



Université
de Lille

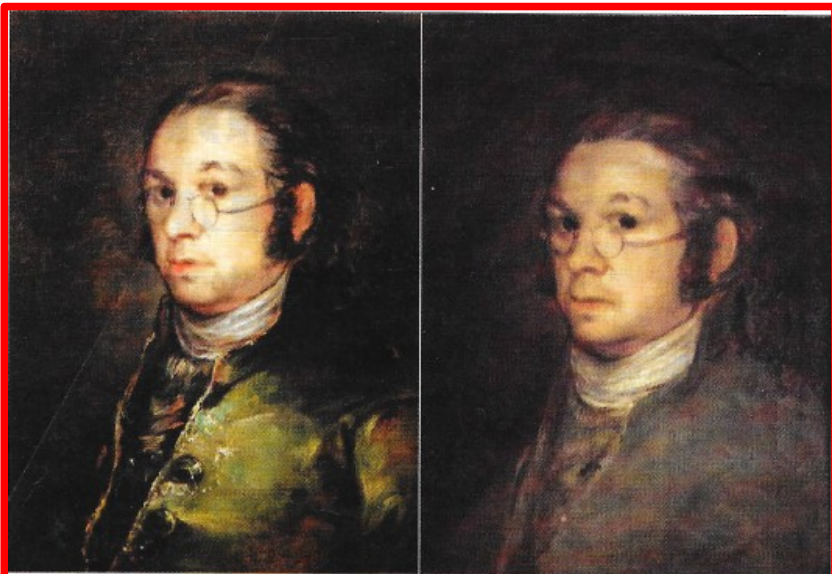
La Physique au service de l'Art

1 – Analyse d'une œuvre d'art

Pourquoi ? Comment ?

Pourquoi analyse t-on des œuvres d'arts ?

- Comprendre les techniques artistiques et redécouvrir les savoir-faire de l'époque
- Authentifier et attribuer l'œuvre à un artiste (falsification?)
 - Signature
 - Caractérisation des différents matériaux utilisés (provenance, composition)
 - Datation du support (toile, bois, papier,...)
- Révéler (pour la respecter) la technique de l'artiste :
 - Mise en évidence de dessins préparatoires
 - Évolution de ses intentions : repentirs, retouches



POLÉMIQUE Autoportrait aux lunettes, de Goya. A g., l'original, au musée Goya de Castres, et, à dr., la copie, au musée Bonnat, à Bayonne... jusqu'à ce que des analyses suggèrent l'inverse.



COUP DE THÉÂTRE *La Belle Princesse*, vendue comme un tableau « allemand, début du XIX^e siècle », en 1998, pourrait en fait avoir été peinte par Léonard de Vinci.

Pourquoi analyse t-on des œuvres d'arts ?

- Évaluer l'état de conservation
 - Détérioration éventuelle
 - Restaurations antérieures
- Déterminer les possibilités et les protocoles de restauration compatibles avec l'objet

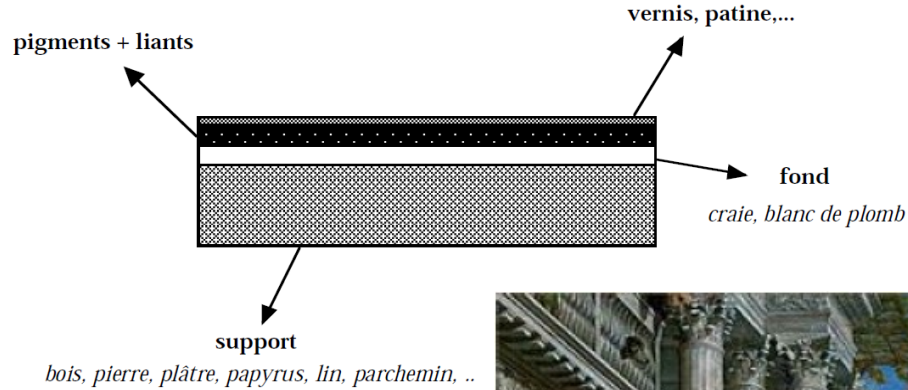


Comment analyse t-on des œuvres d'arts ?

La nature même et la valeur culturelle des œuvres obligent à ce qu'une méthode d'analyse soit :

- **Multiélémentaire** pour permettre en une seule expérience la mesure d'un maximum d'éléments
- **Non destructive** afin de ne nécessiter aucun prélèvement et de ne pas altérer la zone analysée (sinon micro prélèvement)
- **Rapide** de manière à permettre l'analyse d'un maximum de zones en un minimum de temps et d'obtenir un ensemble de mesures représentatif de l'œuvre
- **Facilement adaptable** à une large gamme de tailles et de formes des pièces à expertiser

Stratigraphie d'une peinture

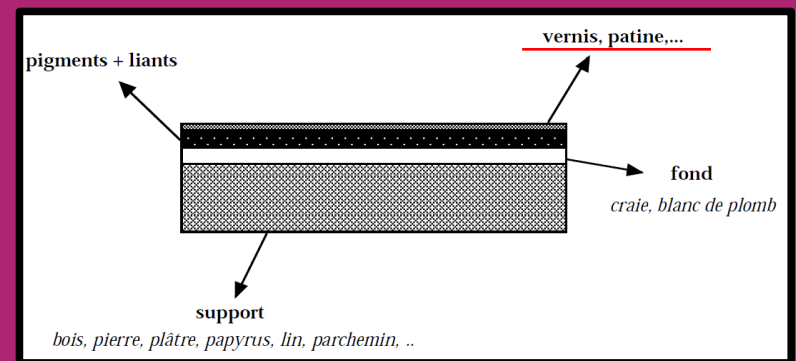


« *Les noces de Cana* »
Véronèse - Louvre
1563 - 67 m²



2 – En surface ...

verniss, patine, défauts ...



Surface : vernis, patine, ...

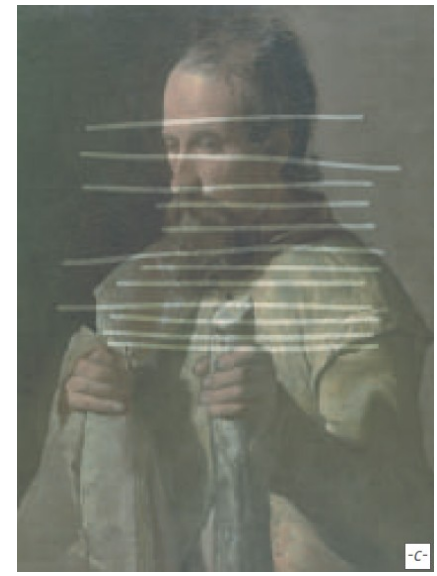
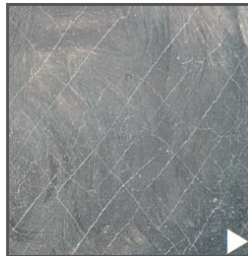
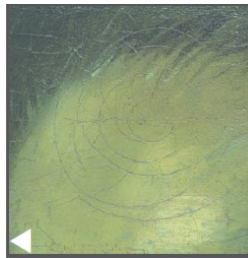
Imagerie en lumière rasante

- Lumière banche (halogène) ; appareil photographique numérique
- Mise en évidence des aspérités de surface et des reliefs
 - Craquelures, soulèvements ou enfoncements
- Caractérisation de l'état de conservation du vernis et des couches picturales



Vues de détail, en lumière rasante. Les zones entourées de pointillées semblent présenter un réseau de fissurations superficielles plus dense que dans le reste du tableau. Huile sur toile, Musée des beaux-Arts de Pau.

Surface : vernis, patine, ...



chocs

rentoilage

enroulement

Surface : vernis, patine, ...

Imagerie sous éclairage ultraviolet

- Le rayonnement UV réagit sous forme de fluorescence avec certains composants de la surface d'une œuvre
- Les variations d'intensité révèlent les zones de retouche, de restauration, des repeints de surface présents par dessus le vernis



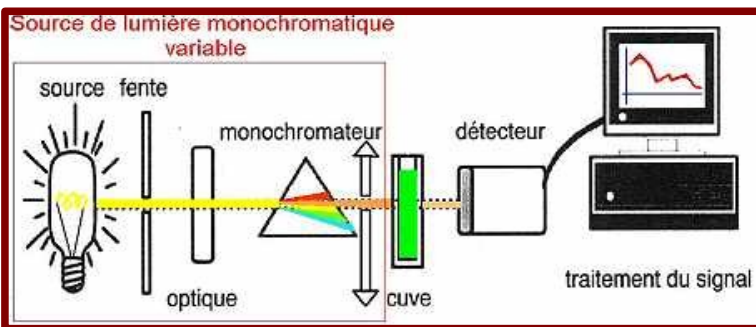
Vues de détail, sous éclairage naturel et aux UV. On observe une bande sombre transversale ainsi que des zones de fluorescence différentes correspondant à des points de restauration ayant nécessité un re-vernisage localisé et/ou l'utilisation de pigments différents de ceux employés initialement. Huile sur toile, Collection privée.

Surface : vernis, patine, ...

Fluorométrie

- La fluorescence est plus intense et plus visible pour des vernis et liants anciens
- Vieillessement = microfissurations + création de chromophores décalant le seuil d'absorption vers les grandes longueurs d'onde au delà de l'UV

→ **jaunissement des vernis**



Surface : vernis, patine, ...

Réduction de l'épaisseur du vernis par des solvants



« *Les noces de Cana* »
Véronèse - Louvre



Surface : vernis, patine, ...

Statigraphie

- Prélèvement d'un échantillon de la couche picturale à l'aide d'une aiguille creuse
- Observation de la coupe transversale au microscope

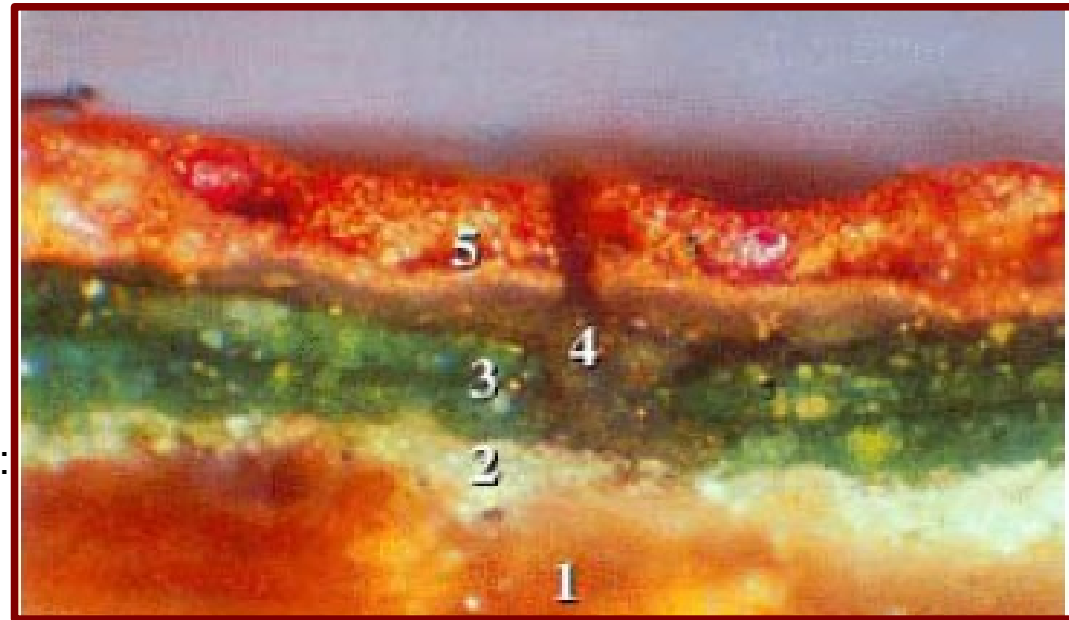
1 : Préparation

2 : Vert clair, épaisseur 0 à 30 μm .

3 : Vert foncé translucide étendu en deux couches ; épaisseur 70 μm .

4 : Matière de transition grisâtre, partiellement présente à la surface de la couche 3 et dans une lacune des couches vertes.

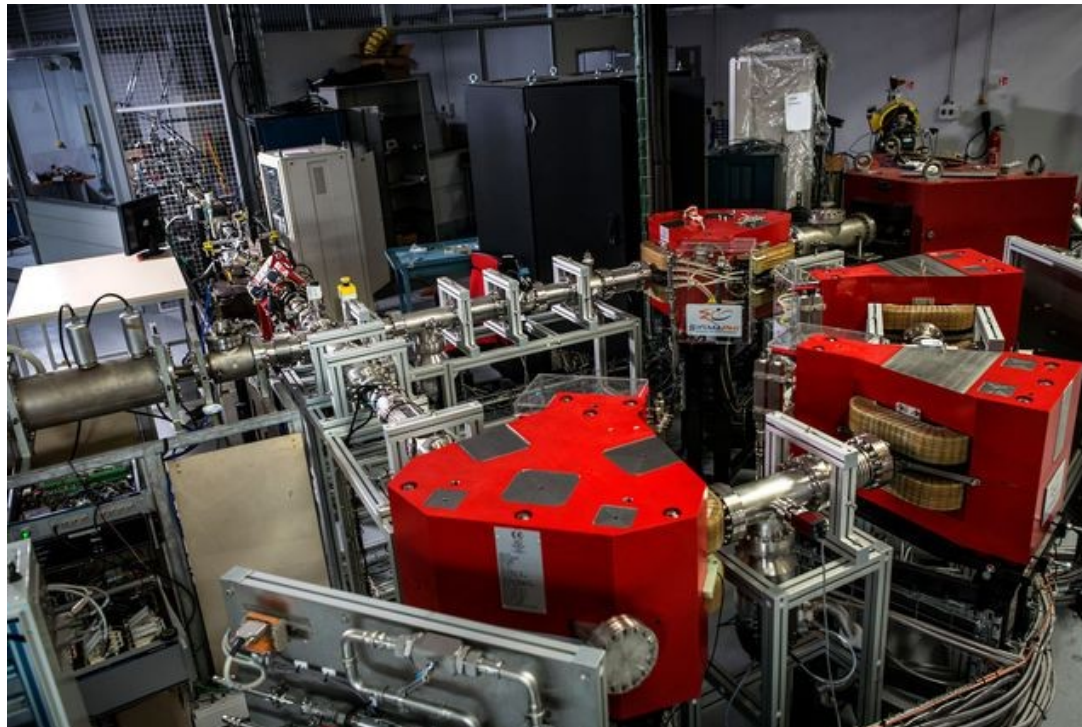
5 : Repeint rouge étendu en deux couches : la première représente la couleur générale du vêtement, la seconde celle du motif ; épaisseur : 70 μm environ.



Surface : vernis, patine, ...

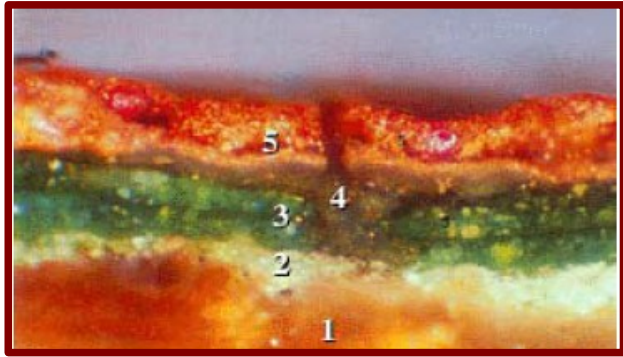
PIXE (Proton Induced X-ray Emission)

- Grâce à un accélérateur de particules (**AGLAE** : Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire), des protons acquièrent une énergie suffisante (3 – 5 MeV) pour entrer en interaction avec la matière (pas de prélèvement préalable)
- Les rayons X émis sont détectés et analysés : en considérant l'atténuation des rayons X par absorption, il est possible de calculer la composition et l'épaisseur des couches à partir d'une modélisation de la stratigraphie de l'œuvre

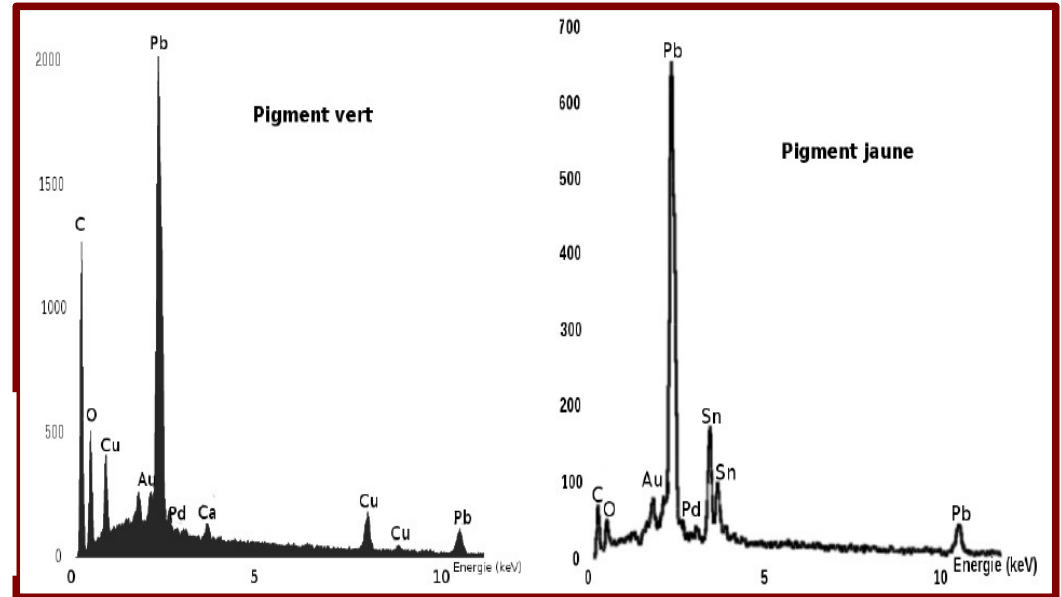


AGLAE Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire

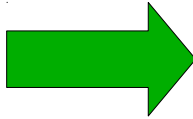
Retour sur le vêtement de l'intendant « Les noces de Cana » - Véronèse



Courbes PIXE d'analyse des pigments présents dans la couche vert foncé (couche n°3)



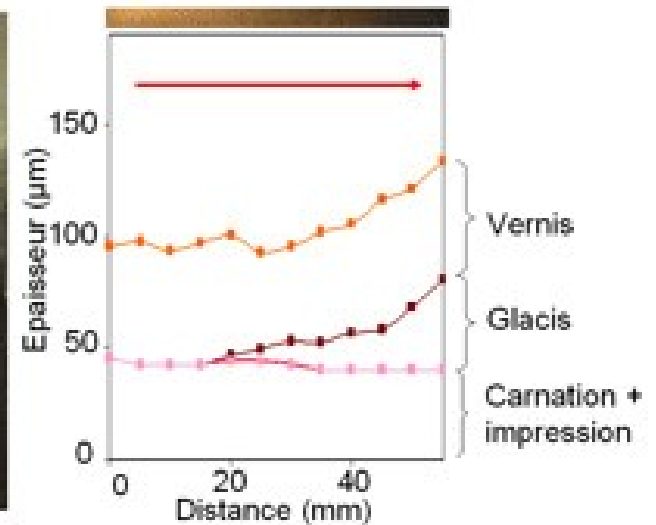
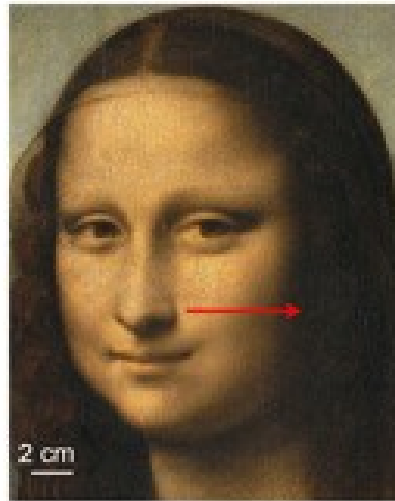
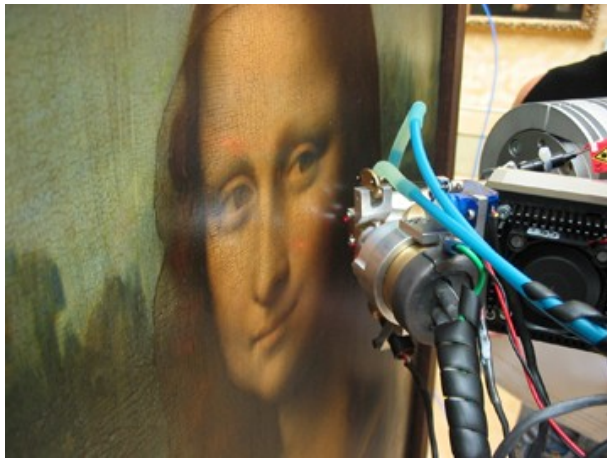
Surface : vernis, patine, ...



AGLAE Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire

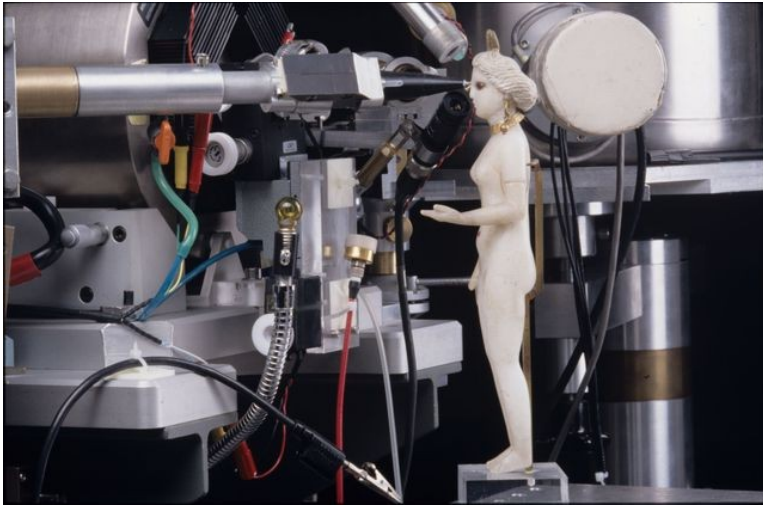
Le sfumato de La Joconde

- Effet vaporeux 'sans lignes, ni contours, à la façon de la fumée'.
- Ces recettes employées par Léonard de Vinci sont caractérisées à la fois par une technique (emploi de couches de glacis ou d'une peinture très fine) et par la nature des pigments ou des additifs.
- Dans le cas des glacis, des couches fines de 1 à 2 micromètres ont été minutieusement appliquées pour atteindre une épaisseur totale ne dépassant pas 30 à 40 micromètres.



Représentation de la superposition des couches de peintures le long d'une ligne du visage de Mona Lisa, d'une zone claire proche du nez vers la zone plus sombre des cheveux.

AGLAE Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire



On les croyait de verre; les fascinants yeux rouges et le grain rouge qui décore son nombril de la **déesse babylonienne Ishtar** sont en réalité des rubis... birmans, extraits à plus 6000 km de l'endroit (Irak) où elle avait été trouvée. De quoi réécrire l'Histoire

Le blanc de l'œil du **Scribe égyptien** est en magnésite claire, légèrement veinée de rouge; la cornée est faite de cristal de roche très pur; la coloration de l'iris a été obtenue par application d'une couche de résine derrière le cristal.

Pour le trait noir qui maquille l'œil, le sculpteur a utilisé un filament de cuivre; pour la pupille, il a effectué une minuscule perforation. Mieux, la cornée est convexe, comme celle de notre œil; l'iris est à peine strié pour mieux absorber la lumière.



AGLAE Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire

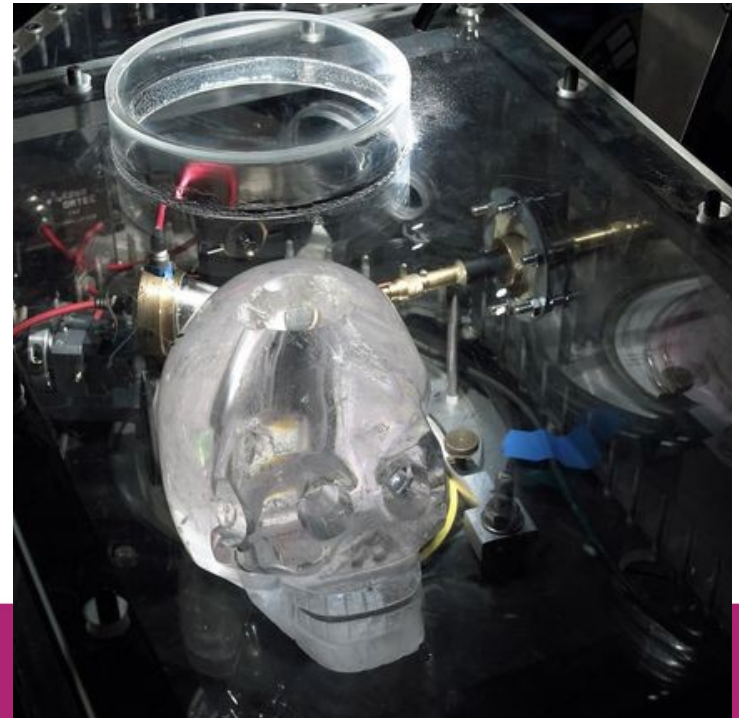


Tête en verre bleu achetée en 1923 par le musée du Louvre fut d'emblée attribuée au **Nouvel Empire**.

L'analyse chimique a montré que le verre qui la compose a commencé à être utilisé au...

XVIIIe siècle !

Le "**crâne de cristal**" du musée du quai Branly : Ce trésor **précolombien**, qui a aussi fait l'objet d'un épisode de la quadrilogie Indiana Jones, a vraisemblablement été sculpté au **XIXe siècle** et ne remonte certainement pas à l'an 1600.



Caractérisation des défauts de surface

Quels défauts ?

- Décollements des fresques murales
- Poches d'air dans les enduits
- Délaminages

Plusieurs techniques

- Sondage acoustique
 - Méthode subjective dépendant des capacités de perception et de l'expérience du restaurateur, qui seules lui permettent d'apprécier et d'interpréter le sons rendus par l'enduit
 - Informations manquantes : profondeur, épaisseur de la poche , cohésion du mortier
- Thermique

**DIAGNOSTIC DES PEINTURES MURALES
PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE STIMULEE
(radiométrie photothermique)**

**par Gabriela Szatanik-Panaït (Institut nationale du patrimoine)
et Jean-Luc Bodnar (LEO Université de Reims)**

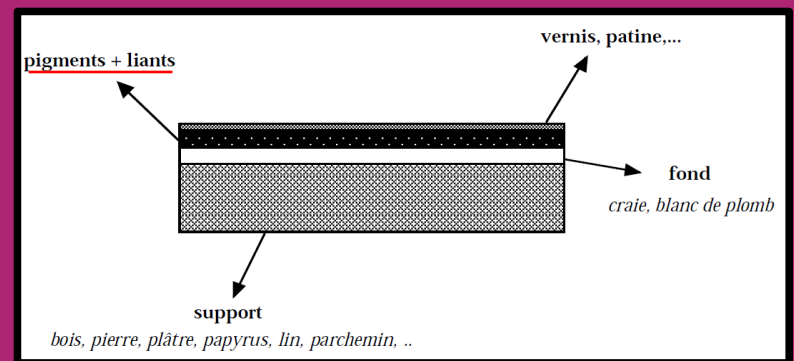
Caractérisation des défauts de surface

La chaleur pour détecter les défauts de surfaces des peintures

- La lumière visible chauffe un objet (+ 2°C), comme le fait le soleil
- L'énergie emmagasinée se répartit dans tout l'objet progressivement, à une vitesse caractéristique du matériau (conduction)
- Tout corps ayant une température non nulle émet un rayonnement ; plus la température est élevée, plus la longueur d'onde est courte
- A l'endroit des défauts, constitués essentiellement d'air et donc plus isolants thermiquement, la propagation est ralentie : le refroidissement est moins rapide et la signature infrarouge plus importante à l'emplacement des défauts



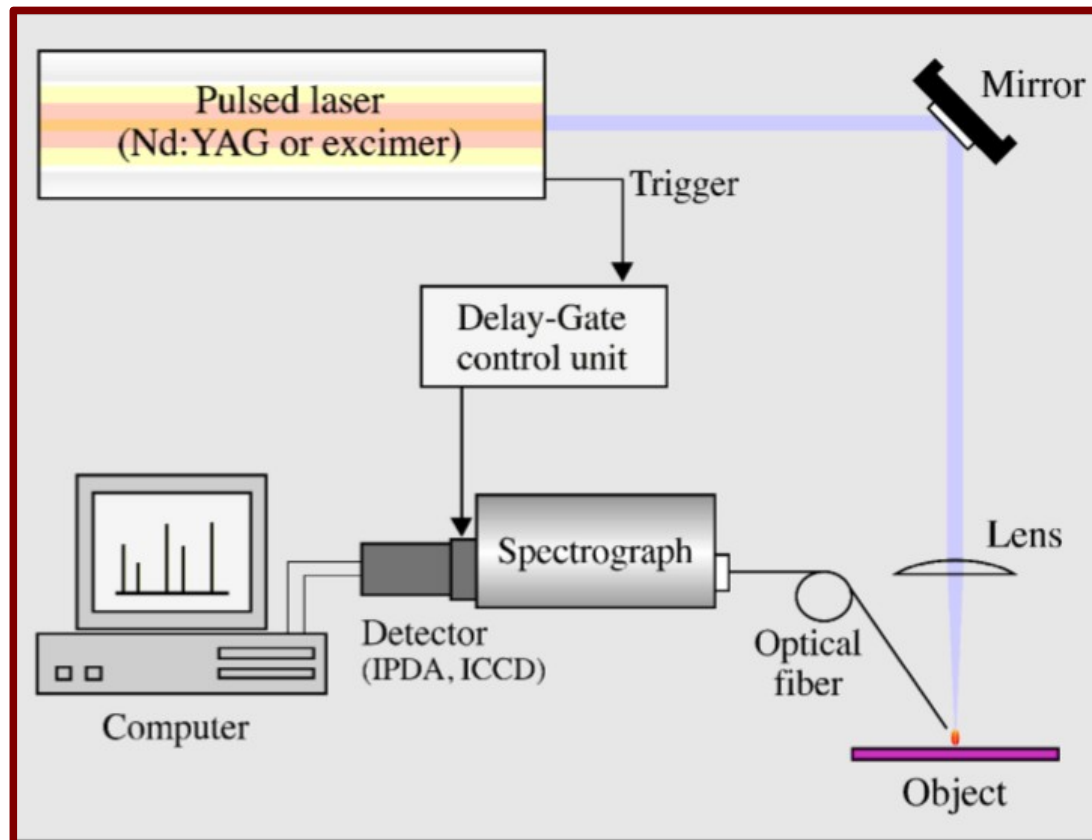
3 – Pigments et liants



Pigments

Spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBS)

- Le laser pulsé (ex : Nd-YAG à 1064 nm, 700 mJ pendant 10 ns) crée un plasma
- La matière dissociée, d'énergie très élevée, se désexcite en émettant une lumière visible, décomposée spectralement



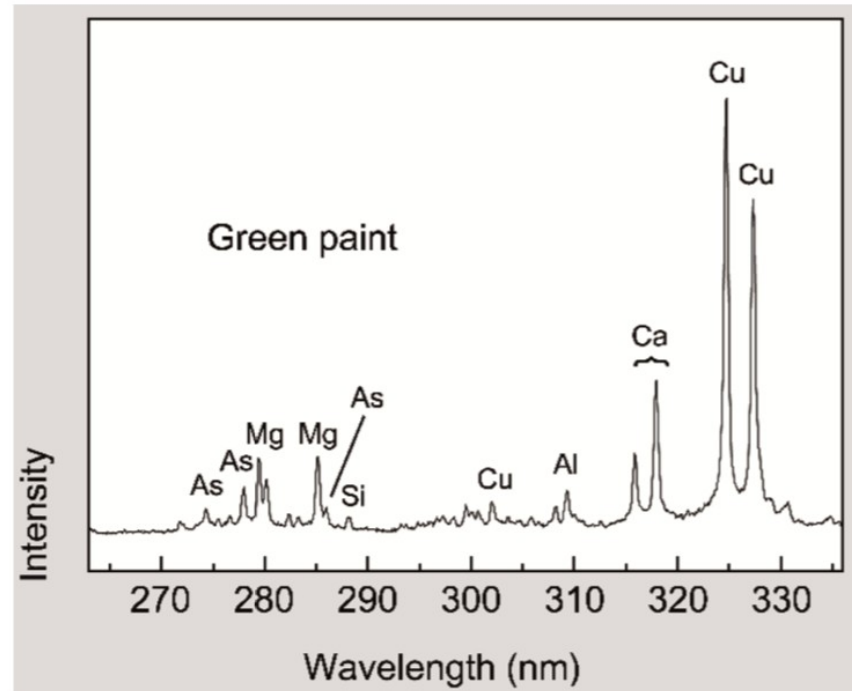
Pigments

Spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBS)

Laser excimer
à 355 nm



Portrait d'une femme endormie
Miniature du XIXème



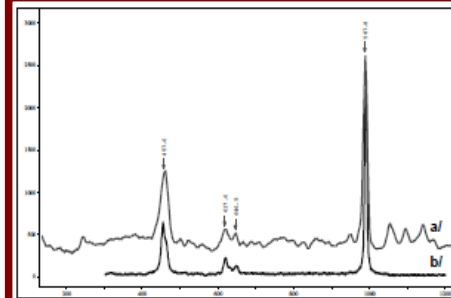
Présence de cuivre et d'arsenic
=
vert émeraude (synthétique)

Pigments

Spectroscopie Raman

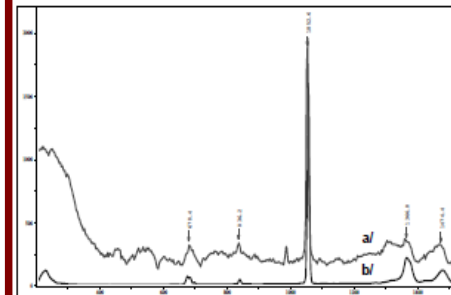
- Étude de la vibration moléculaire à partir d'une lumière diffusée provenant d'un laser vert
- Complémentaire de la spectrométrie IR, mais non destructive
- Identification des pigments

bleu



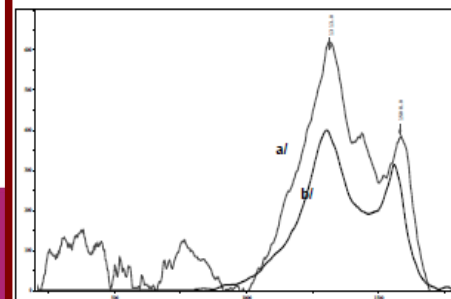
Spectre Raman d'une couche picturale (a/) comparé à celui de la barytine (b/). Un des composés de cette couche correspond à du sulfate de baryum.

blanc



Spectre Raman d'une couche picturale (a/) comparé à celui du blanc de plomb (b/). Un des composés de cette couche correspond à de la céruse.

noir

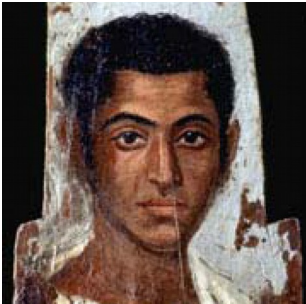


Spectre Raman d'une couche picturale (a/) comparé à celui du noir de carbone (b/). Un des composés de cette couche correspond à un pigment noir à base de carbone, noir de carbone ou noir de fumée.

Liants

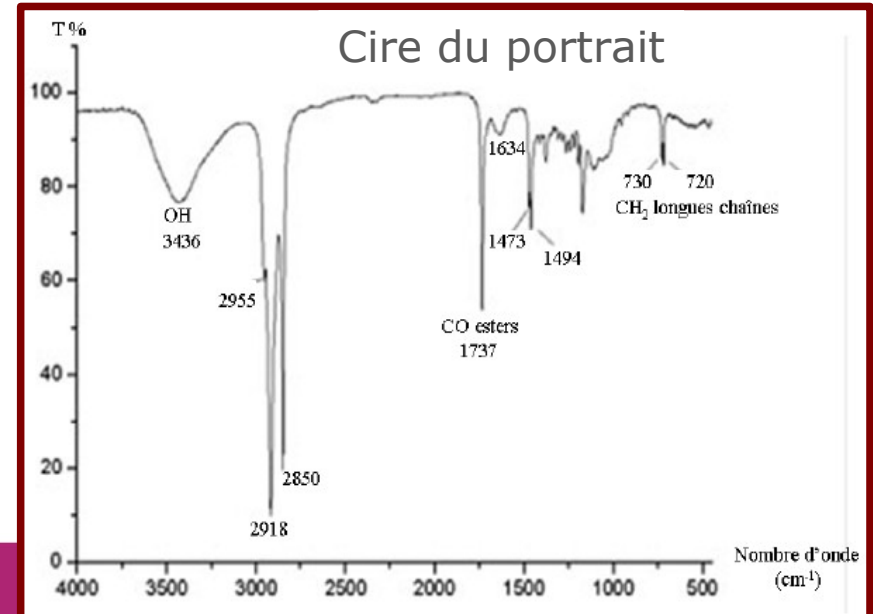
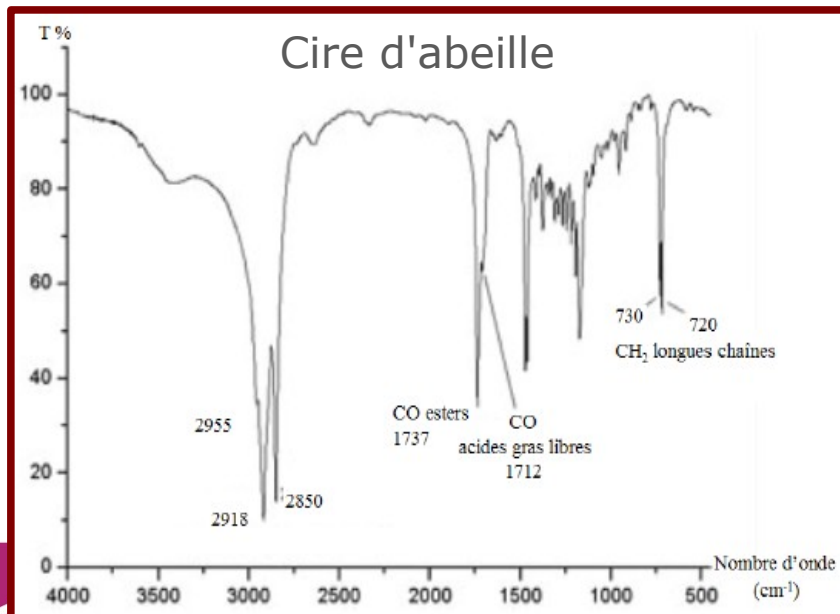
Spectroscopie Infrarouge (TF)

- Étude de la vibration moléculaire
- Identification des composés organiques, minéraux



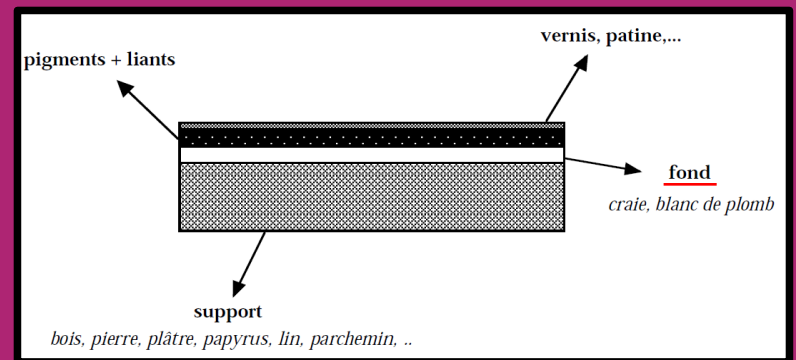
Portrait du Fayoum : représentation funéraire égyptienne d'époque romaine (entre le I^{er} et le IV^{ème} siècle après Jésus Christ) peints avec un liant que l'on suppose être à base de cire d'abeille.

Ces représentations étaient peintes sur panneaux de bois maintenus sur la momie par des bandelettes de lin ou peintes directement sur le linceul de lin enveloppant la momie.



4 – Couches profondes

*Dessins préparatoires, repentirs, retouches,
signature cachée, ...*



Couches profondes

Réflectographie Infrarouge

- IR1 (720 – 1100 nm) ou IR2 (920 – 1100 nm) ; caméra multispectrale
- « Voir » sous la couche de peinture sans provoquer de détérioration du tableau
- Faible diffusion des photons sur les pigments d'où meilleure pénétration
- Visualisation de dessins préparatoires, repentirs, retouches, signature cachée, ...



Vues de détail, sous lumière blanche (gauche) et sous réflectographie infrarouge (droite). Ce mode d'imagerie met en évidence la finesse du dessin préparatoire des sourcils. Huile sur bois, Collection privée.

Couches profondes

Réflectographie Infrarouge

Cruxifition

Hans MEMLING

Peintre flamand d'origine allemande - XVe siècle

Agrandissement sur
St Jean-Baptiste et un moine



Couches profondes

Réflectographie Infrarouge

Document 7

Portrait d'Arnolfini, 1434, huile sur chêne de Jan van Eyck, Londres, The National Gallery



<http://www.nationalgallery.org.uk/paintings/jan-van-eyck-the-arnolfini-portrait>

Document 8

En traversant les couches supérieures du tableau, et particulièrement les bruns et les jaunes, la photographie en infra-rouge offre une image du tableau inachevée, celle du chef-d'œuvre en cours d'élaboration (...)(...)

L'étude sous ces radiations du Portrait d'Arnolfini peint par Van Eyck (...) a permis de mettre en évidence un repentir de l'artiste - la main droite du personnage était à l'origine dans une position un peu différente de celle qu'elle affecte maintenant.

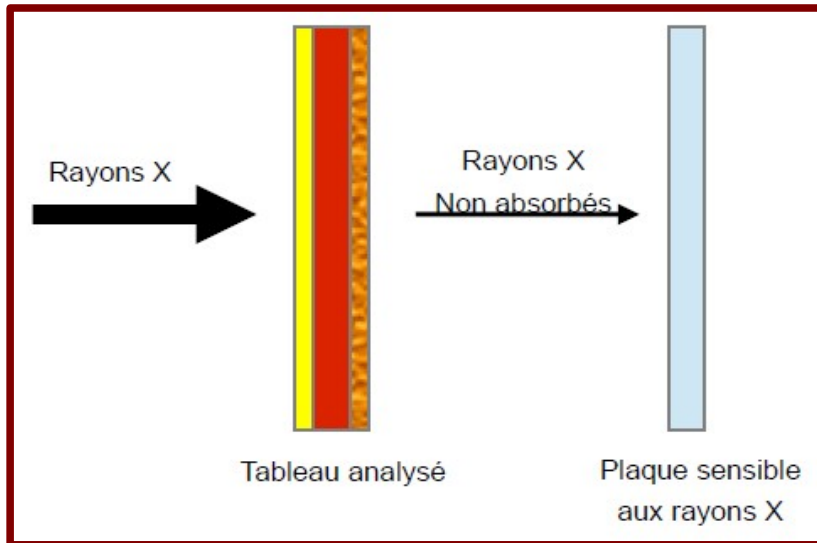


Madeleine Hours, *Analyse scientifique et Conservation des Peintures*, 1976

Couches profondes

Radiographie de rayons X

- Image de la répartition des matériaux selon leur épaisseur et leur densité, sur les couches picturales et le support
- Identification des différentes étapes de la réalisation de l'œuvre
- Appréciation de l'état de conservation (zones de restauration) ; présence de repentirs et repeints



Couches profondes

Radiographie de rayons X



« *Les noces de Cana* »
Véronèse - Louvre



Couches profondes

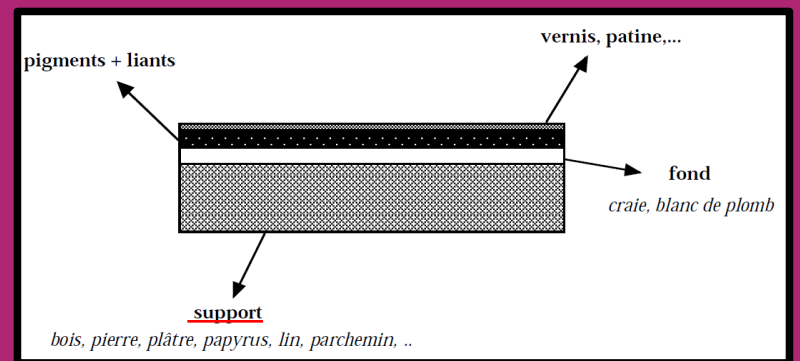
Radiographie de rayons X



La radiographie met en évidence la présence d'une vache, clairement identifiable, sous l'ensemble végétal et une partie du chemin. Huile sur toile, Collection privée.

5 – Fond

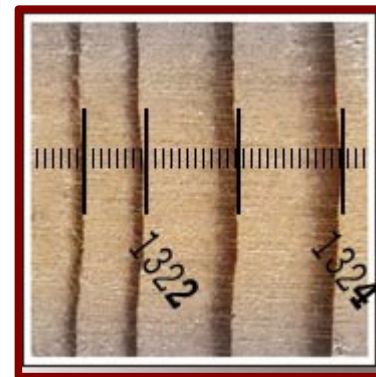
Datation



Datation

Dendrochronologie pour les œuvres d'art en bois

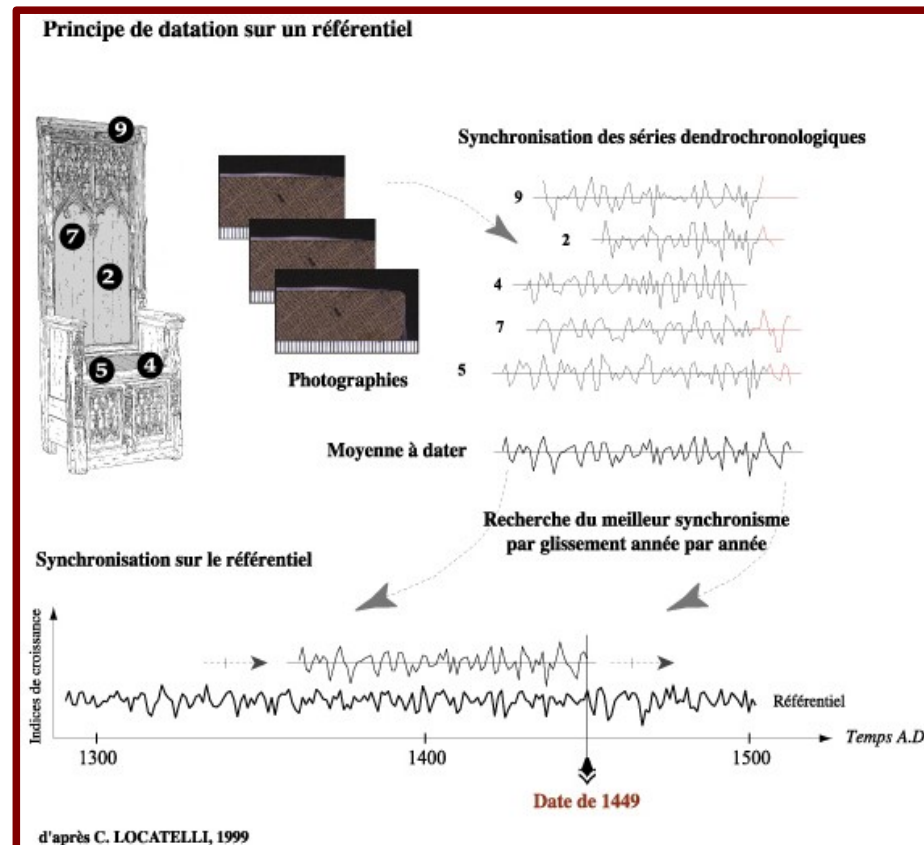
- **Étude des variations interannuelles de l'accroissement des arbres**
 - Arbres d'un même genre végétal, vivant ou ayant vécu durant un même laps de temps et soumis à des conditions environnementales similaires : les séries de cernes sont des empreintes de repères communs
 - Mise en évidence des limites entre les cernes pour en mesurer précisément les largeurs



Datation

Dendrochronologie pour les œuvres d'art en bois

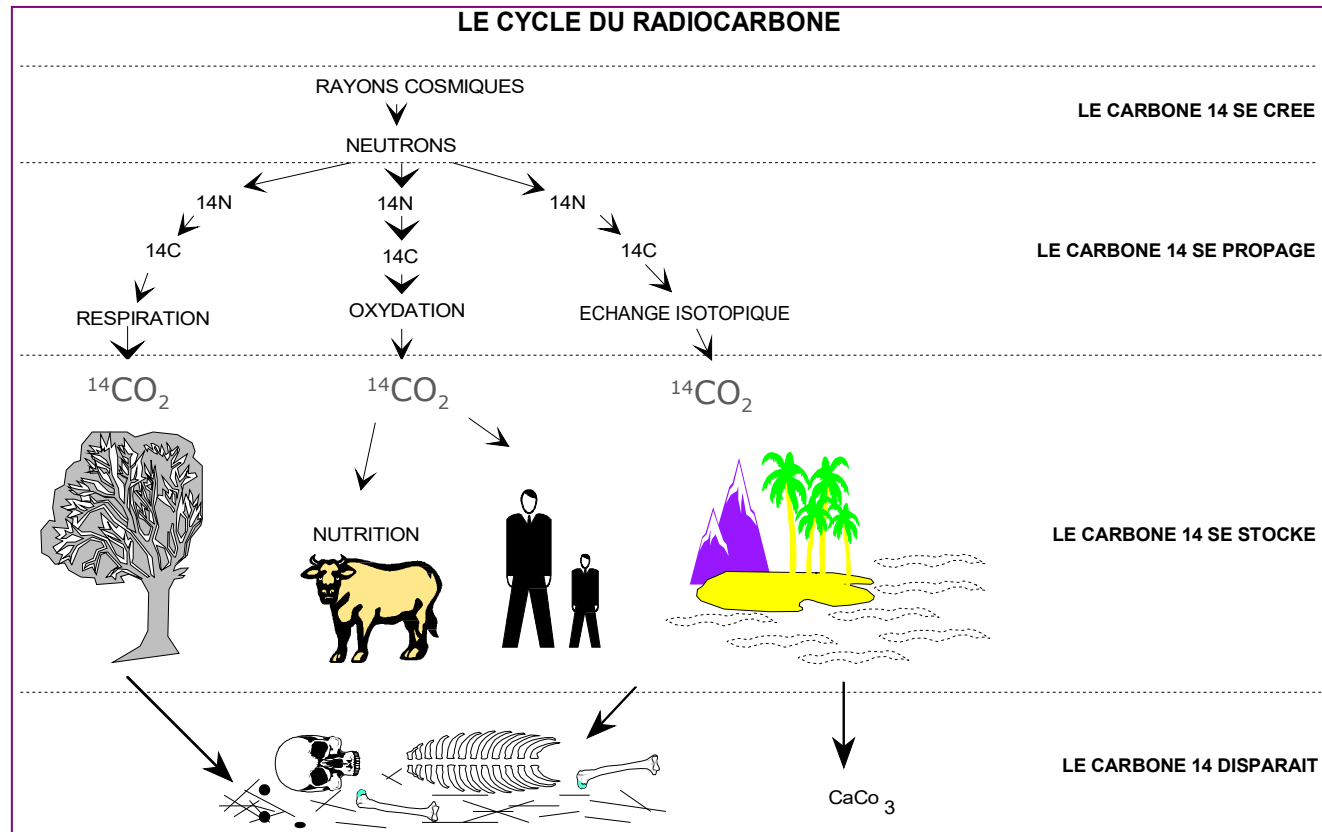
- Étude des variations interannuelles de l'accroissement des arbres
 - Datation obtenue en recherchant le meilleur synchronisme entre la moyenne représentative de leur croissance et de nombreux référentiels dendrochronologiques



Datation

Les rayons cosmiques pour dater les peintures rupestres

- **Les rayons cosmiques engendrent la formation de carbone 14**
 - Le carbone 14 est présent en très faible quantité : 1 atome pour mille milliards d'atomes de carbone 12
 - Il est radioactif : la moitié des noyaux se désintègrent chaque 5730 ans



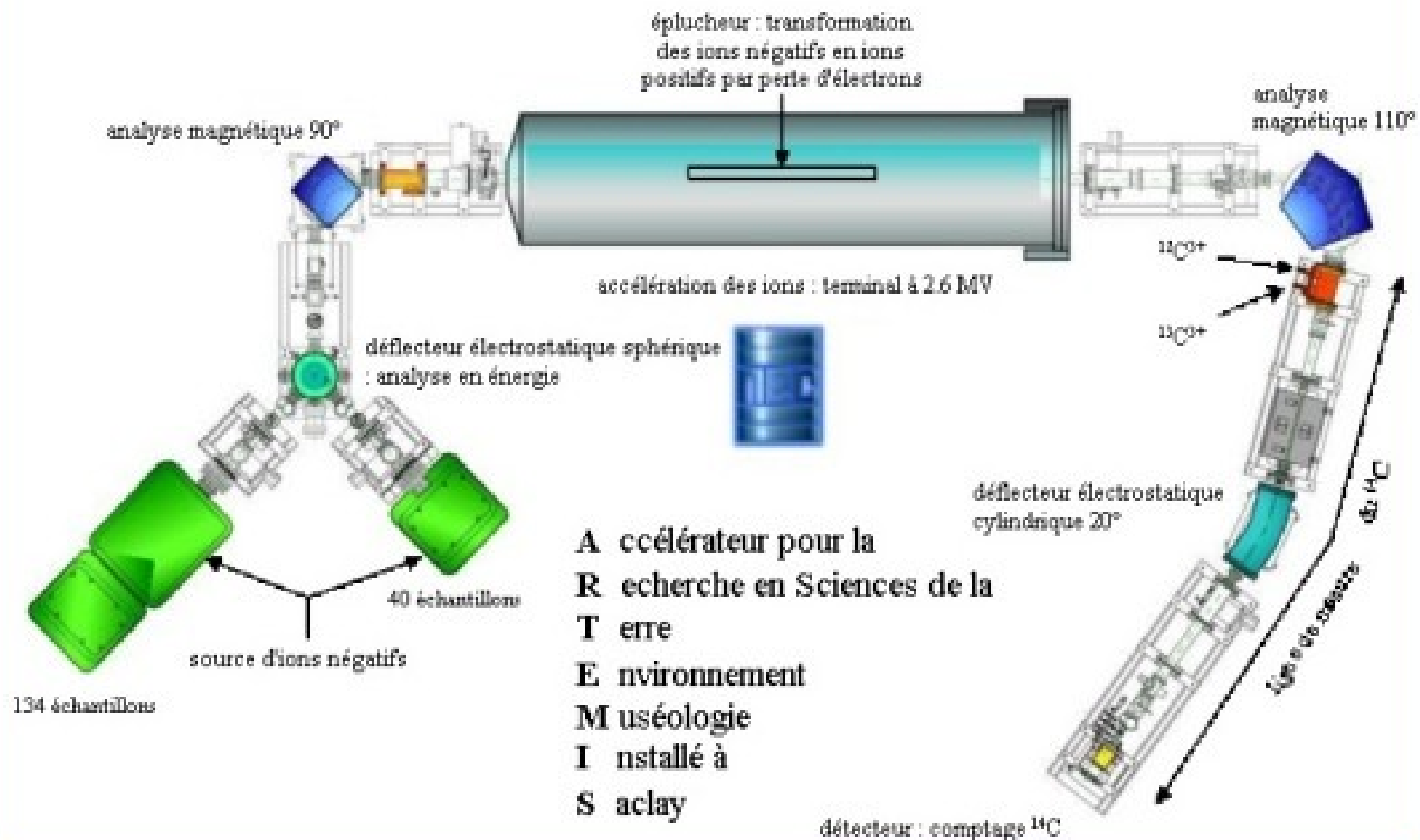
Datation

2 méthodes pour détecter la quantité de carbone 14

- **Émission des particules β^- :**
 - Transfert d'énergie aux molécules, dont la désexcitation génère des photons que l'on peut ensuite comptabiliser
- **Comptage direct des carbone 14 par spectrométrie de masse par accélérateur (SMA)**
 - Les atomes de carbone de l'échantillon sont transformés en un faisceau d'ions mesurables par des techniques très sensibles de la physique nucléaire.
 - Les carbones 12 et 14 sont comptés séparément
 - Détermination des rapports C^{14}/C^{12} et C^{14}/C^{13}

Datation

SCHEMA ARTEMIS



Références



Laboratoire scientifique dédié à l'analyse des objets d'arts

<http://www.res-artes.com/>

laboratoire d'analyse pour les objets d'art et le patrimoine culturel

<http://www.ciram-art.com/>

Annale zéro Baccalauréat technologique série STD2A

<http://eduscol.education.fr/cid58020/des-sujets-de-physique-chimie-au-baccalaureat.html>



Craquelures dans les couches picturales des peintures d'art

L. Pauchard et al. Reflets de la Physique, n°3, 5-9 (2007)