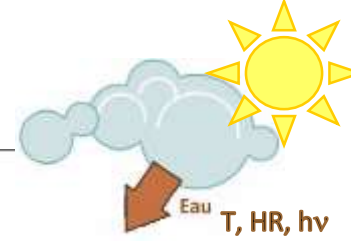
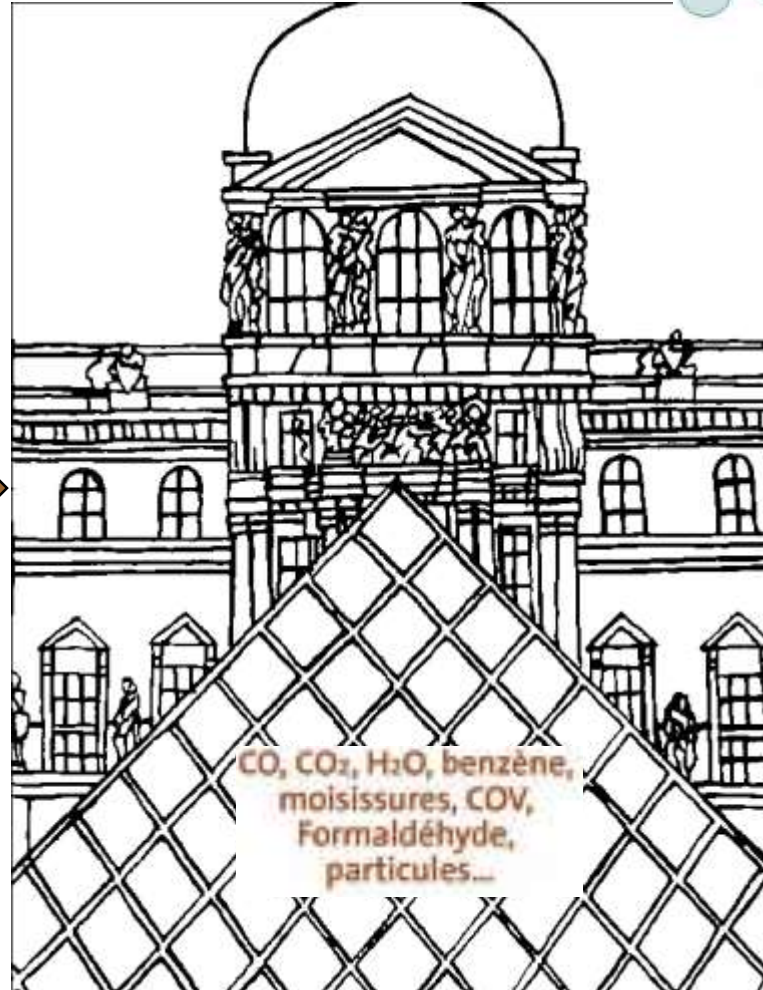


Altération des matériaux du patrimoine : apport de la microscopie électronique

Anne CHABAS

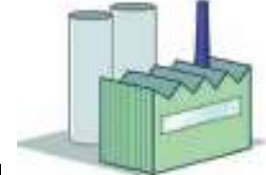
Altération des matériaux au contact de l'atmosphère

MATERIAUX
minéraux
métalliques
organiques
composites



Polluants industriels
et automobiles

domestiques
 SO_2



Benzène,
particules,
fibres, NO_x , COV,
CO, CO_2



Altération par perte de matière



Perte de relief

Dissolution

Altération par gain de matière



Couche noire adhérente

Croûtes gypseuses

Influence de l'HR, du SO₂ et
des particules

Equipe « Patrimoine » du LISA

Identifier les causes et comprendre les mécanismes d'altération des matériaux du patrimoine

Fil conducteur : étude conjointe « environnement-matériaux »

Facteurs extrinsèques

Dépôts humides

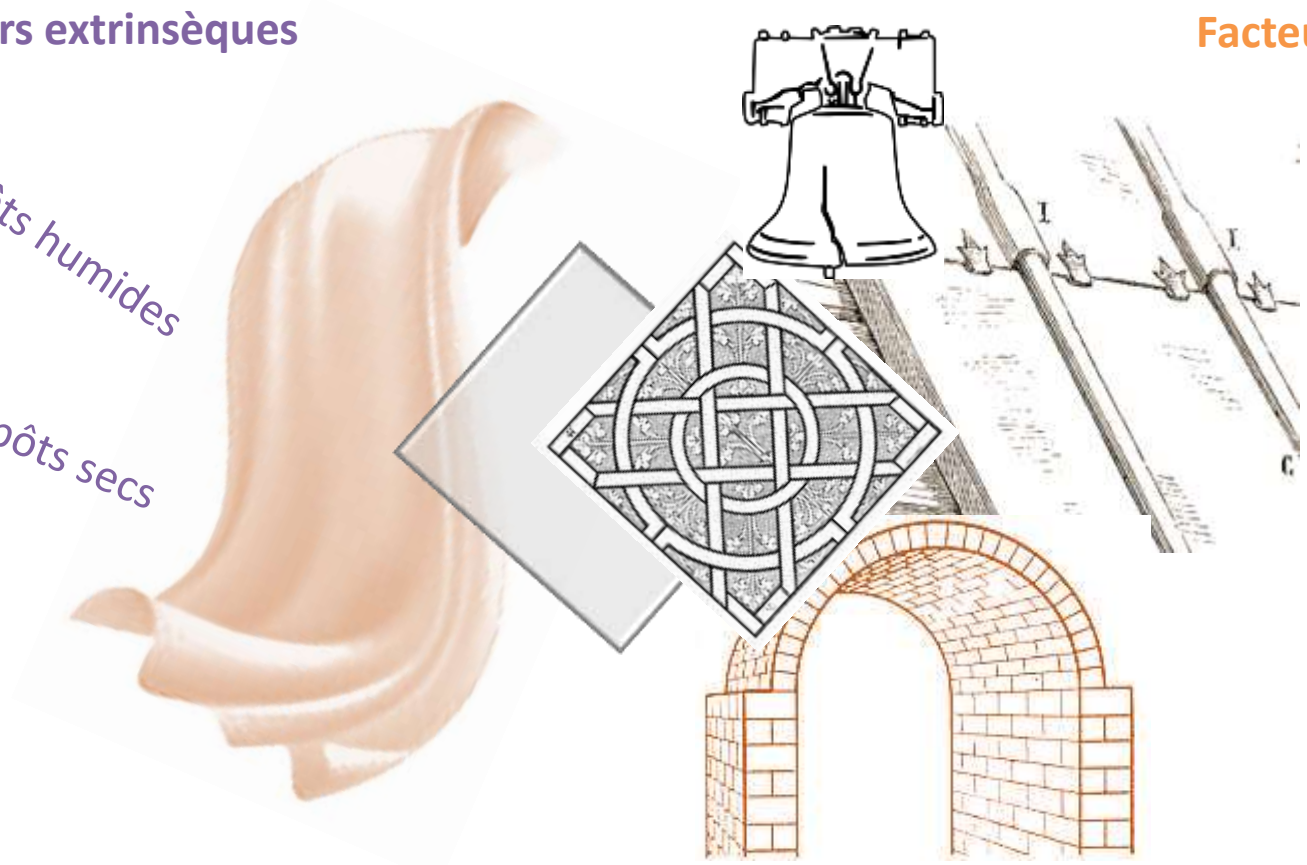
Dépôts secs

Facteurs intrinsèques

Composition

Structure

Propriétés



1) Colombier de Créteil



XIV^e siècle



1972

Constat d'état



Master 2
Matériaux du Patrimoine dans l'Environnement

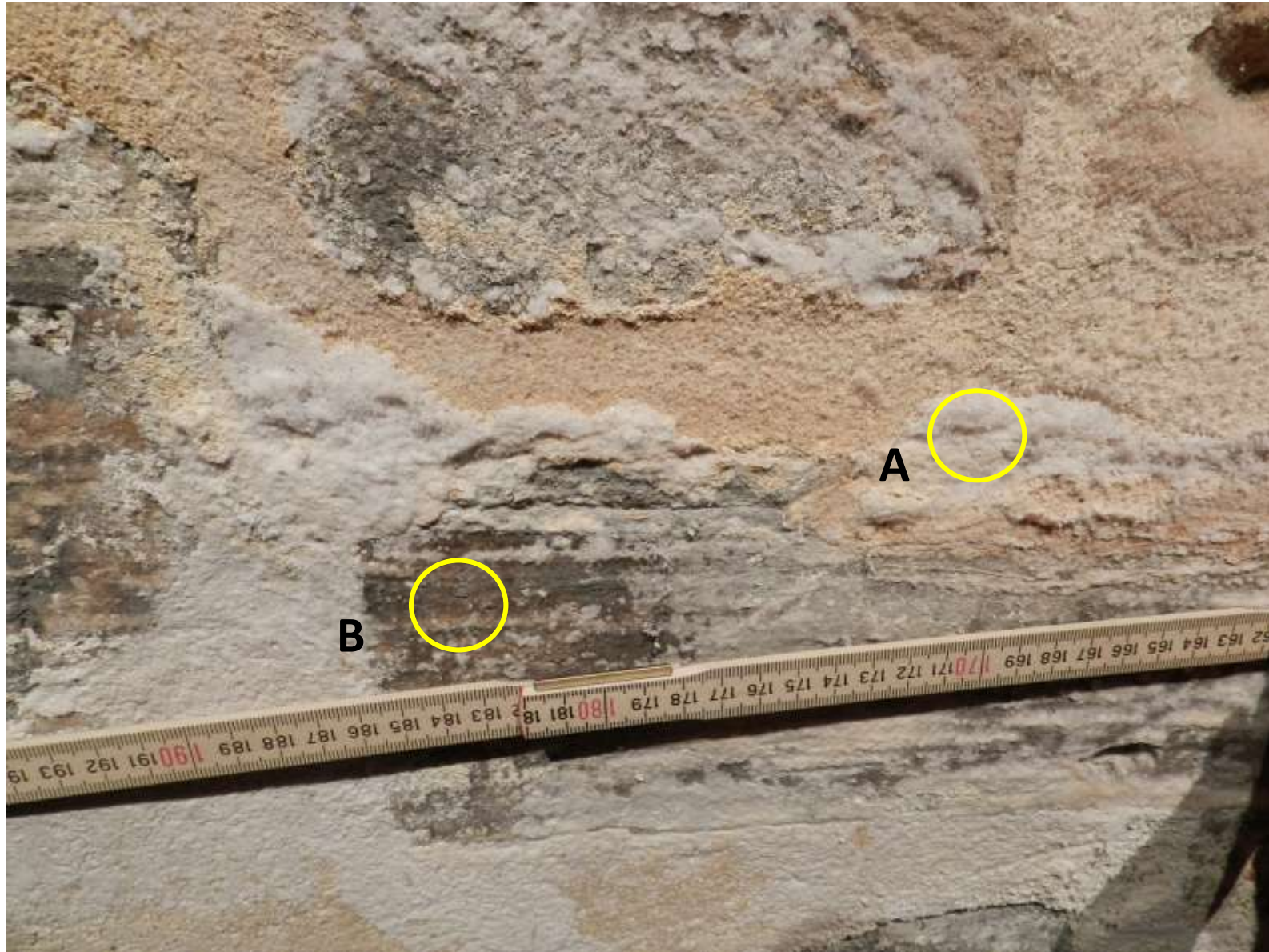


Constat d'état



Master 2
Matériaux du Patrimoine dans l'Environnement

Colombier de Créteil : mur intérieur



Moellon en Liais
Mortier de jointement

2 altérations
gain de matière

A : blanc, pulvérulent
B : gris, compact



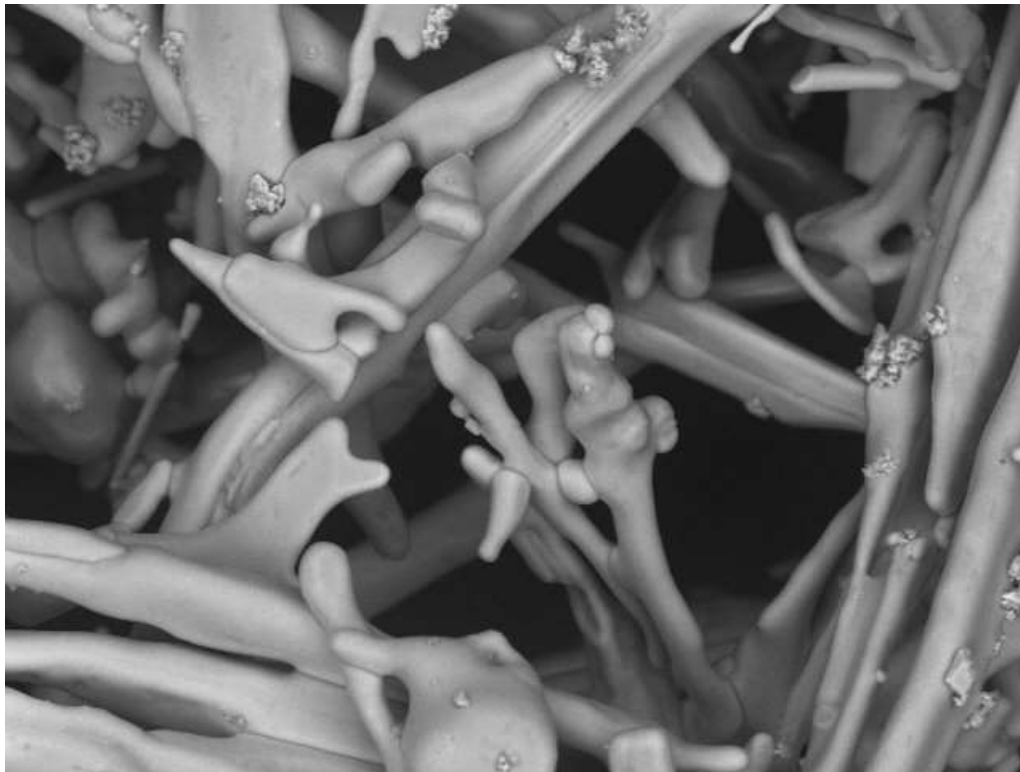
Nature du dépôt ?
Minérale ou Organique ?

Origine ?
Naturelle ou Anthropique ?

Remontée capillaire ?
Croûte noire ?

Echantillon A (blanc et pulvérulent)

MEB de table
Sans métallisation
Low Vacuum
15kV_EDX



0418K-C0006

HL D8.1 x800 100 µm

Phases dominantes
N, K : Délivuescente



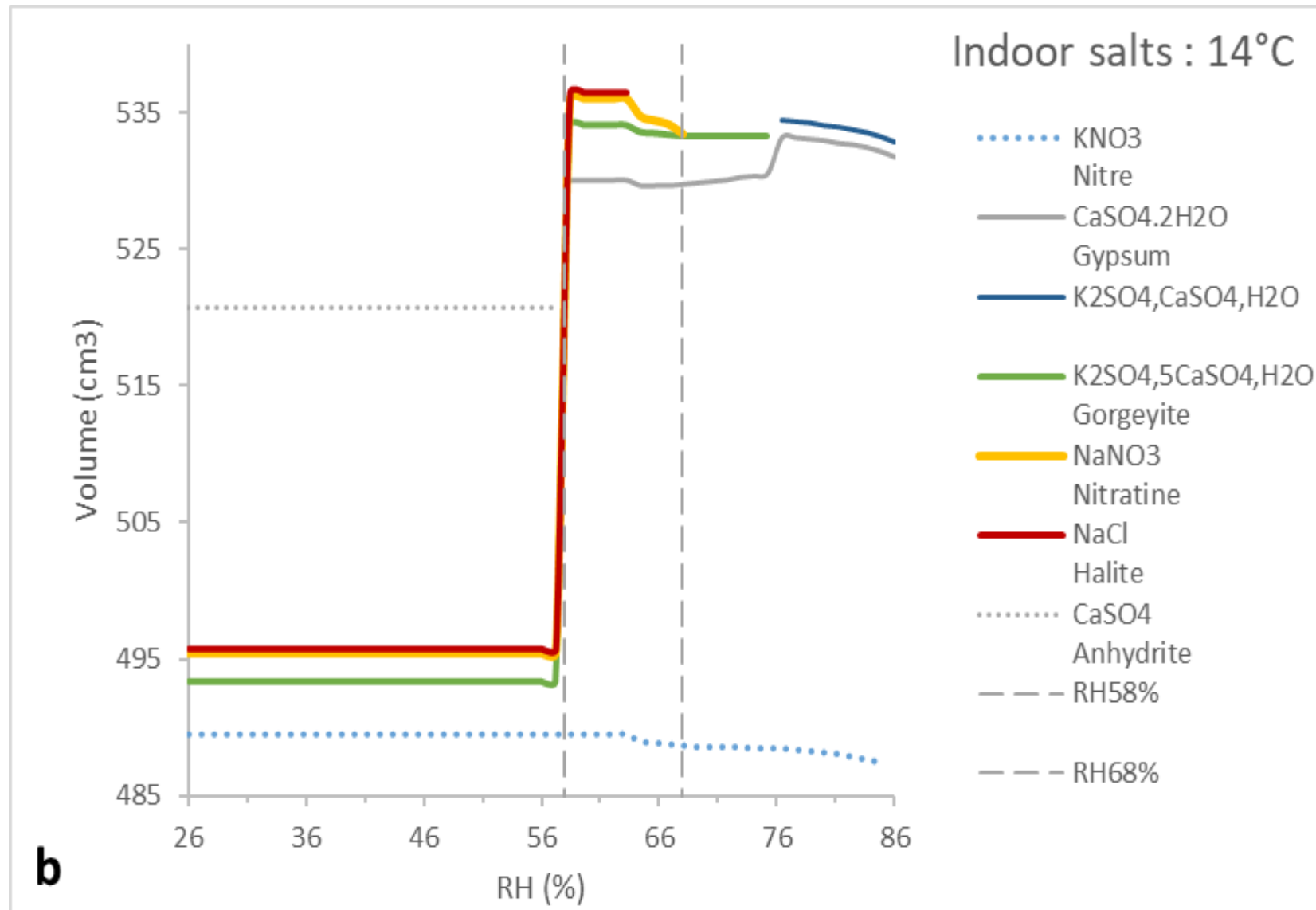
0418K-C0009

HL D8.1 x1.2k 50 µm

Phases plus accessoires :
Na Cl : délivuescente
S, Ca, C : + stable

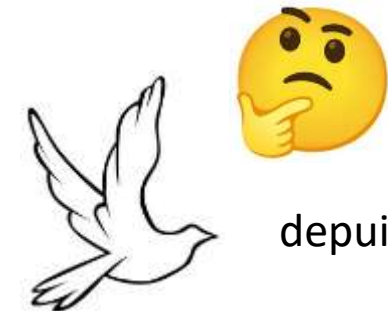
Mélange de phases salines, évolutif ?

Echantillon A : modèle géochimique (Runsalt, Bionda 2005)



Cortèges salins
Guano (oiseaux,
chauves-souris)

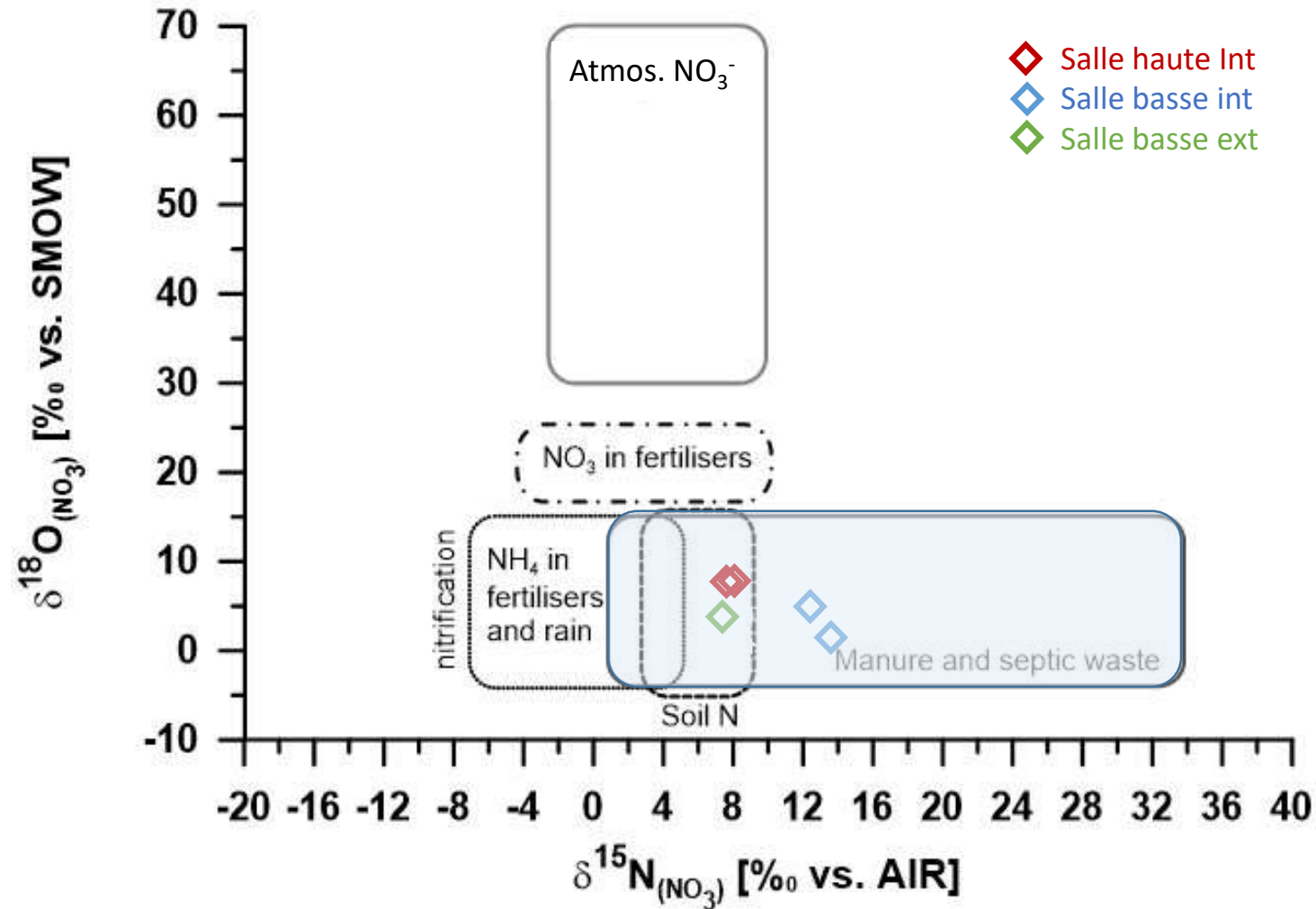
Gomez-Heras et al. 2004
Snow et al. 2014
Osborne and Jass, 2016



depuis 40 ans !

Cause ancienne ?

Echantillon A : analyses isotopiques



Nitrification d'N organique

Compatibles déjections pigeons

Cause d'altération est ancienne
Lien avec l'activité passée du colombier

Remontée ~~capillaire~~ classique

Echantillon B (gris et compact)



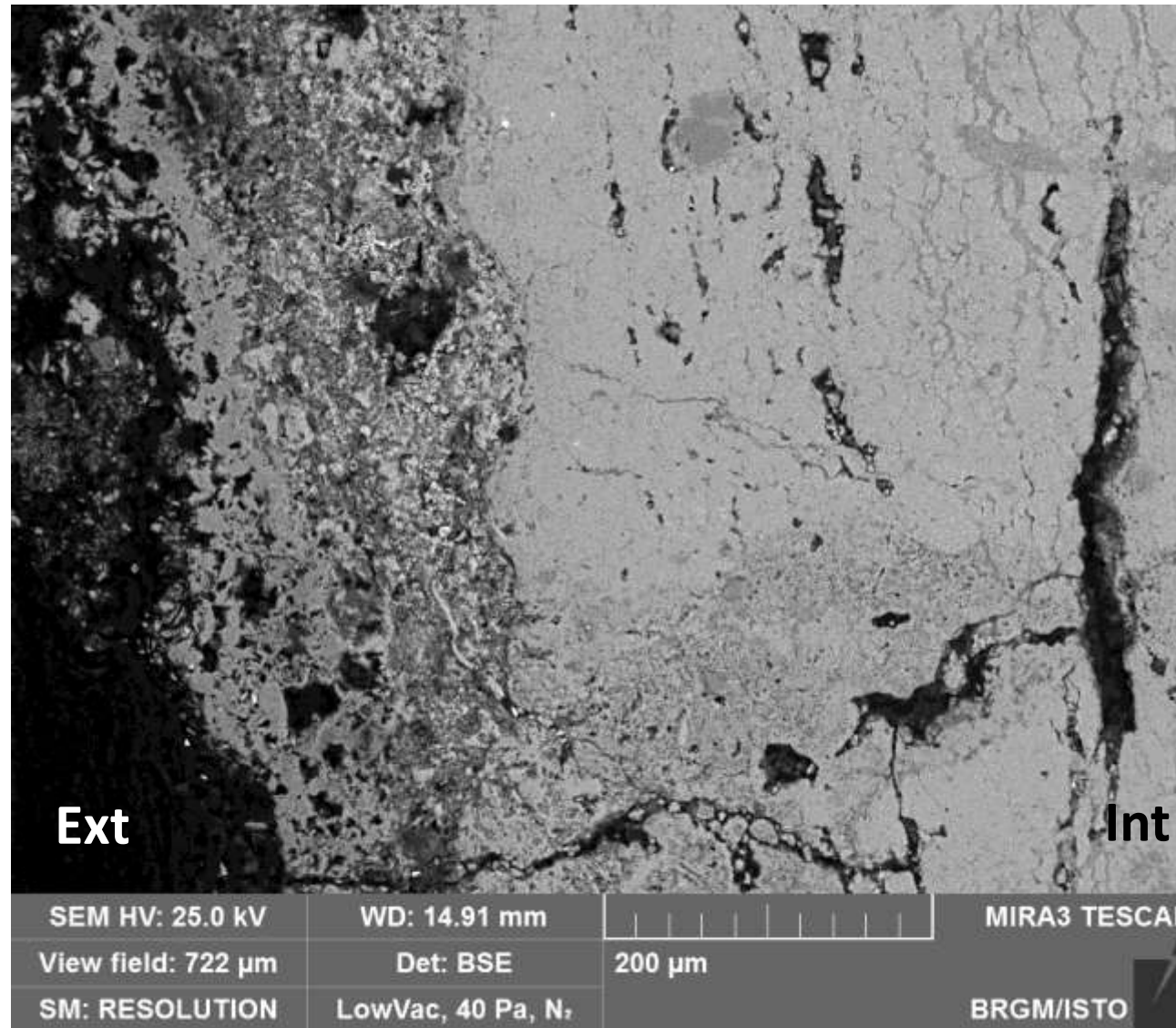
Croûte noire ?

Inclusion en résine

Section polie

Sans métallisation

MEB à effet de champ BRGM



BSE

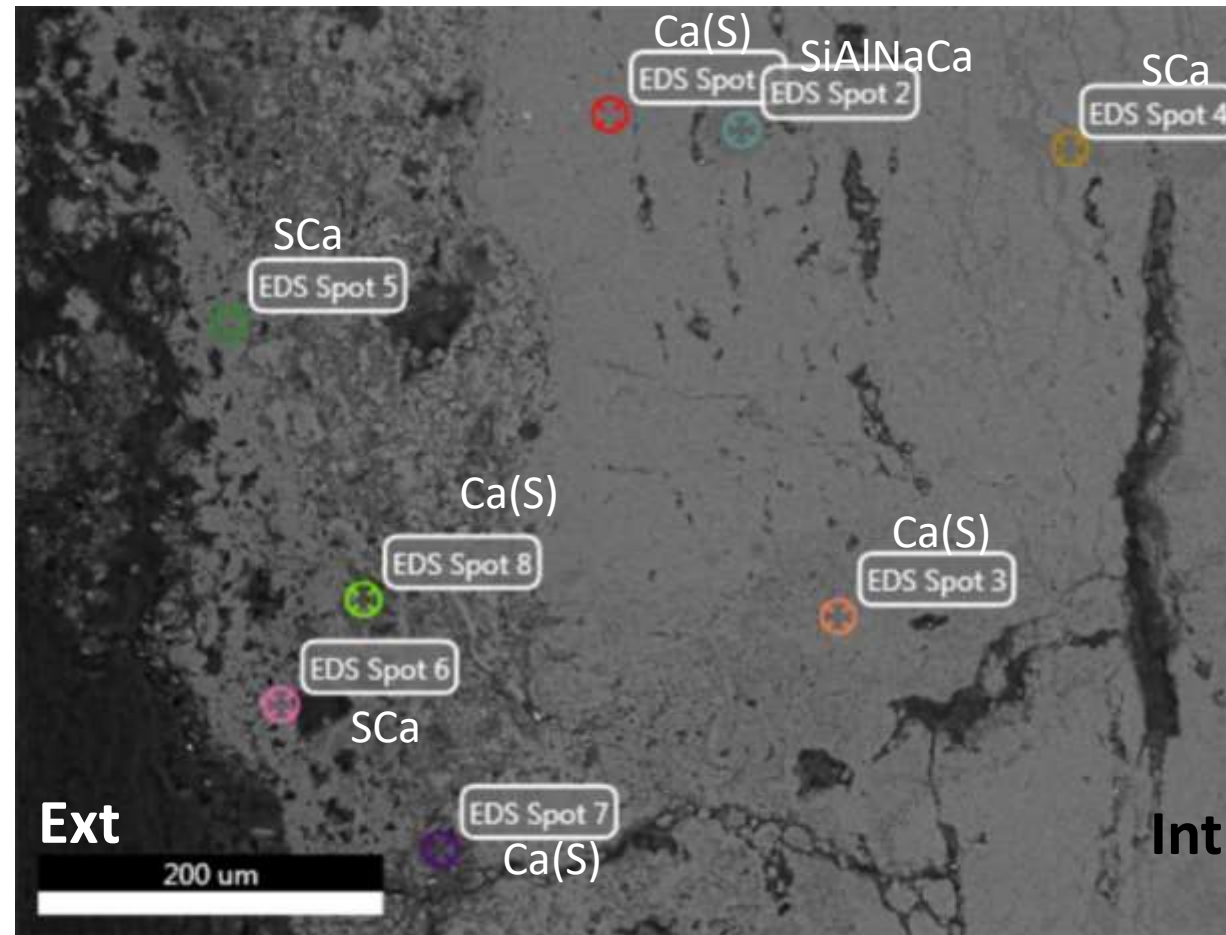
Contraste de
phases

Succession de
couches

Echantillon B (gris et compact)

MEB à effet de champ BRGM

+ spectrométrie Raman
carbonate
sulfate



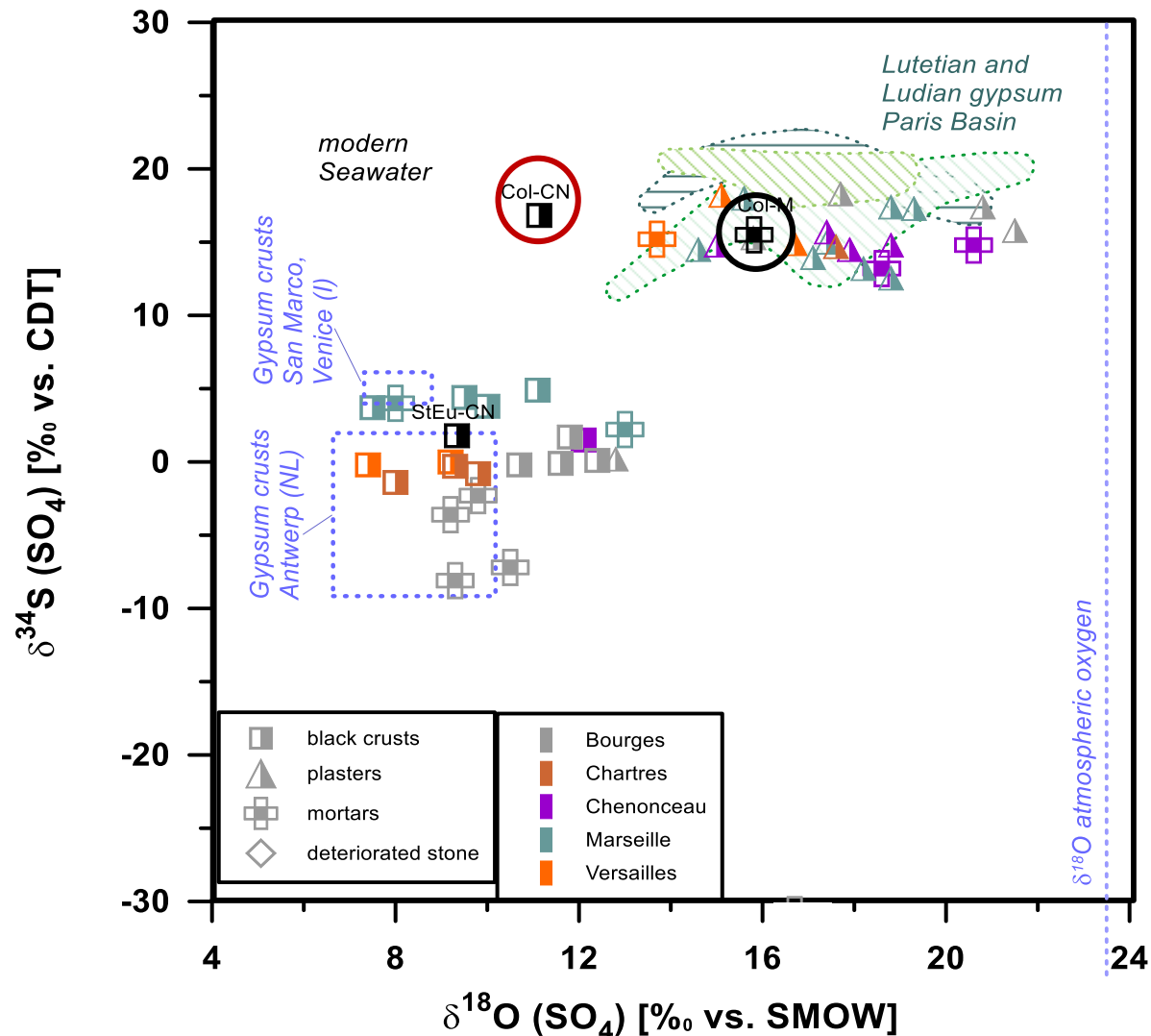
Plâtre tardif

Chaulage

Différentes applications
d'enduits

Anciens entretiens des
murs du colombier

Echantillon B : analyses isotopiques



Mortier Colombier:
typique plâtre de Paris

Croûte Colombier:
Influence claire du mortier;
Faible influence de la
pollution atmosphérique

~~Croûte noire~~

Conforme interprétation MEB



2) Textiles en contexte muséal



Ternissement

Empoussièrement

75% des coûts d'entretien d'un musée (Lloyd et al. 2007)



Quelles poussières ?

Dépôt altérant ou protecteur ?

Modus operandi ?

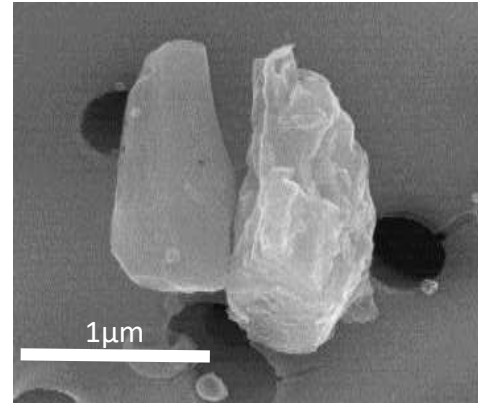
Altération des textiles dans les musées – Thèse Pauline Uring (2019)

Mesure de la qualité de l'air (T, HR, gaz, particules)

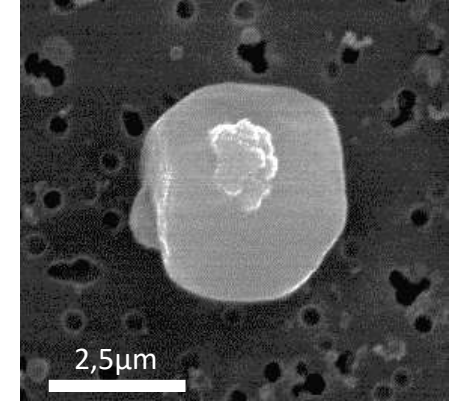


Pauline Uring au salon vert, château de Fontainebleau

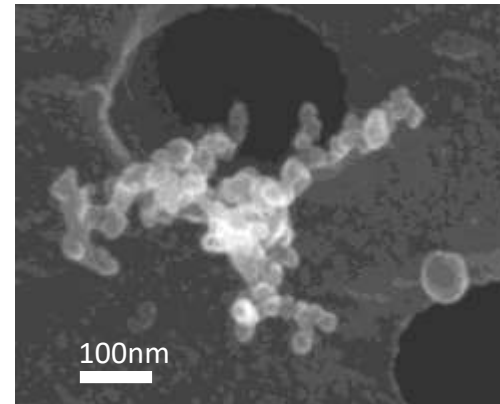
MEB haute résolution à cathode chaude
ICMPE Thiais



calcite, argile



halite



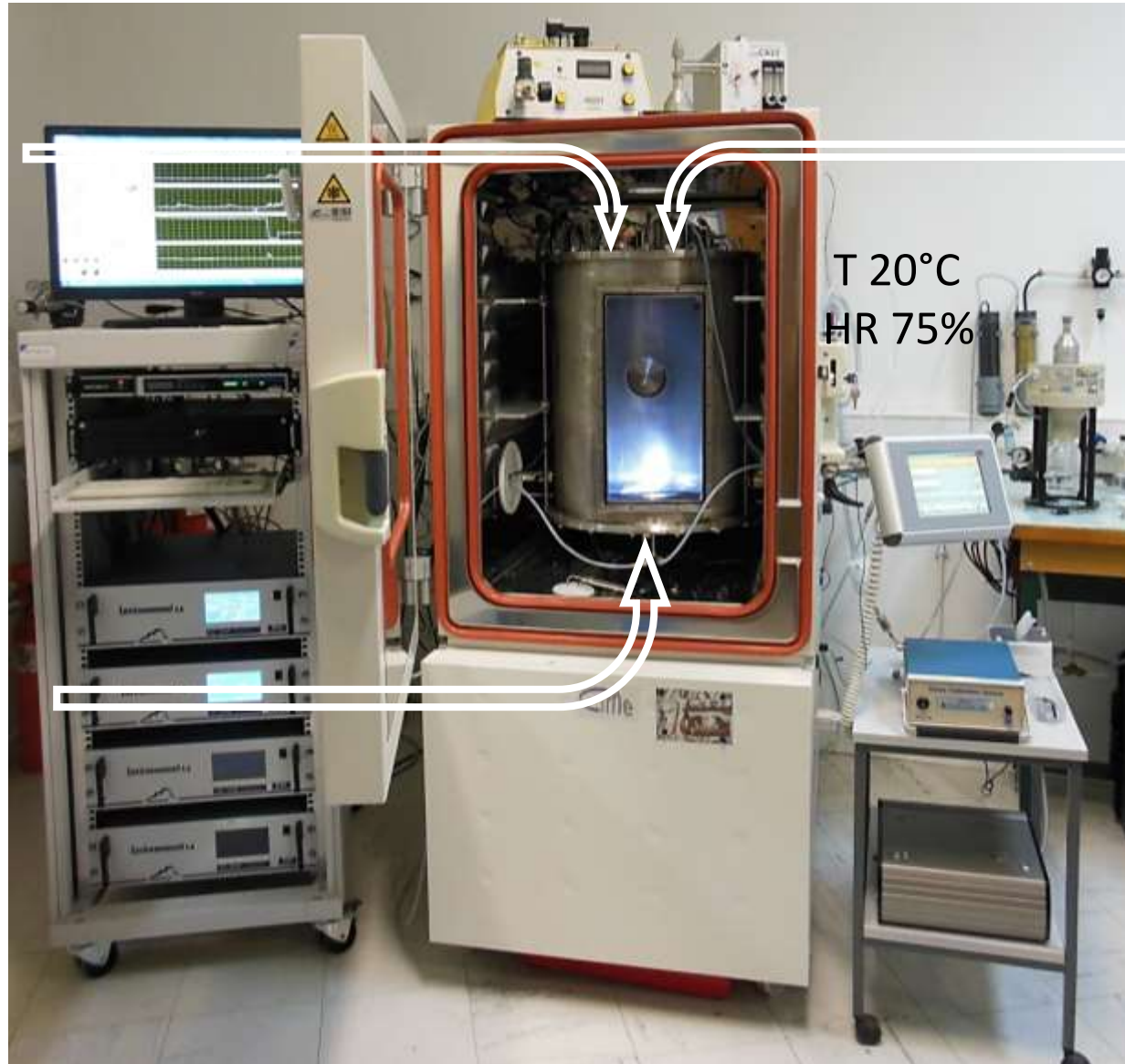
suie, mascagnite

Vieillissements en laboratoire



CO₂ SO₂
NO₂ O₃
HCOOH

Coton
Laine
Soie



Halite
Calcite, Argile
Sile,
Mascagnite

T 20°C
HR 75%



15j à 6 mois

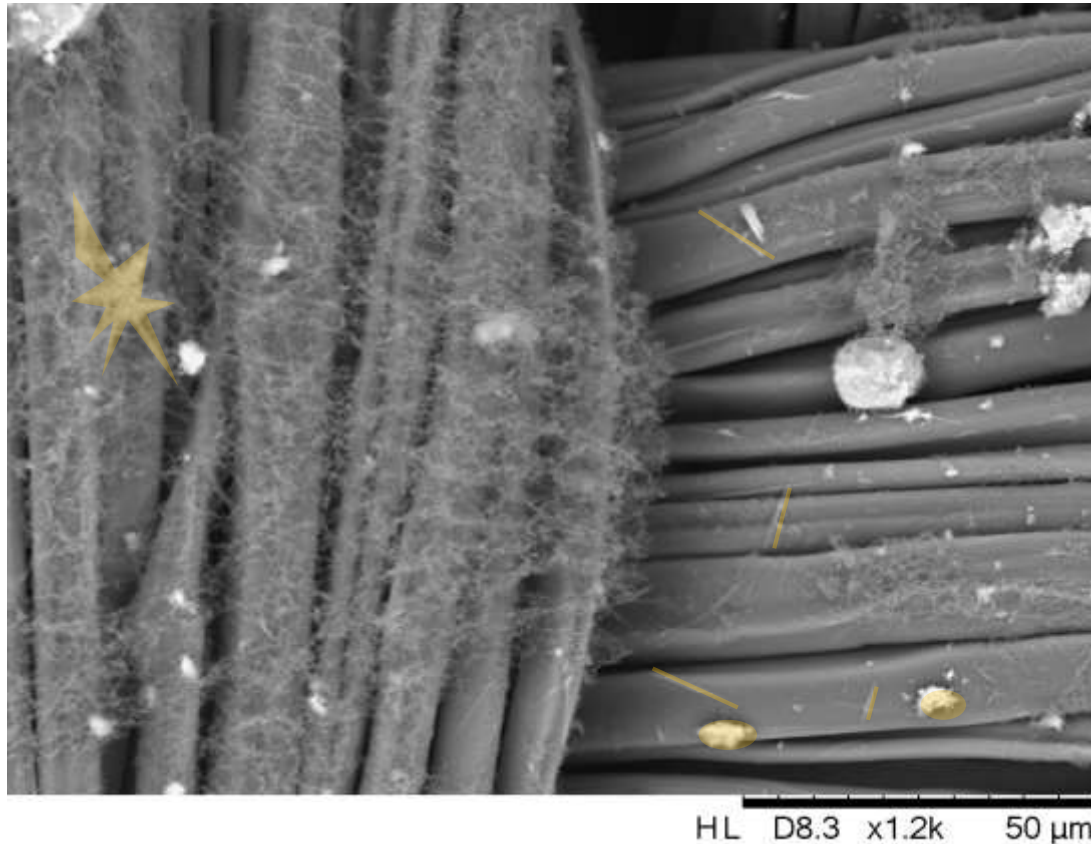
Réaction des particules entre elles ?

MEB de table
Sans métallisation
Low Vacuum
15kV_EDX

Soie

20°C - 75%

Mélange particules : suie, mascagnite, calcite, argile, halite



15j

Phase néoformée !!

Thénardite (Na_2SO_4)

*Mascagnite + Halite + HR
→ Thénardite*

Dépôt particulaire est évolutif dans le temps



Altération des fibres ?

Spectroscopique

(VIS, IR, Raman)

Chromatographique

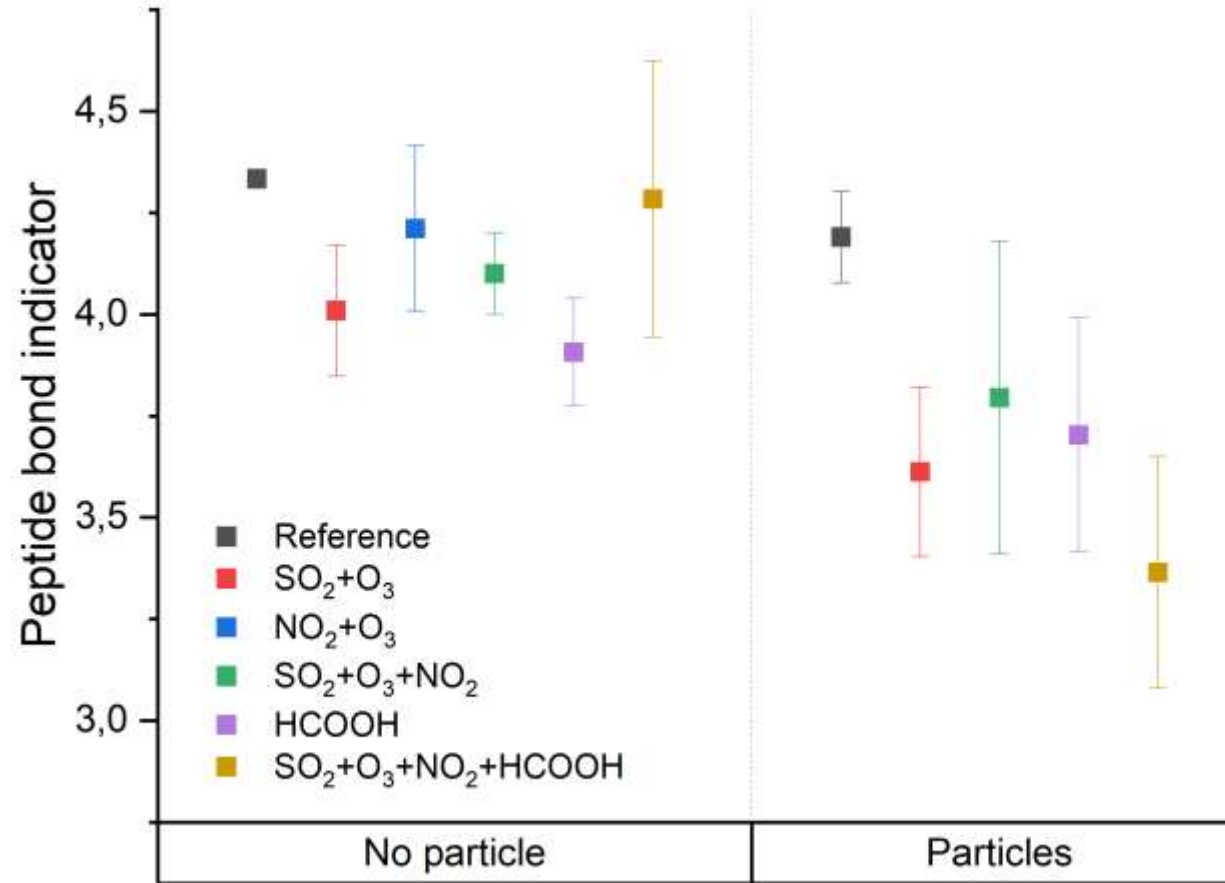
(exclusion stérique)

Viscosimétrique

Soie :

Rupture de liaison peptidique

Oxydation tyrosine



**Effet délétère
cocktail
polluants gazeux
+ particules**

Fibres de soie, sans métallisation

MEB ultrahaute résolution

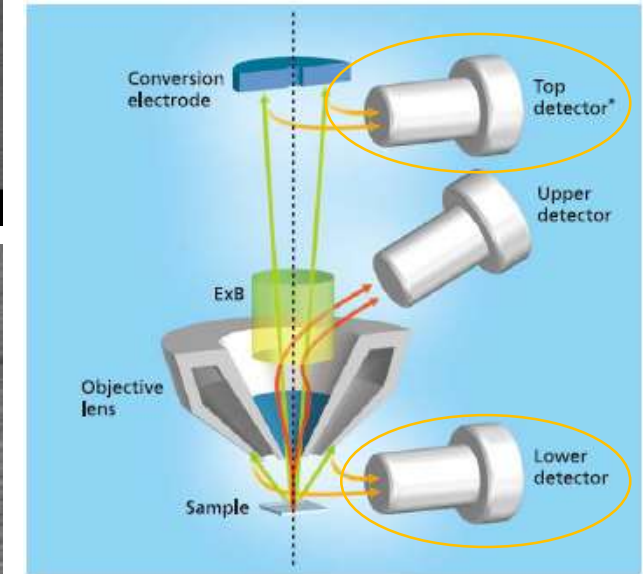
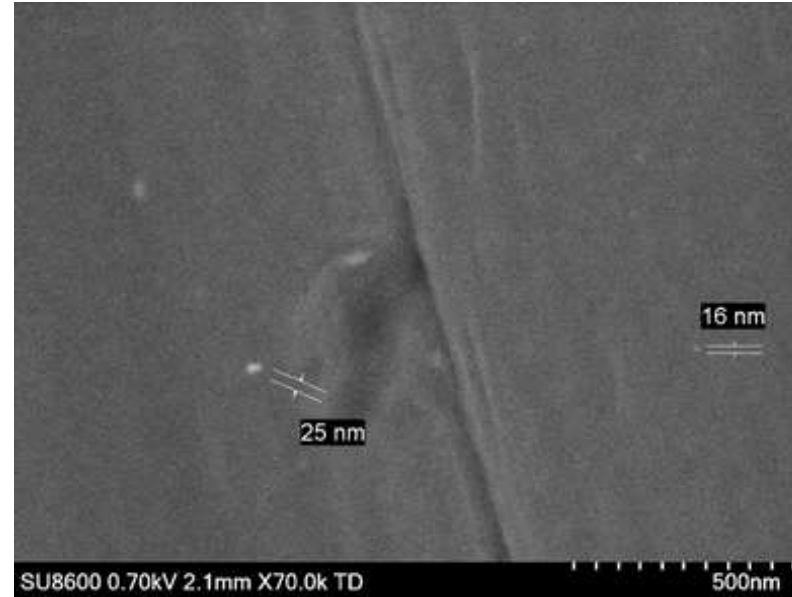
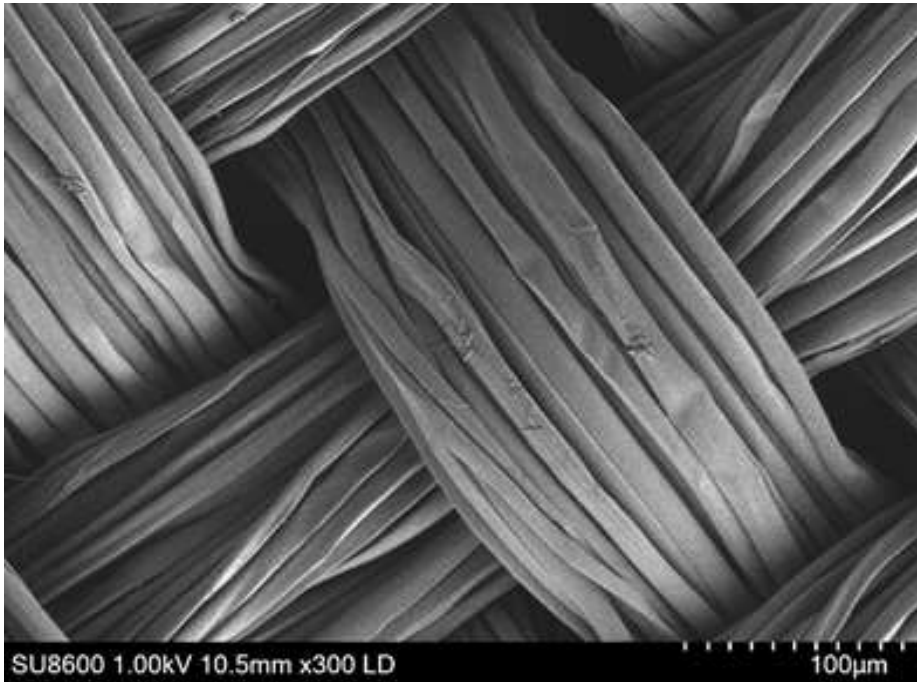
Cathode froide

Tension de 500 V à 30kV

10V en mode décélération

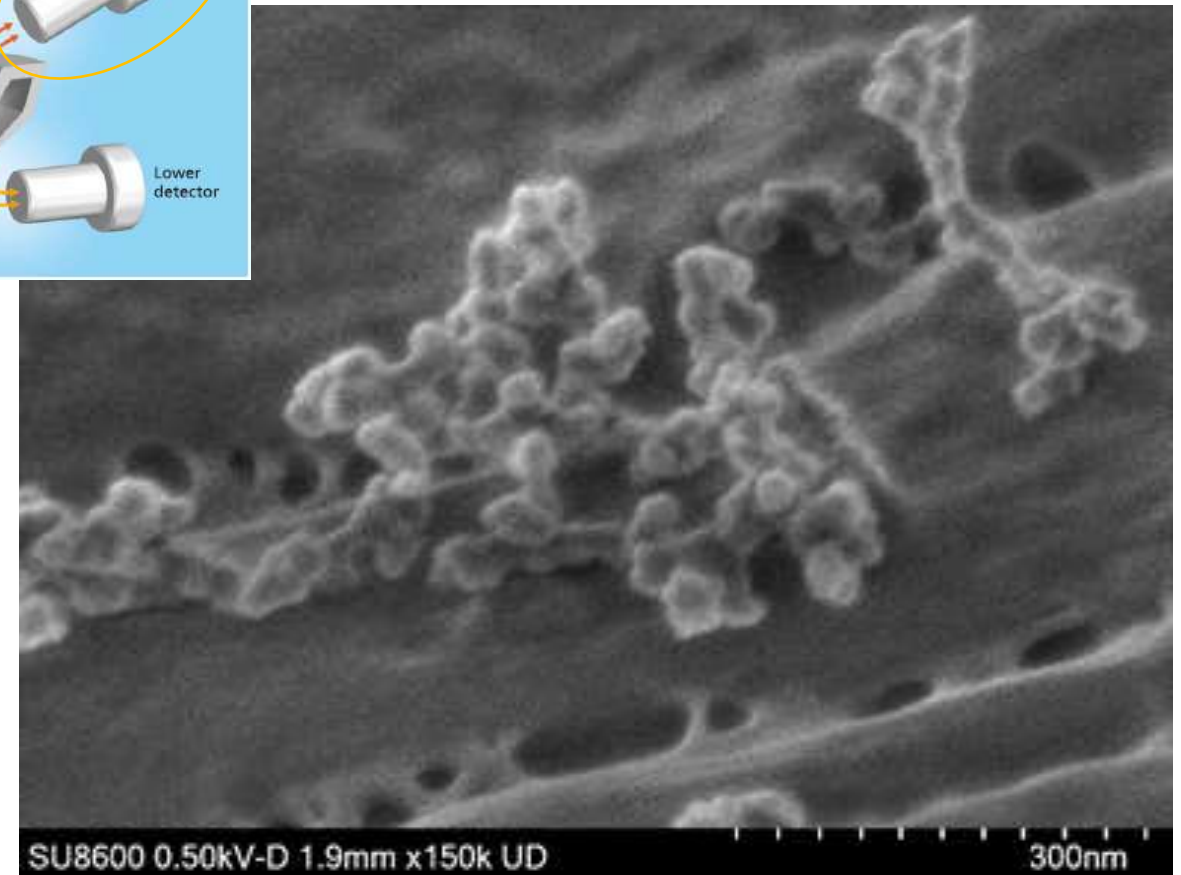
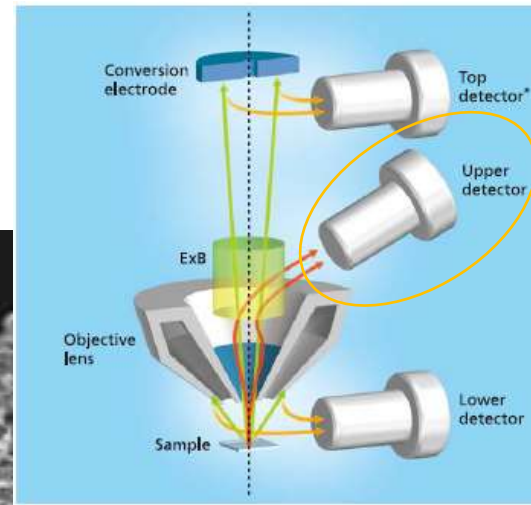
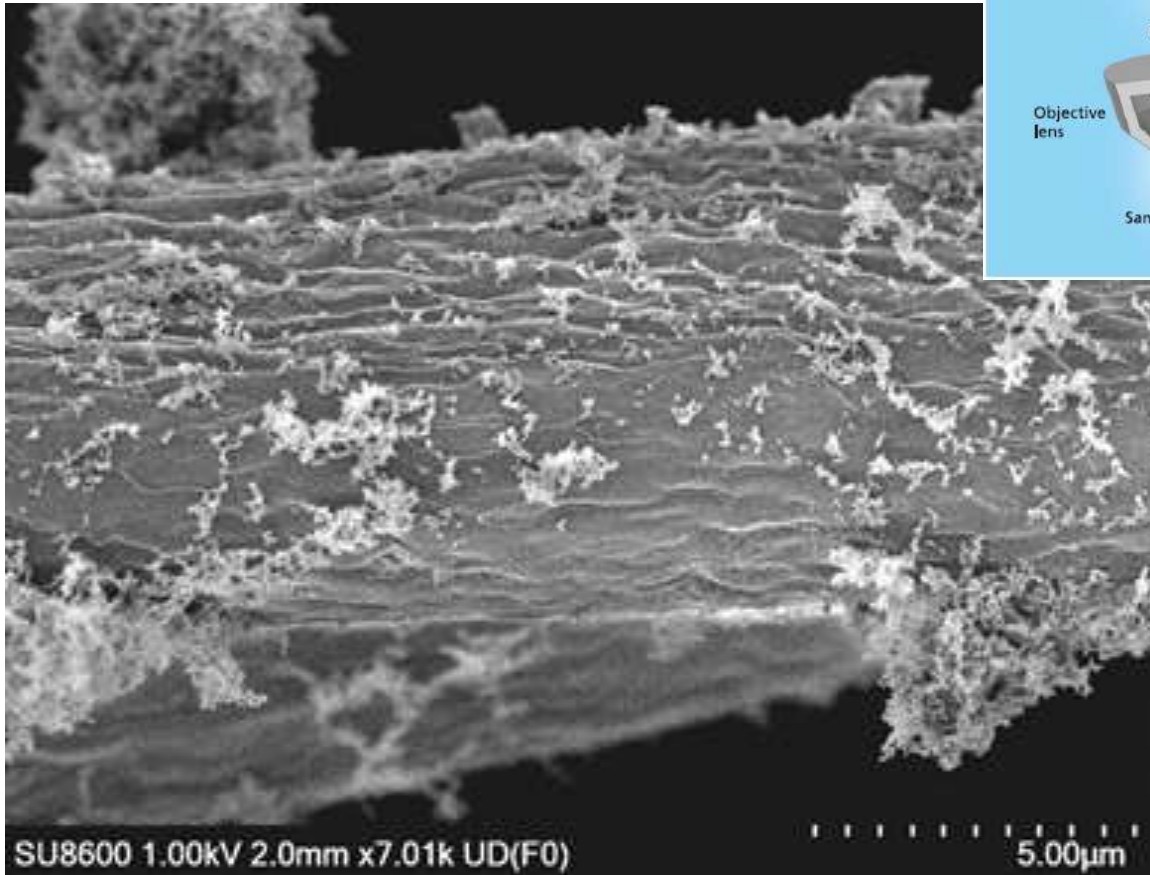
Courant réglable indépendamment de la tension

Courant ajustable de 1pA à 20nA



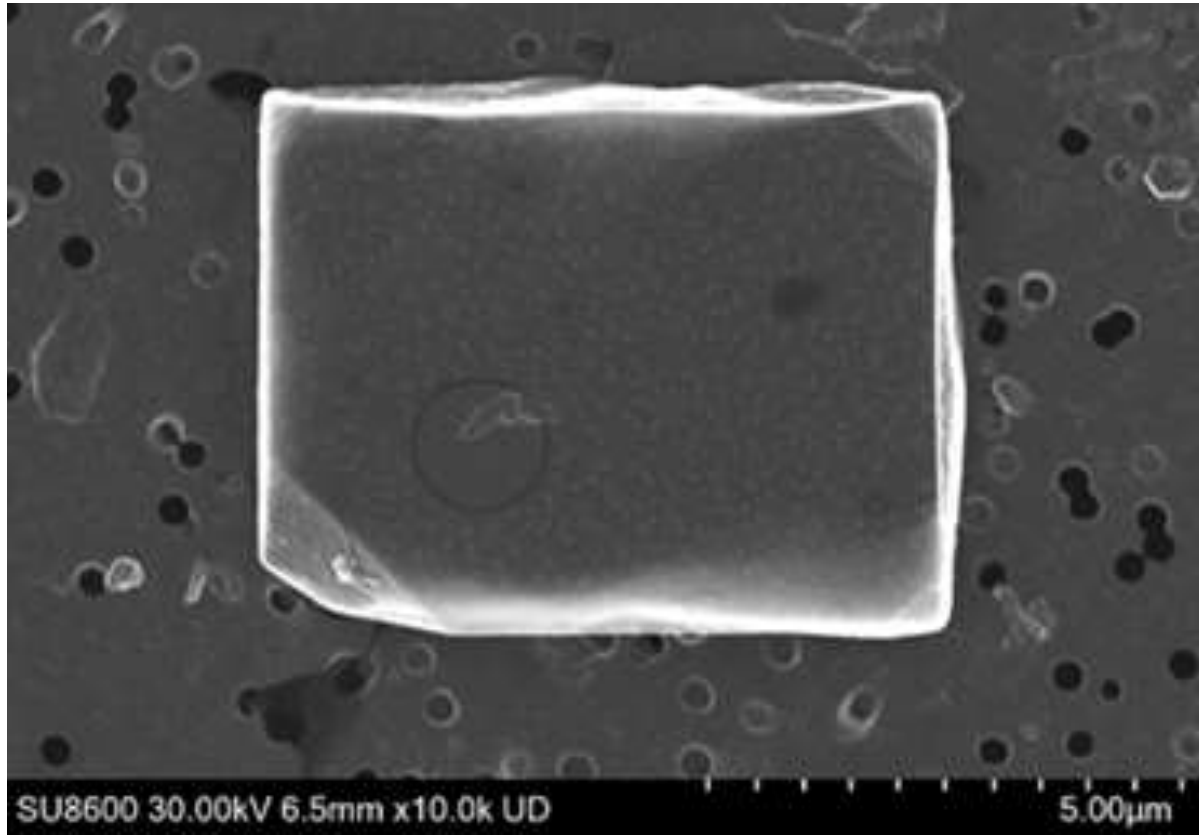
Fibres de coton empoussiérées en labo

MEB ultrahaute résolution
Cathode froide
Imagerie SE : Upper detector
Mode décélération

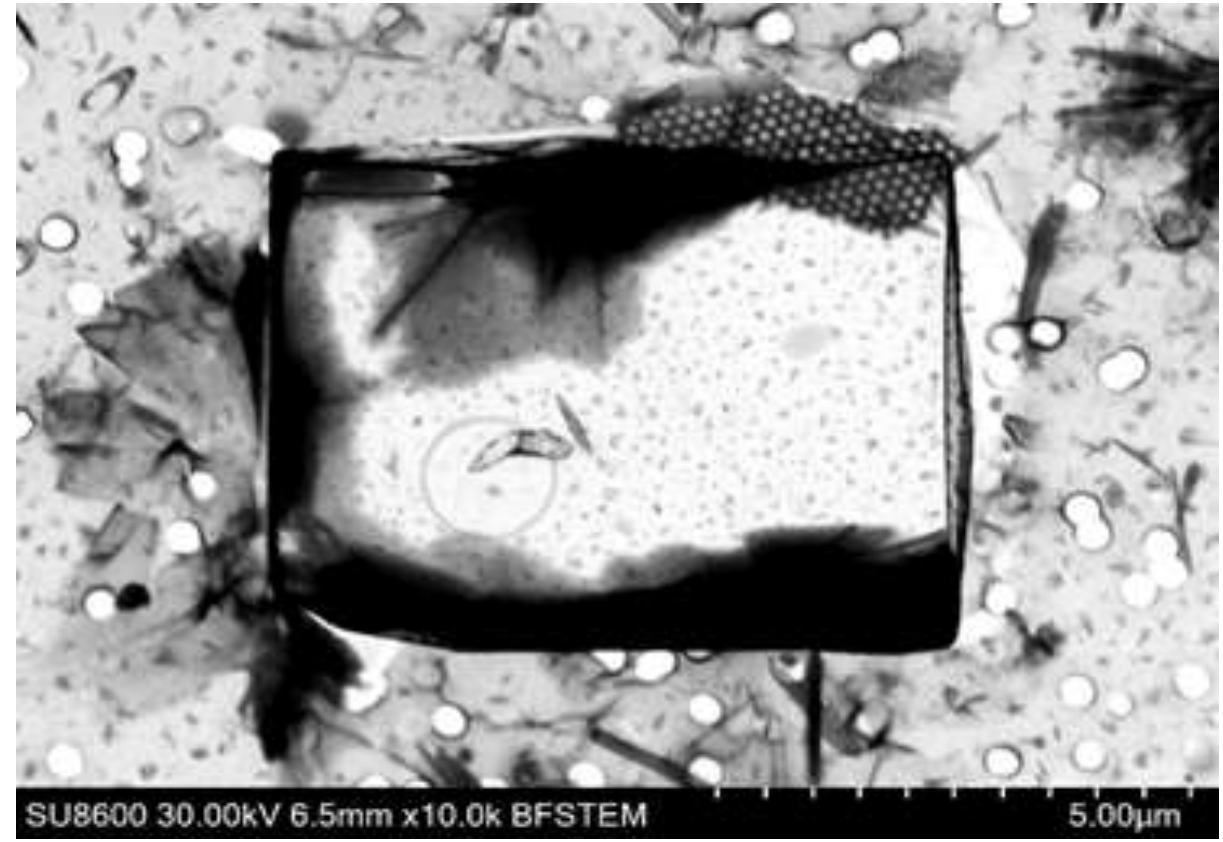


Atmosphère marine polluée, site archéologique de Délos

MEB ultrahaute résolution
Cathode froide
Mode STEM, grille de cuivre



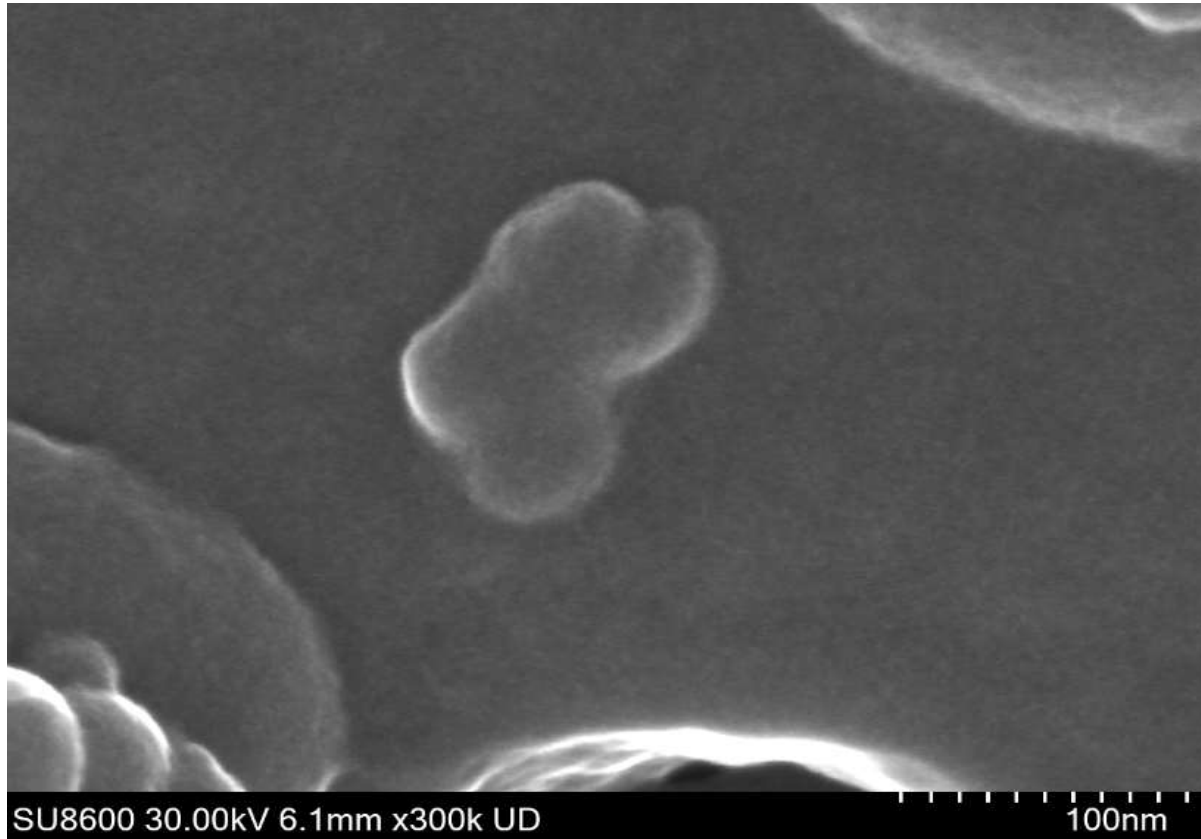
Mode balayage



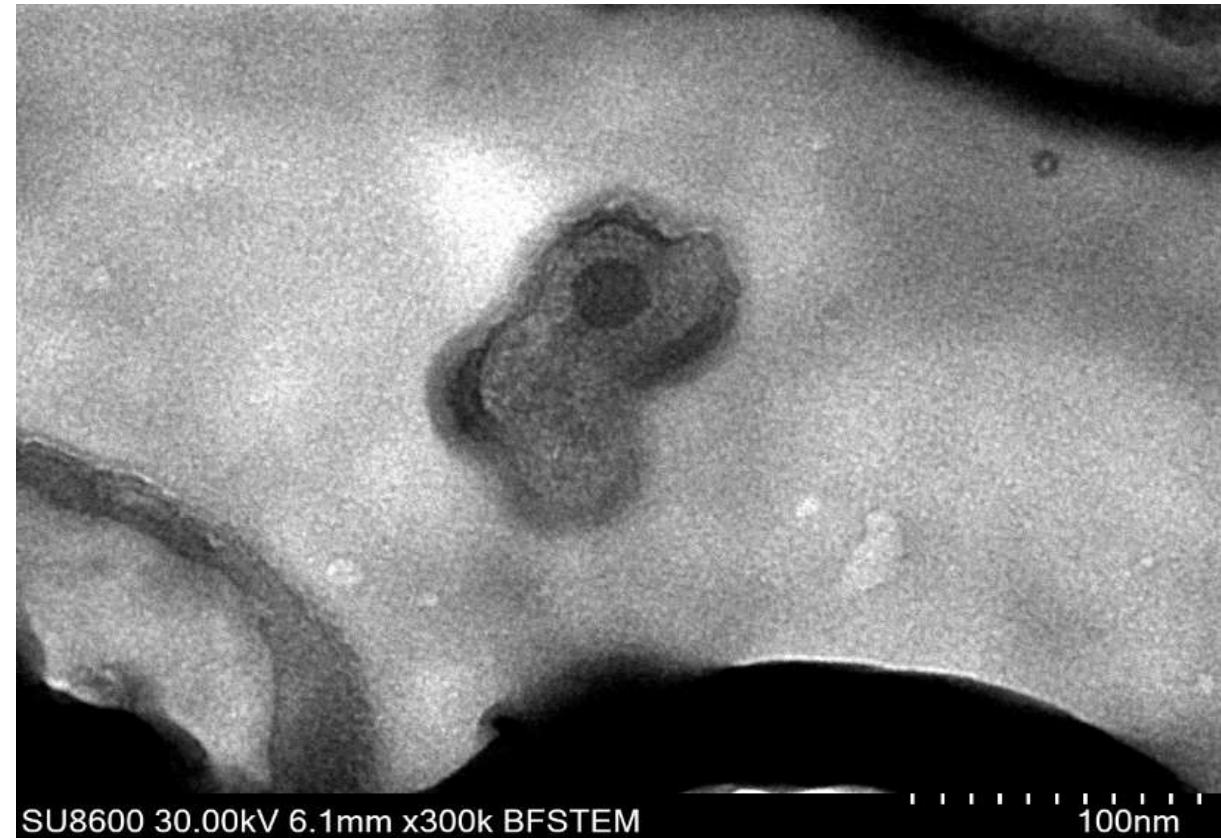
Mode transmission

Atmosphère marine polluée, site archéologique de Délos

MEB ultrahaute résolution
Cathode froide
Mode STEM grille de cuivre



Mode balayage

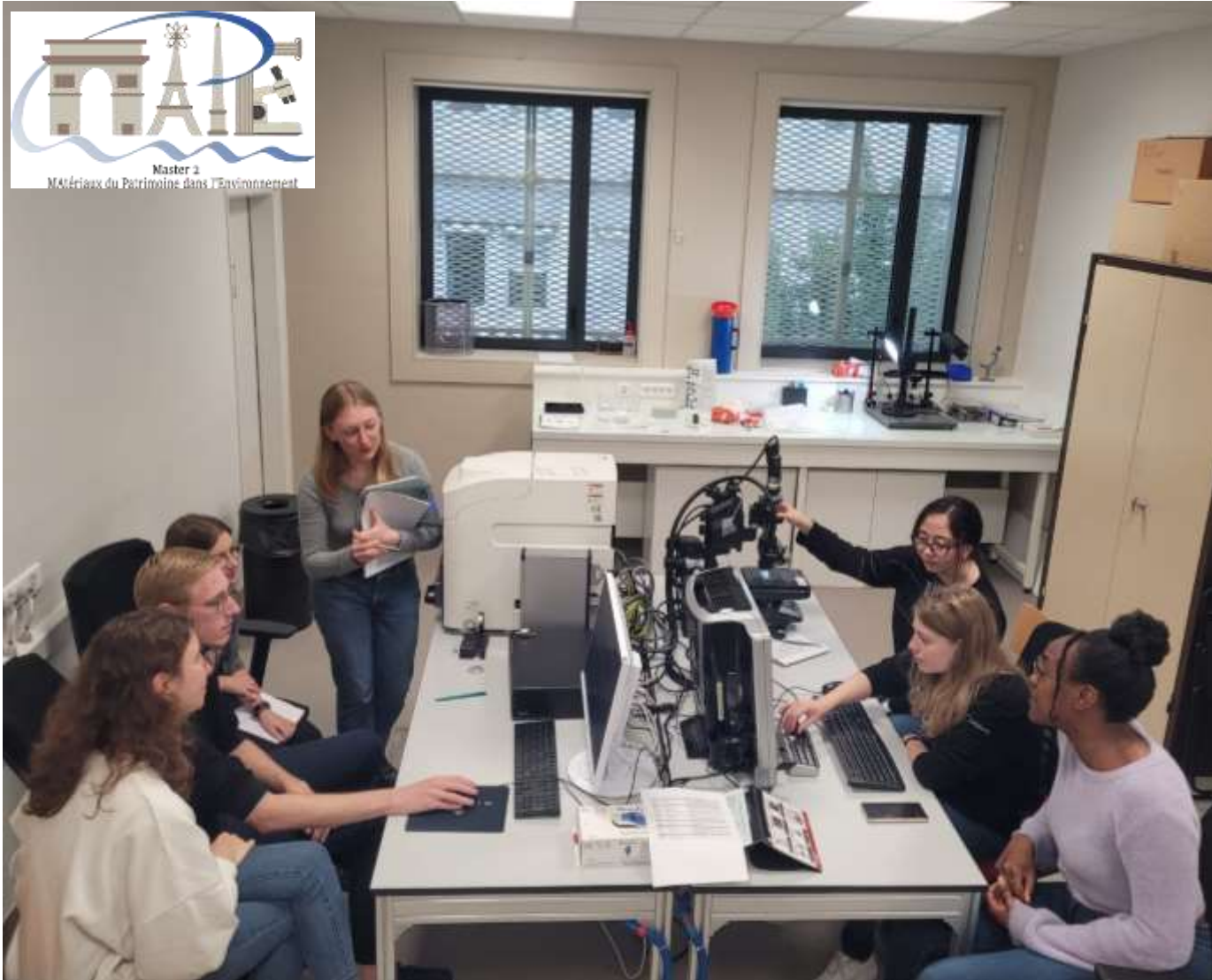


Mode transmission

Pour conclure : MEB EDS indispensable

En recherche : apprendre à bien connaître ses échantillons, orienter questionnements et démarches analytiques

En enseignement : former nos étudiants de master, doctorat



mathilde.ropiquet@lisa.ipsl.fr