

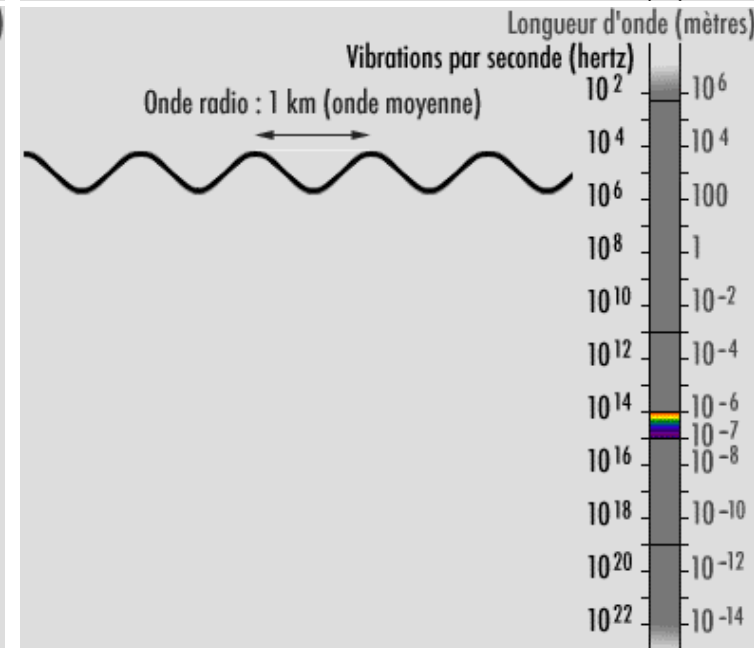
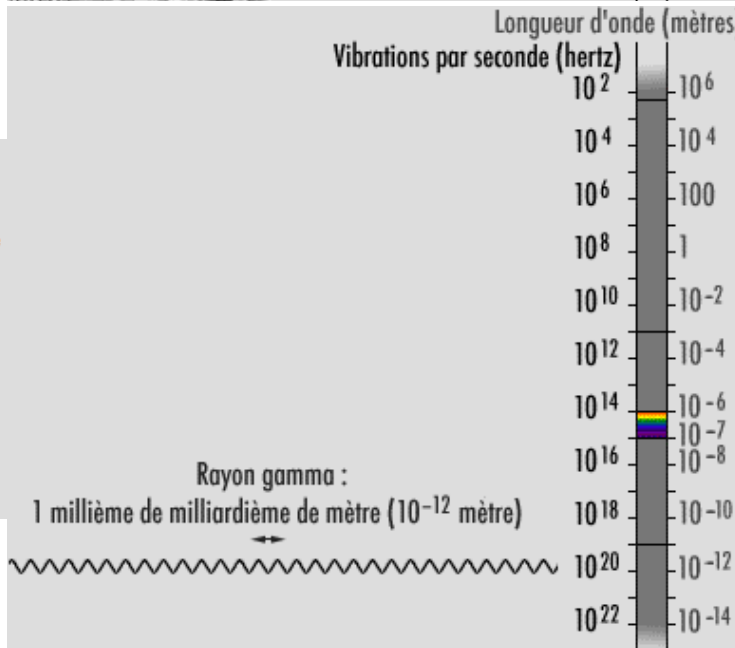
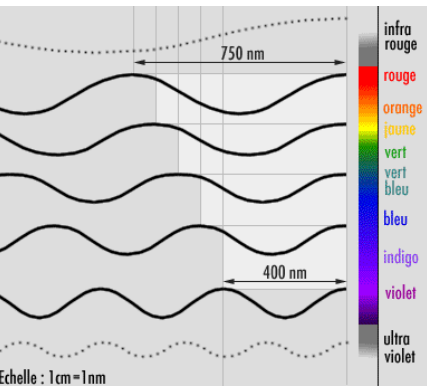
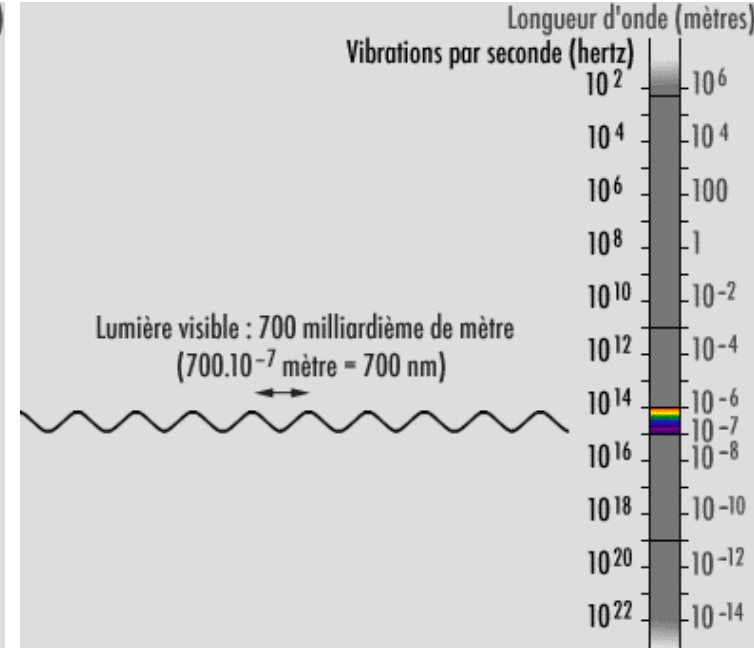
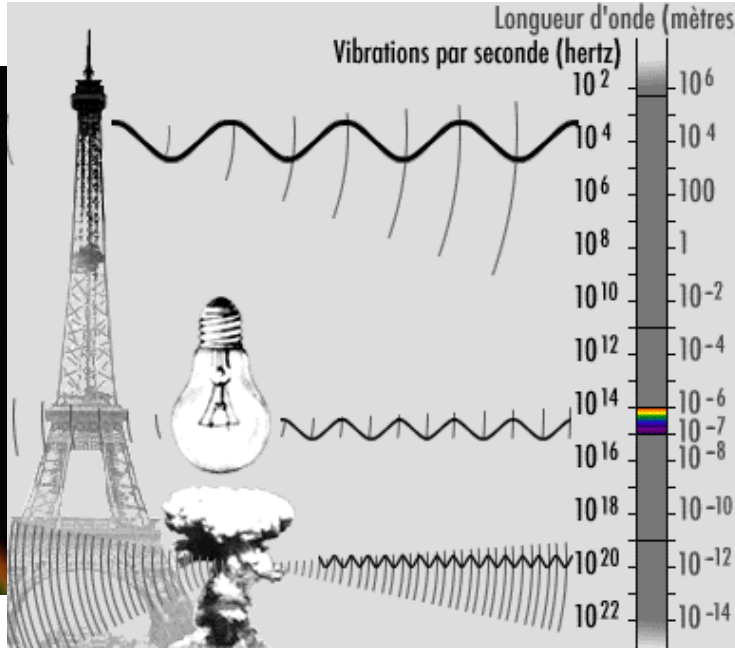
Les rayonnements au service des Arts

Historique

- En 1865 Napoléon III confie une chaire de physico-chimie à l'Ecole des Beaux-Arts à Paris à **Louis Pasteur**, passionné de peinture.
- En 1895, Röntgen découvre les rayons X.
- Un laboratoire est ouvert au Louvre en 1931 grâce à deux médecins radiologues Perez et Mainini.
- En 1969, ce laboratoire devient le Laboratoire de Recherche des Musées de France et s'appelle désormais Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France.
- Y travaillent une soixantaine de personnes en relation avec le CEA, CNRS, grandes Ecoles et Université.



Les ondes électromagnétiques



Examen d'une œuvre d'art en lumière visible

- Examens visuels

Loupes, binoculaires. Fournissent des renseignements sur l'état de surface d'une peinture, d'un objet d'art.

- Photographie

Elles sont prises en éclairage direct sous la lumière naturelle ou artificielle et également en éclairage rasant.

- Macrophotographie

Permet d'obtenir des grossissements de l'ordre de 15 fois

- Microscope optique

grossissement jusqu'à 2000 fois pour observer de coupes de peinture, des particules de céramique et des surfaces métalliques.

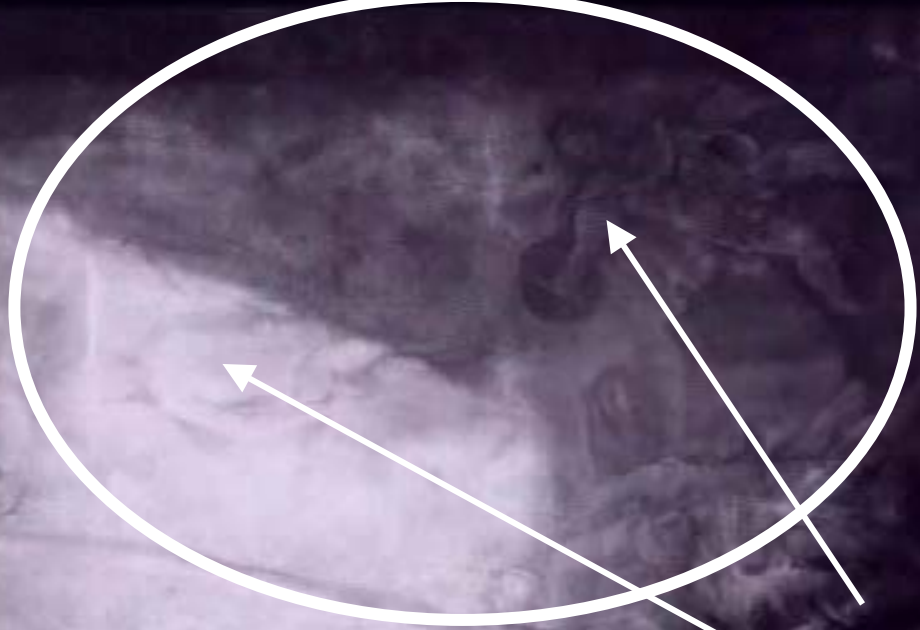
Radiations infrarouges

- La réflectométrie infrarouge ($\lambda = 1200 \text{ nm}$) ou la photographie IR ($\lambda = 900 \text{ nm}$) sont utilisés en peinture.
- Les radiations traversent la couche de peinture (dans le cas où elle est perméable aux IR) et permettent de visualiser les dessins sous-jacents faits avec du graphite (crayon de bois ou fusain).



Des rayons IR sont émis par une télécommande de téléviseur

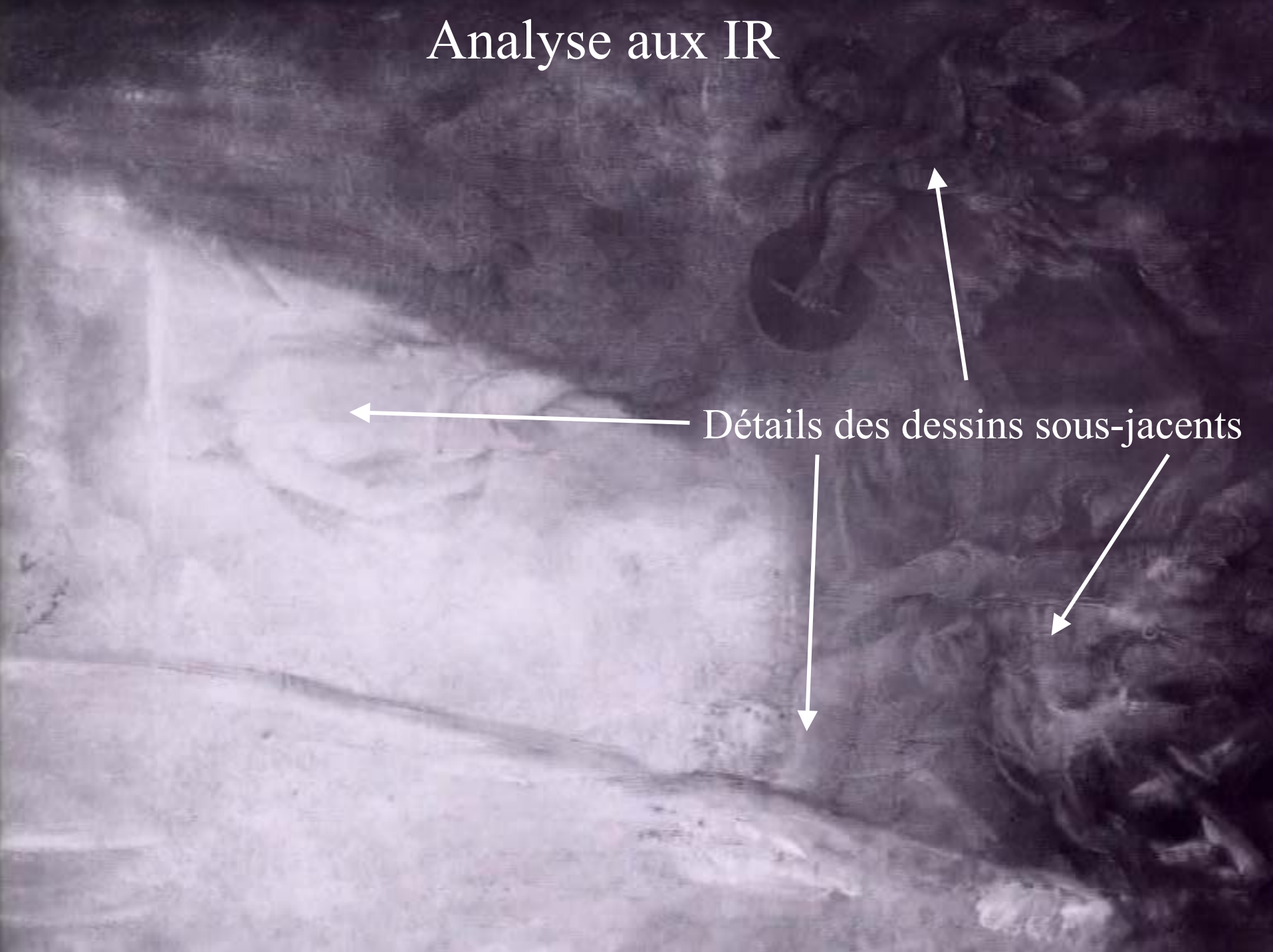
Analyse aux IR



Dessin sous-jacent



Analyse aux IR



Détails des dessins sous-jacents



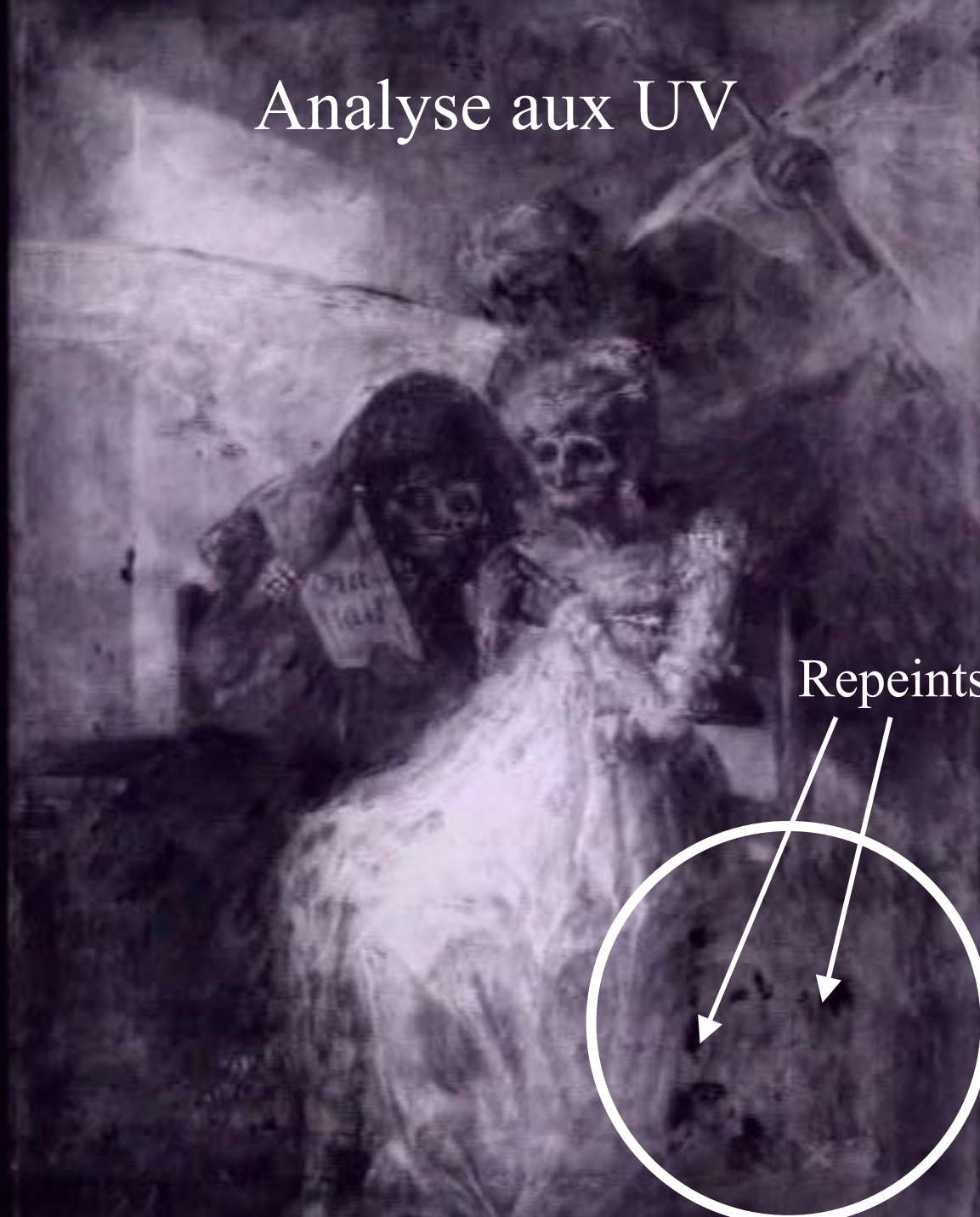
Radiations ultraviolettes

- Certaines substances, soumises aux UV deviennent fluorescentes (c'est à dire qu'elles émettent des radiations de longueurs d'onde plus grandes situées dans le spectre visible) Par exemple, le blanc de plomb donne une fluorescence brun rose, le blanc de zinc donne une fluorescence jaune clair, le rouge de plomb donne une fluorescence rouge orangée et le bleu outremer donne une fluorescence bleu violet foncé.
- Les vernis anciens et les vernis modernes ne donnent pas la même fluorescence.
- Les repeints apparaissent noirs s'ils sont réalisés par dessus le vernis (s'ils n'ont pas été eux-mêmes vernis)

UV



Analyse aux UV

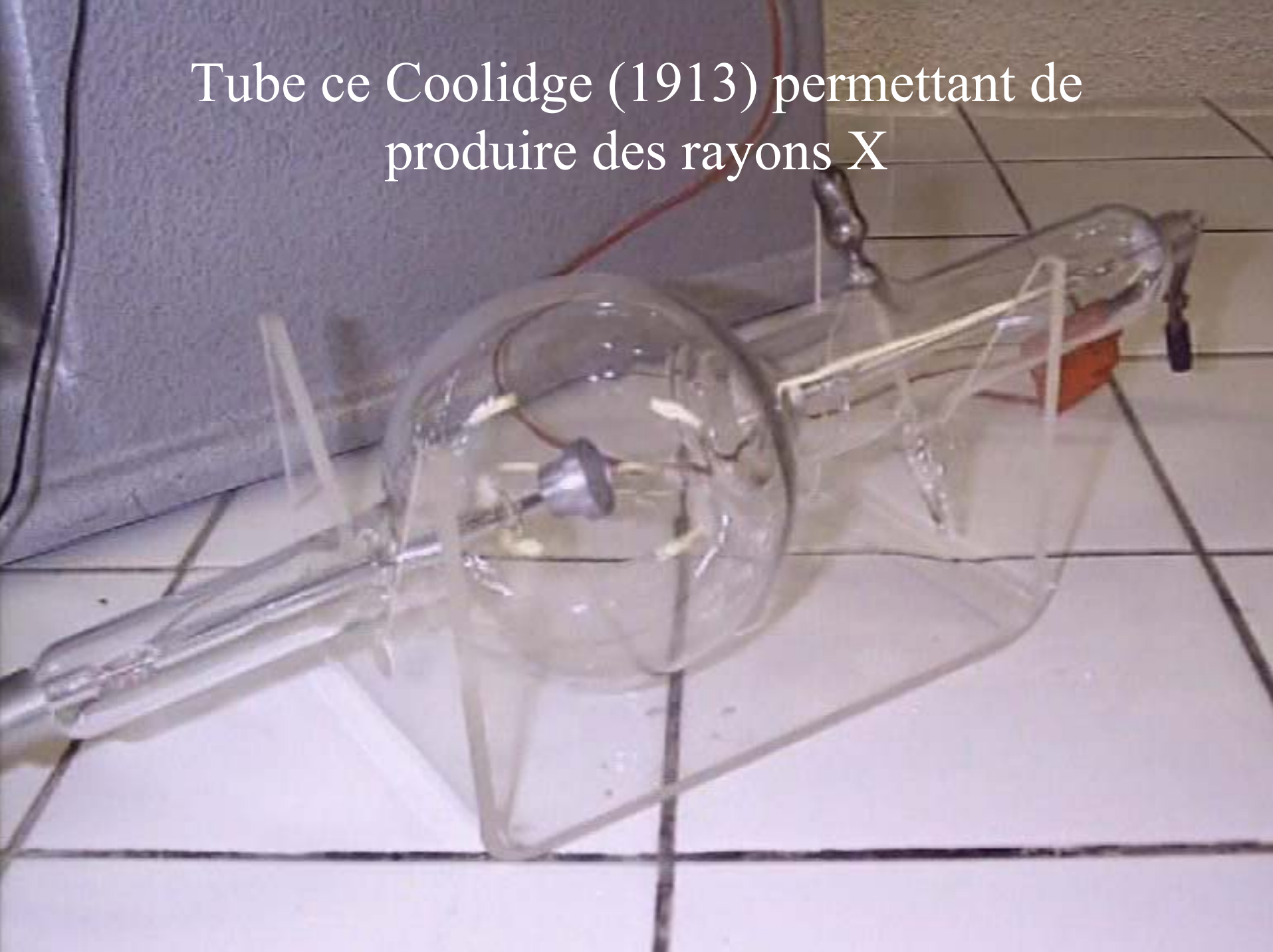


Repeints

Utilisation des rayons X (radiographie)

- Les rayons X pénètrent profondément.
- Ils peuvent renseigner sur la nature du support : coutures d'une toile ou mode d'assemblage des planches d'un panneau peint sur bois.
- Ils renseignent du bon état de la toile
- Ils permettent de voir si la toile était vierge ou non avant la réalisation de la peinture (utilisation d'une toile déjà peinte, repeints, repentirs)
- Ils donnent de nombreux renseignements sur la couche picturale et sur les techniques utilisées (identification de l'auteur)

Tube ce Coolidge (1913) permettant de
produire des rayons X



rayons x

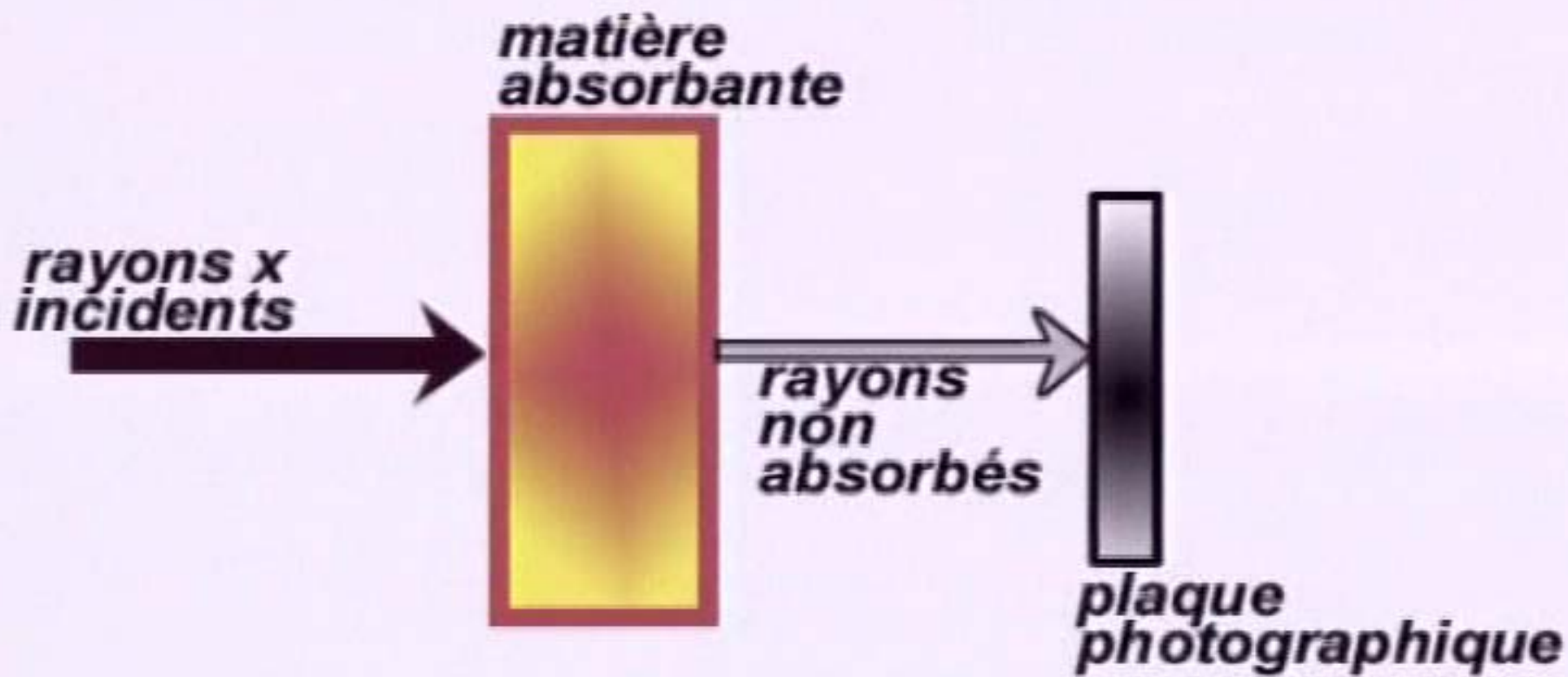


électrons rapides

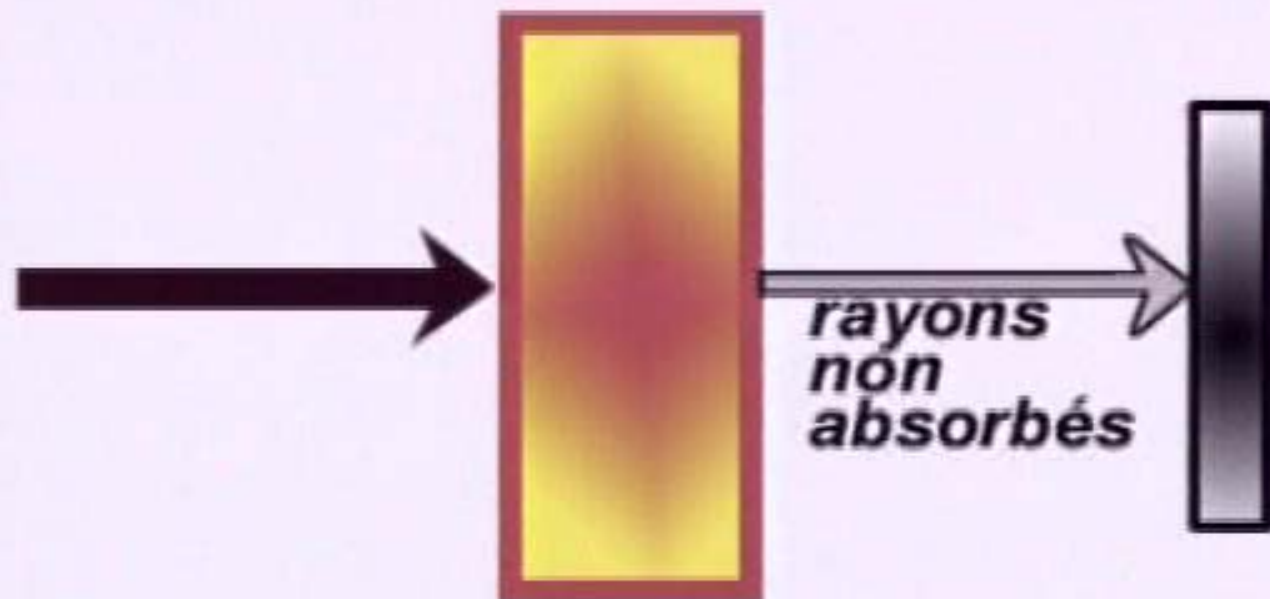


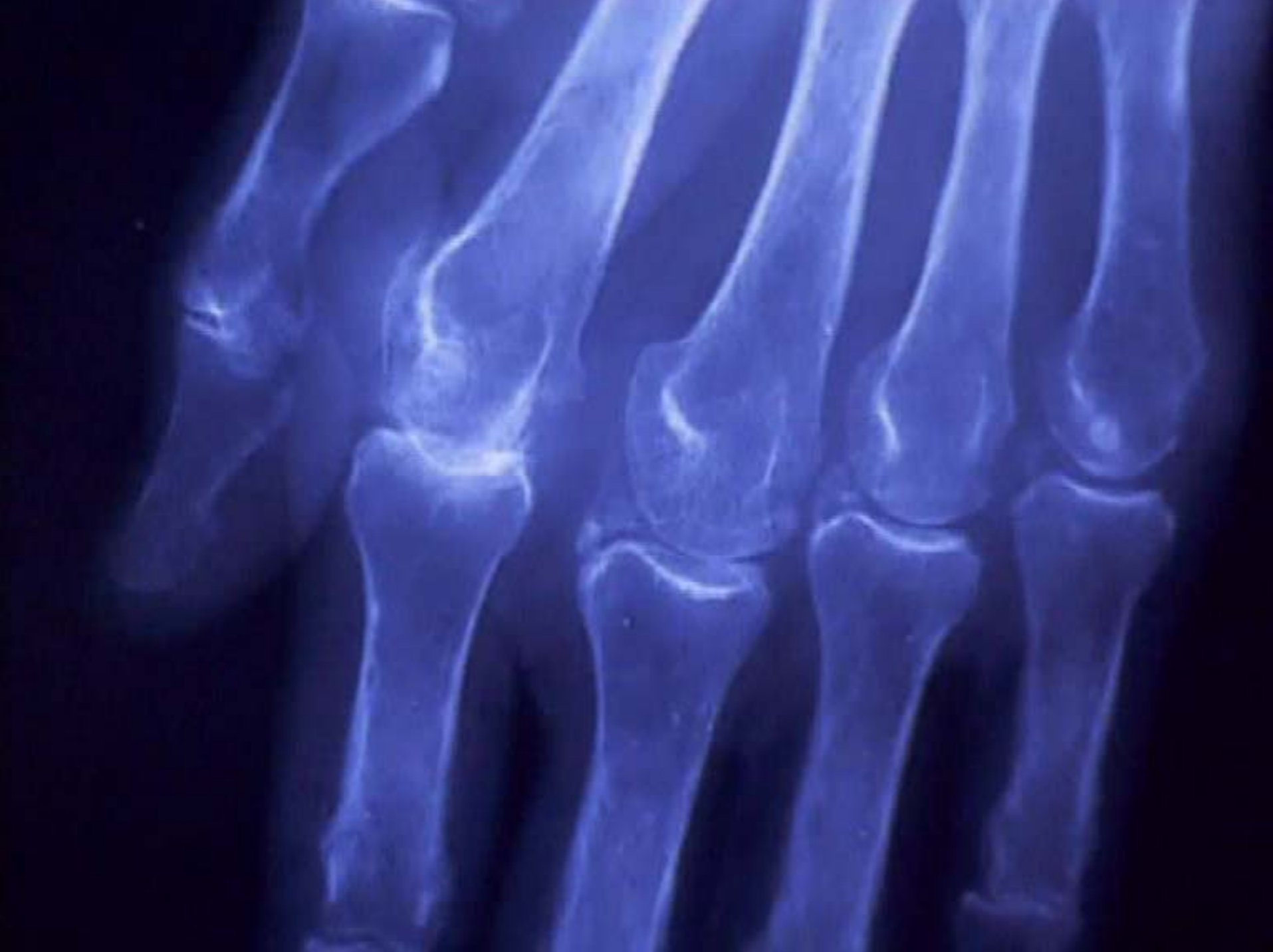
*pastille
de tungstène*



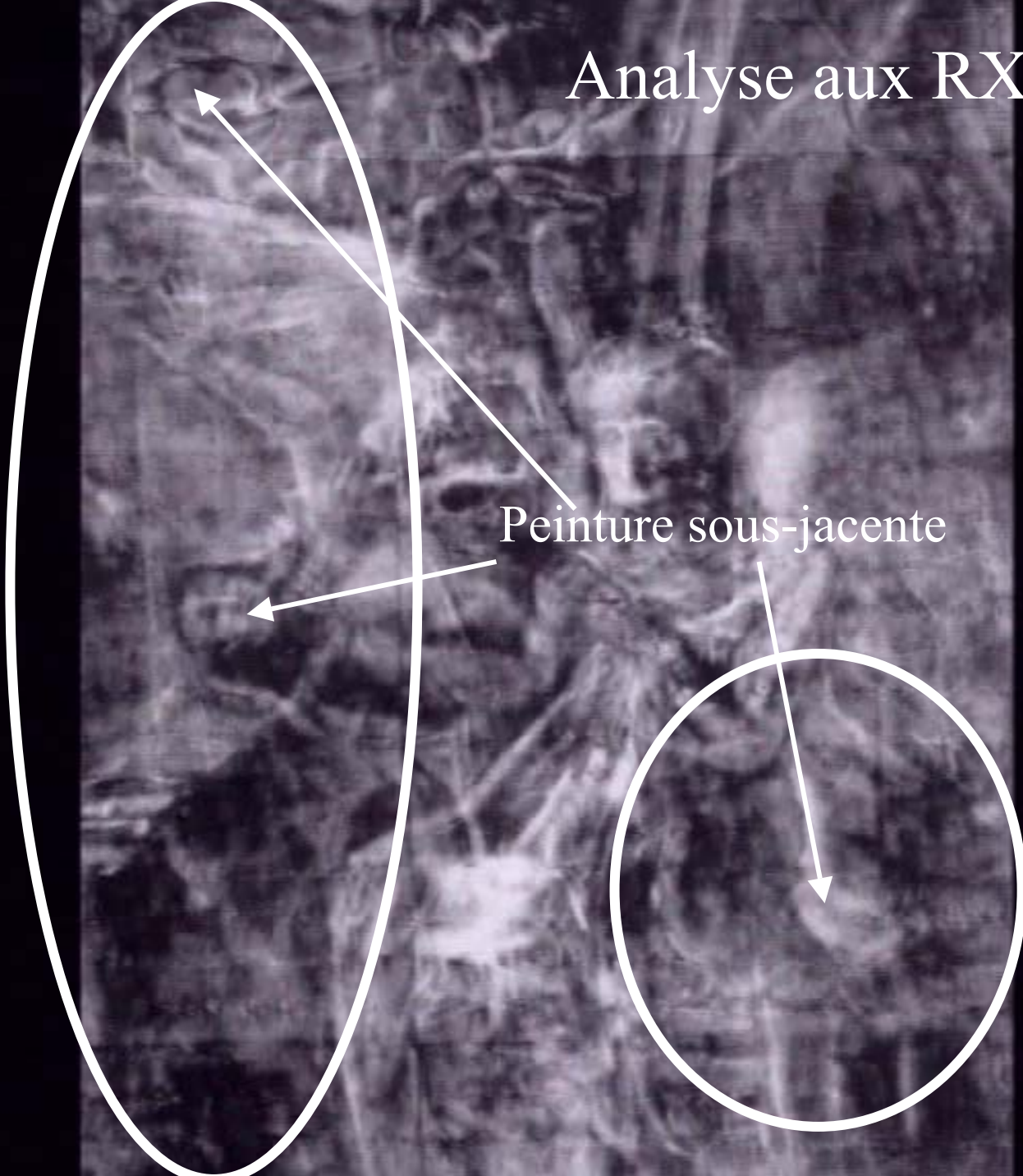


CALCIUM $Z=20$





Analyse aux RX

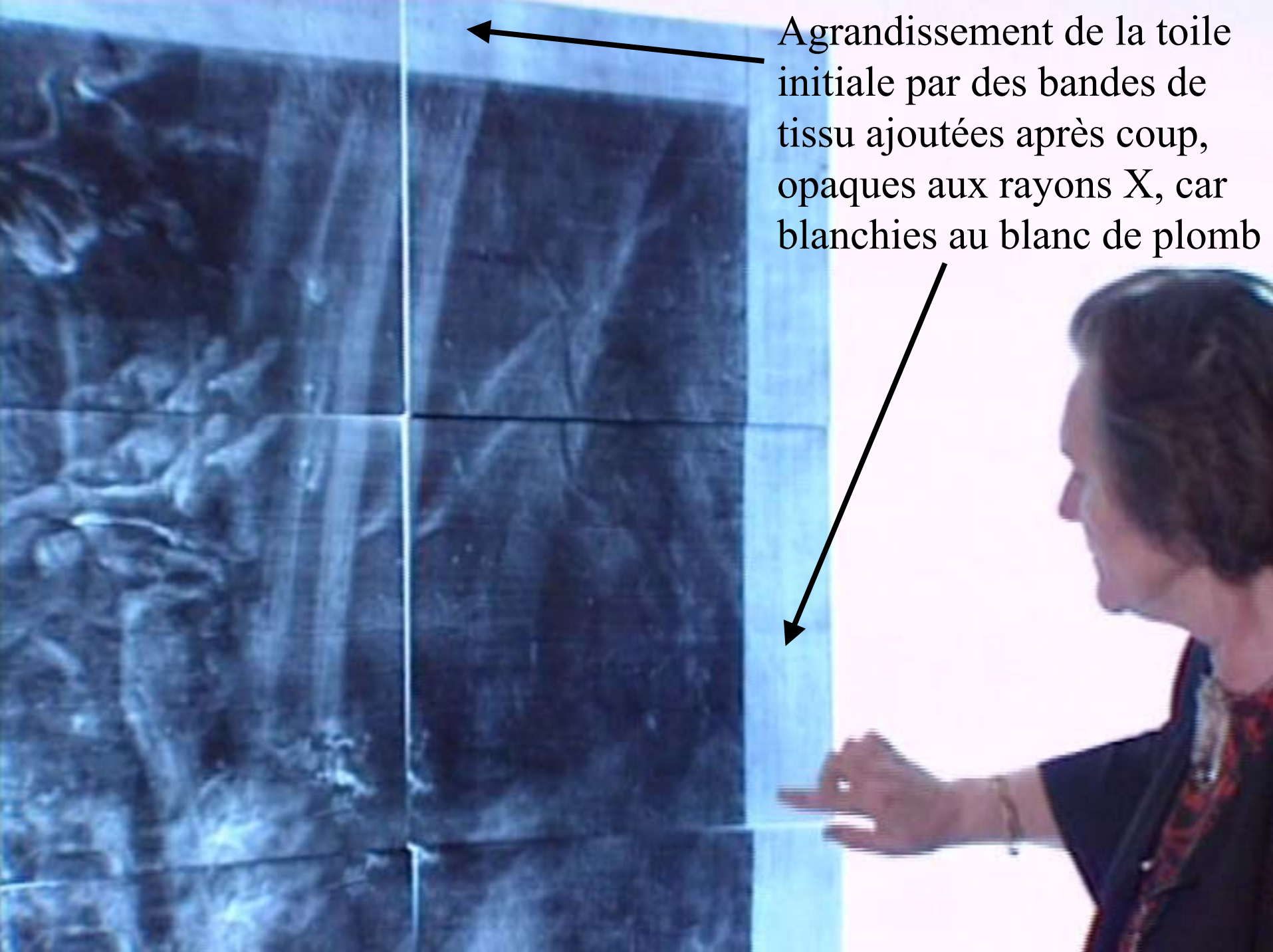


Peinture sous-jacente

Agrandissement de la toile

Peinture sous-jacente





Agrandissement de la toile
initiale par des bandes de
tissu ajoutées après coup,
opaques aux rayons X, car
blanchies au blanc de plomb

Gammagraphie

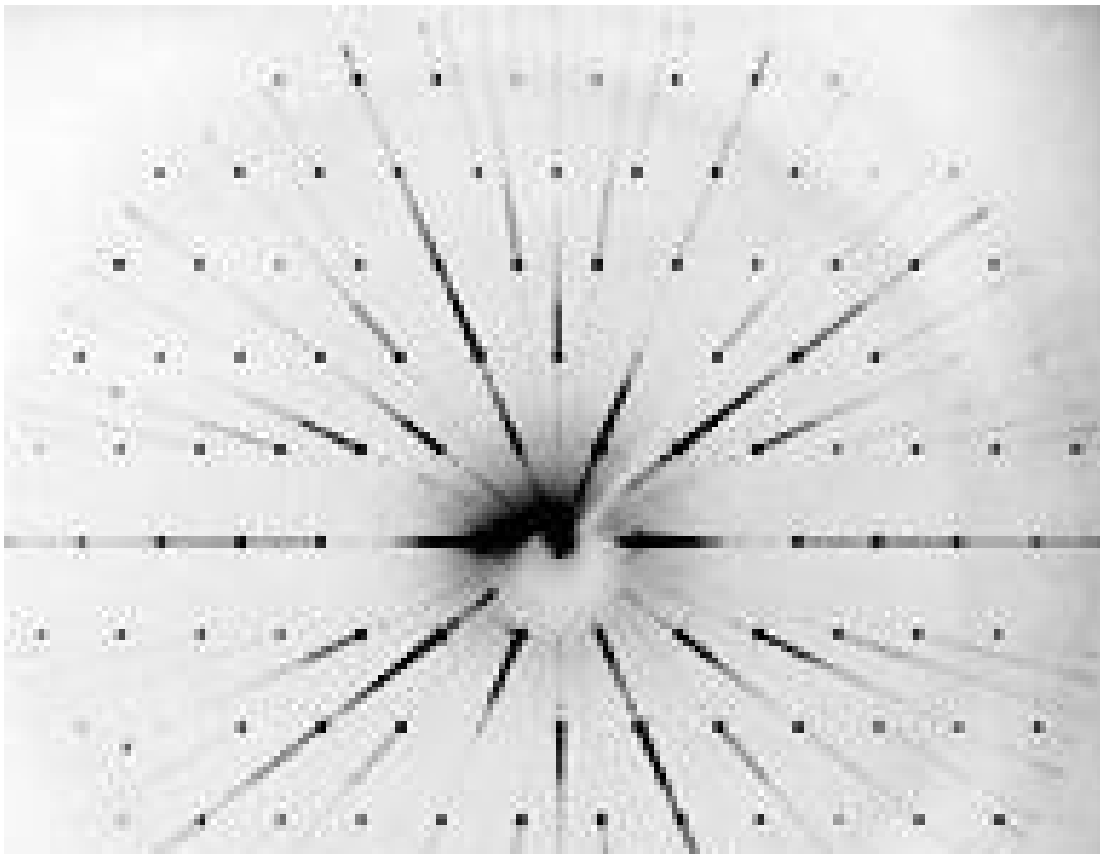
- Les rayons γ sont utilisés lorsque les rayons X ne sont pas suffisamment pénétrants ou lorsqu'il est nécessaire d'assainir certaines œuvres.
- La gammagraphie permet de désinfecter les matériaux organiques et de traiter les épaves des bateaux grecs trouvés dans l'ancien port de Marseille.

Utilisation de microscopes électroniques

- Le microscope électronique à balayage produit un faisceau d'électrons qui frappe l'échantillon : les électrons secondaires, émis par la surface balayée, permettent de reconstituer une image de celle-ci.
- Il permet d'obtenir des grossissements bien supérieurs à ceux des microscopes optiques
- Il permet également d'analyser la nature des atomes présents sur l'échantillon (analyse qualitative et quantitative)

Diffraction X

- Les rayons X ont des longueurs d'onde très petites, du même ordre de grandeur que les distances entre les atomes d'un cristal.
- Lorsqu'on arrose des cristaux avec des rayons X, ils diffractent ces rayons X dans certaines directions bien précises et pas dans d'autres. On obtient une « figure de diffraction » du cristal.
- Ceci s'explique par la périodicité dans les trois dimensions de l'espace des cristaux.
- Les « figures de diffraction » sont photographiées dans les trois plans Oxy , Oxz et Oyz de l'espace. La disposition et l'éloignement entre les tâches obtenues permet d'identifier le cristal.



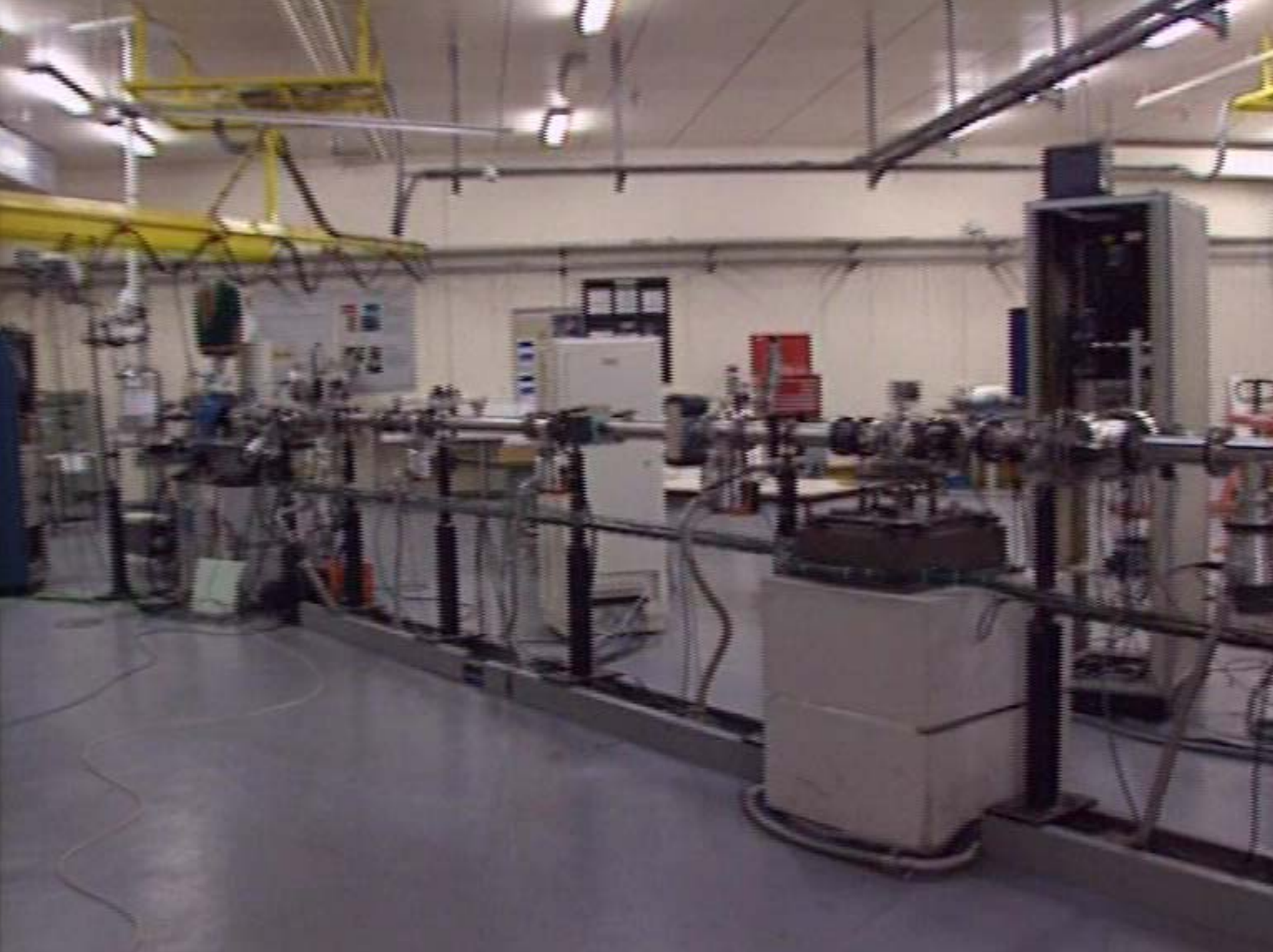
Le physicien britannique William Lawrence Bragg a reçu le prix Nobel de physique en 1915, conjointement avec son père William Henry Bragg, pour leurs remarquables travaux sur la détermination de la structure des cristaux par diffraction des rayons X.

Fluorescence X

- Cette technique consiste à soumettre aux rayons X une substance qui renvoie des rayons X secondaires.
- Elle permet l'analyse qualitative et quantitative d'une substance.
- Les rayons X primaires perturbent les électrons profonds des atomes de l'échantillon qui à leur tour émettent des rayons X de longueur d'onde λ caractéristique qu'il suffira de recueillir pour détecter la présence de tel ou tel atome dans l'échantillon et aussi d'en connaître la quantité.

L'accélérateur de particules AGLAE

- En 1987, l'accélérateur de particules « A.G.L.A.E. » (Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire) est installé.
- Il s'agit d'un accélérateur d'ions (tension accélératrice de 2 000 000 V) permettant d'accélérer des ions légers (protons, deutérium, hélium, etc.)
- L'appareil fournit trois types de faisceaux :
 - un faisceau arrive sur l'échantillon de petite dimension placé dans une chambre à vide (cible dans le vide).
 - un faisceau peut frapper un objet ou une toile trop grande pour être placé dans la chambre à vide (cible dans l'air).
 - un microfaisceau peut être concentré sur $1\mu\text{m}^2$ environ d'un objet à étudier (dans l'air ou dans le vide).





Méthode PIXE

- Emission de rayons X sous l'impact d'ions.
- Cette méthode est comparable à la fluorescence X
- Le bombardement des atomes de la cible avec des ions perturbe les électrons profonds des atomes de l'échantillon. Ces atomes excités émettent des rayons X de longueur d'onde λ caractéristique qu'il suffira de recueillir pour détecter leur présence et également d'en connaître la quantité.
- Il s'agit d'une méthode d'analyse qualitative et quantitative extrêmement sensible et non destructive de l'échantillon.

METHODE PIGME

- Emission de rayons γ sous l'impact d'ions.
- Cette méthode est comparable à la précédente
- Le bombardement des atomes de la cible avec des ions perturbe noyaux des atomes de l'échantillon. Ces noyaux excités émettent des rayons γ de longueur d'onde λ caractéristique qu'il suffira de recueillir pour détecter leur présence et également d'en connaître la quantité.
- Il s'agit d'une méthode d'analyse qualitative et quantitative extrêmement sensible et non destructive de l'échantillon.

METHODE NRA

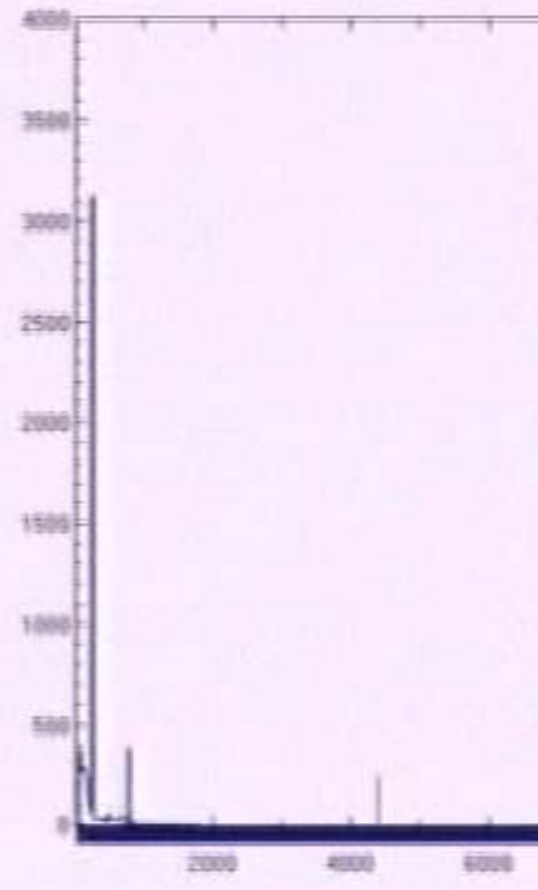
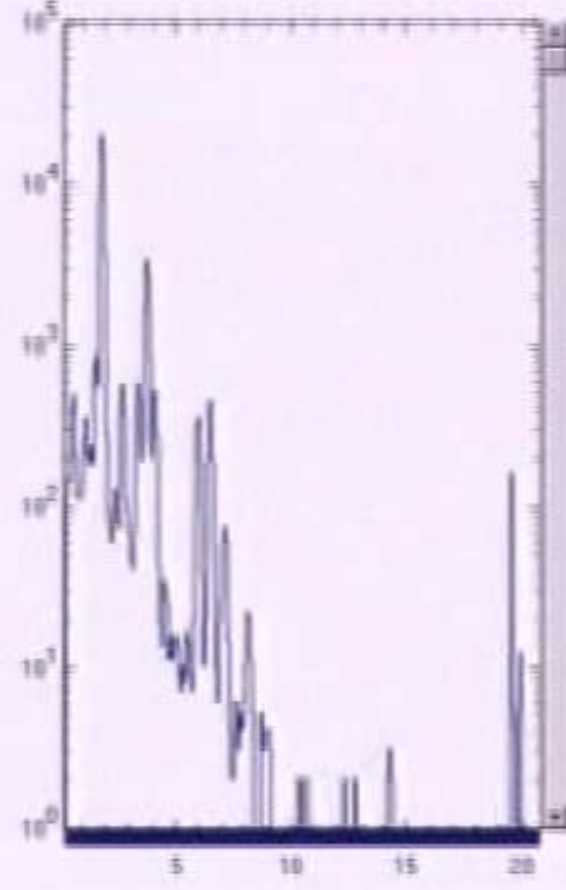
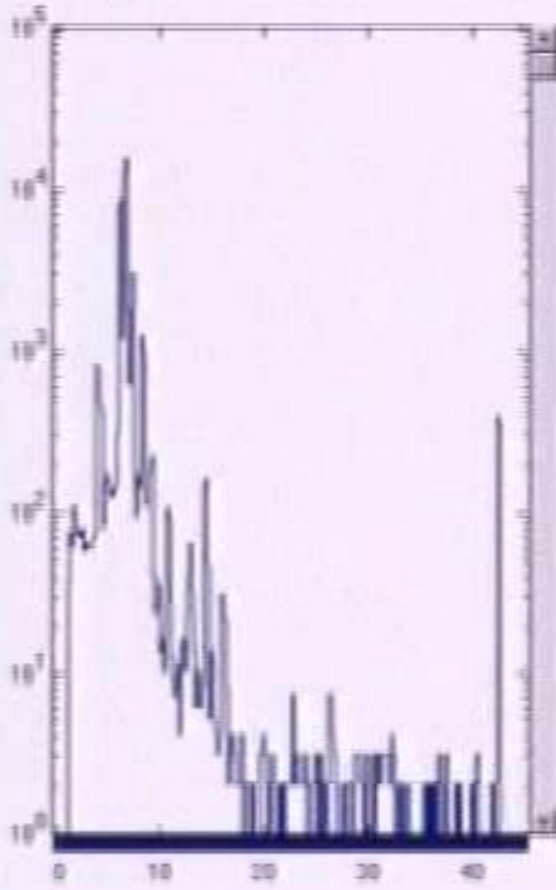
- Analyse par réactions nucléaires sous l'impact d'ions (ou non).
- Lorsqu'une réaction nucléaire se produit à l'intérieur de la cible (provoquée directement ou indirectement par les ions ou naturelle), des rayonnements et des particules sont émis et permettent s'ils sont détectés d'identifier l'atome responsable de la réaction nucléaire.
- Méthode d'analyse qualitative de certains types d'éléments chimiques présents dans la cible.

PIXE, PIGME ET NRA

- Permettent d'analyser une œuvre d'art sans effectuer de prélèvement (méthode non destructive), ce qui est considérable.
- On obtient des renseignements sur la composition chimique, l'origine et l'évolution de l'œuvre.
- Etude de la composition chimique des encres et colorants utilisés dans certains manuscrits.
- Etude de la composition de bronzes (éléments majeurs : cuivre et bronze, mineurs : arsenic, antimoine, nickel, plomb et éléments à l'état de trace, etc.







Control panel with various buttons and sliders.

Buttons: **STOP**, **START**, **RESET**, **PAUSE**, **RESTART**

Sliders: **AMPLITUDE**, **FREQUENCY**, **PHASE**

View 1 control panel

Buttons: **STOP**, **START**, **RESET**, **PAUSE**, **RESTART**

Sliders: **AMPLITUDE**, **FREQUENCY**, **PHASE**

View 2 control panel

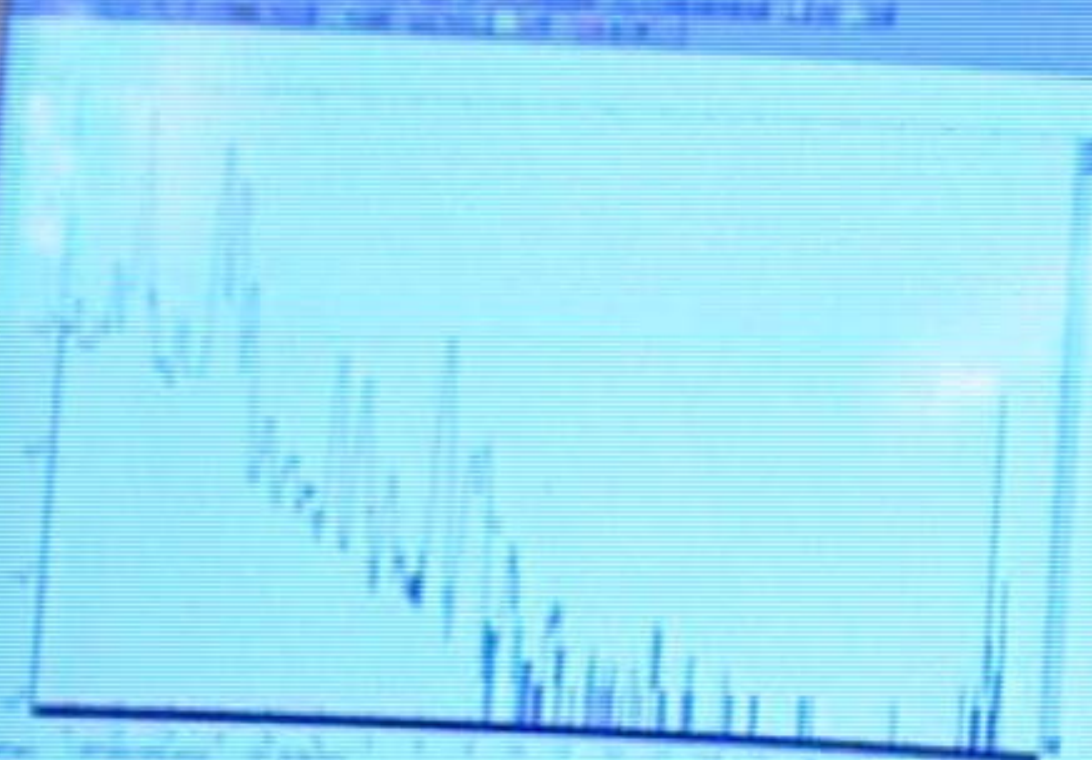
Buttons: **STOP**, **START**, **RESET**, **PAUSE**, **RESTART**

Sliders: **AMPLITUDE**, **FREQUENCY**, **PHASE**

View 3 control panel

Buttons: **STOP**, **START**, **RESET**, **PAUSE**, **RESTART**

Sliders: **AMPLITUDE**, **FREQUENCY**, **PHASE**



Microscope électronique à balayage

- Le microscope électronique à balayage permet une étude tridimensionnelle de microparticules comme celles venant de peintures préhistoriques.
- Il permet également à l'aide de détecteurs adaptés d'analyser les rayonnements X émis par les atomes de la cible bombardés par les électrons (méthode PIXE).
- Analyse visuelle + analyse qualitative et quantitative très sensible des éléments chimiques présents dans l'échantillon prélevé et placé dans la chambre à vide du microscope.