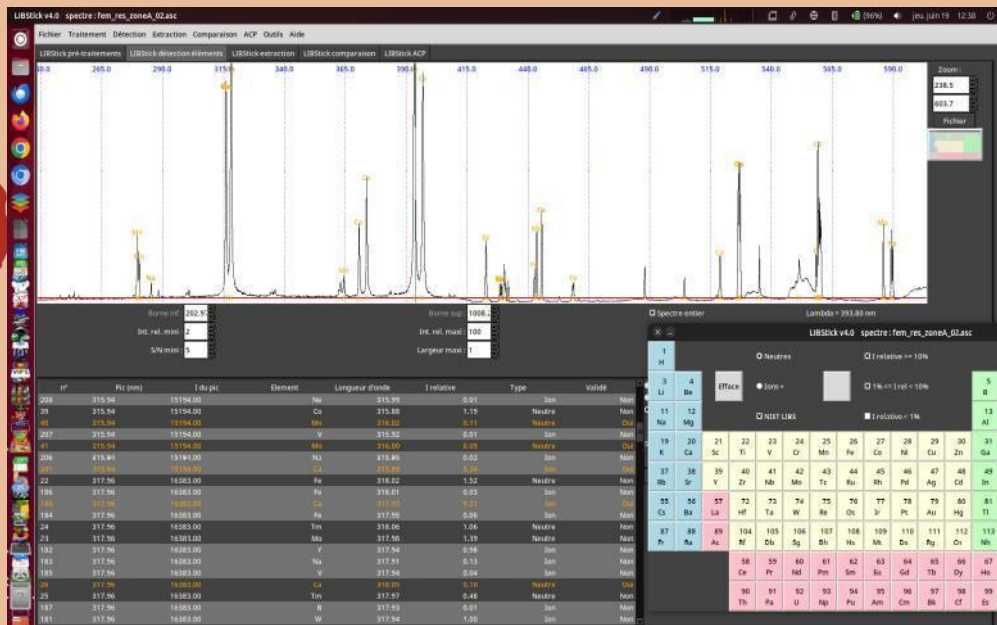


La Microscopie Électronique à Balayage en Archéométrie : Un outil incontournable.

- Variété de sujets, des matériaux et des techniques
- Un outil indispensable et complémentaire aux autres techniques d'analyse...



LIBStick



<https://github.com/crp2a/LIBStick>