

Chapitre 9 - La restauration - Version prof

Notions à retenir

- Méthode non destructive vs méthode destructive
- Les méthodes d'analyse des composants, et ce qu'elles permettent de faire
 - PIXE
 - PIGE
 - Lumière visible rasante
 - Ultraviolets
 - Infrarouges (Réflecographie)
 - Rayons X / Radiographie
- Les méthodes de datation (Luminescence / Carbone 14 / Dendrochronologie)
- Comprendre le lien avec le chapitre sur la lumière et les ondes électromagnétiques

Ondes électromagnétiques : Observation et analyse des œuvres d'art

 Observer une œuvre d'art grâce aux ondes électromagnétiques

♦ L'analyse d'une œuvre d'art à l'aide d'ondes électromagnétiques est une méthode dite non-destructive, c'est-à-dire qui préserve l'œuvre. Le prélèvement d'échantillons, par opposition, est une méthode destructive.


♦ Les informations obtenues dépendent de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique utilisée. Certaines donneront des informations sur les couches profondes de l'œuvre, d'autres sur les couches superficielles.

Type d'onde électromagnétique	But / Objectif
La lumière visible (rasante)	Permet de détecter les craquelures, et aspérités de la surface
Les ultraviolets	Les UV pénètrent faiblement et s'arrêtent à la couche picturale. La couche de vernis devient fluorescente lors de l'observation par UV, ce qui permet : <ul style="list-style-type: none">• d'analyser l'homogénéité de la couche de vernis,• de détecter d'éventuelles retouches.

	Cette technique s'appelle analyse par fluorescence sous UV.
Les infrarouges	La réflectographie infrarouge permet de révéler le dessin initial de l'artiste. Le rayonnement infrarouge est : <ul style="list-style-type: none"> • absorbé par la couche de carbone, • ou renvoyé par la colle.
Les rayons X	Les rayons X ont le plus grand pouvoir de pénétration : ils traversent toutes les couches du tableau. Seuls les éléments lourds (comme le plomb) peuvent les absorber. Une plaque photosensible placée à l'arrière du tableau éclairé par rayons X assombrit les zones traversées. Cette technique, appelée radiographie , permet d'observer : <ul style="list-style-type: none"> • la constitution du support, • l'état de la couche de peinture, • la technique du peintre, etc.

Analyser une œuvre d'art grâce à l'interaction onde électromagnétique–matière

♦ On peut aussi connaître la composition chimique d'une œuvre d'art en l'exposant à un faisceau d'ions. Cela produit un spectre électromagnétique révélant les éléments présents.

 Deux méthodes principales :

- **PIXE** (♦ **P**article **I**nduced **X**-Ray **E**mission) : rayons X,
- **PIGE** (♦ **P**article **I**nduced **G**amma-Ray **E**mission) : rayons gamma.

 Le spectre obtenu permet d'identifier les matériaux de l'objet :

- support,
- pigments,
- vernis,
- liants, etc.

Datation d'une œuvre d'art

♦ **Luminescence** :

On chauffe un échantillon (par ex. céramique) → il émet un rayonnement proportionnel au nombre d'années écoulées depuis sa fabrication.

♦ Carbone 14 :

Méthode utilisée pour estimer la date d'un objet organique (bois, toile). La quantité de carbone 14 (isotope radioactif) présent dans tout organisme vivant est constante. Lorsque l'organisme meurt, la quantité de carbone détectable diminue de manière à un rythme constant (division par 2 en 5734 ans). Ainsi, le calcul du rapport entre la quantité de Carbone (Carbone 12) et celle de son isotope (le Carbone 14) permet de dater une œuvre d'art.

♦ Dendrochronologie :

On mesure la largeur des cernes du bois d'un support pour dater précisément l'année de coupe.

✓ Problème de BAC

LES YEUX D'ISHTAR

Découverte en 1862 dans une tombe près de Babylone (Mésopotamie), cette statuette est probablement une représentation d'Ishtar, la célèbre déesse babylonienne de l'Amour et de la Guerre. Par son style, sa typologie et la comparaison avec d'autres œuvres similaires, elle est datée de l'époque Parthe (1er siècle avant J.C. - 1er siècle après J.C.).

Ses yeux et son nombril sont incrustés de mystérieuses pierres rouges. Ces incrustations ont été analysées à partir de l'émission de rayons X induite par particules chargées (PIXE, *Particle induced X-ray Emission*) avec l'accélérateur AGLAE (Accélérateur Grand Louvre pour l'Analyse Élémentaire).

Source image : <http://www.laradioactivite.com/site/pages/identificationdemateriaux.htm>



Contexte de travail

L'origine géographique de ces pierres rouges doit être déterminée. On trouvera ci-dessous quatre documents qui y aideront.

Travail demandé en s'appuyant sur les documents des pages suivantes

1. Calculer l'énergie E d'un photon X de longueur d'onde $\lambda = 1 \text{ nm}$. On donnera le résultat en joules.
2. Déterminer les éléments chimiques présents dans les yeux d'Ishtar.
3. En déduire le type de pierres rouges qui ornent la statuette d'Ishtar.
4. Déterminer l'origine géographique de ces pierres. Justifier la réponse et la présenter soit sous la forme d'un texte, soit à l'aide de schémas ou sous forme d'une affiche.
5. Expliquer pourquoi on a préféré utiliser la technique PIXE plutôt qu'une méthode d'analyse chimique pour étudier la composition des pierres rouges de la statuette.

Document 1 : présentation de la technique PIXE

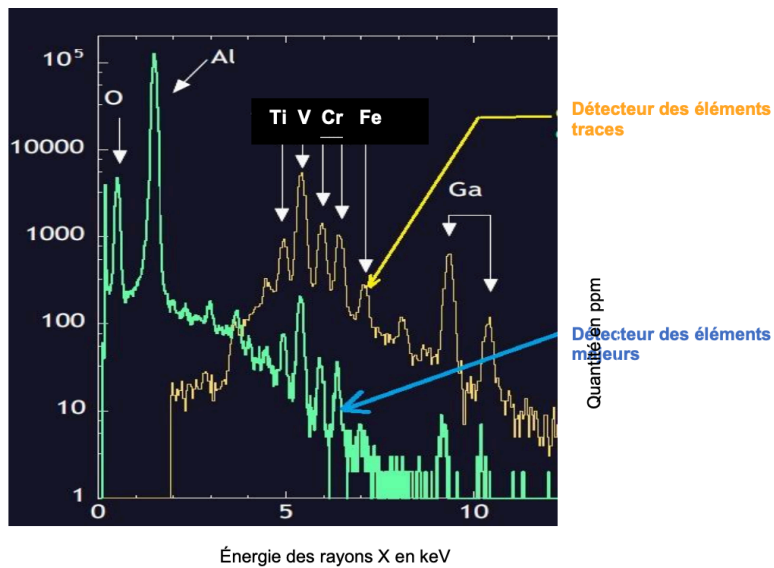
Son principe est simple : il s'agit de capter les rayons X émis par l'objet à analyser lorsqu'il est placé dans le faisceau d'un petit accélérateur d'ions. Deux détecteurs de rayons X permettent de doser simultanément les éléments majeurs et ceux présents à l'état de traces.

C'est une méthode d'analyse non destructive, sans prélèvement. Cependant elle ne mesure pas le carbone et l'azote et elle ne donne pas d'information sur les liaisons chimiques.

Longueurs d'onde λ des rayons X : entre 10^{-11} m et 10^{-8} m.

Relation entre λ et l'énergie E du photon correspondant : $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ où $h = 7 \times 10^{-34}$ J.s est la constante de Planck et $c = 3 \times 10^8$ m.s⁻¹ est la vitesse de la lumière dans le vide.

Document 2 : spectre PIXE obtenu sur l'œil droit de la statuette.



Symboles des éléments présents dans le spectre :

- O : oxygène
- Al : aluminium
- Ti : titane
- V : vanadium
- Cr : chrome
- Fe : fer
- Ga : gallium

D'après C2RMF

Document 3 : Composition élémentaire de quelques « pierres rouges »

Le grenat est constitué majoritairement de silicates (SiO_4)⁴⁻ et comporte à l'état de traces l'aluminium (Al), le fer (Fe), le chrome (Cr), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le manganèse (Mn).

La spinelle est un oxyde de magnésium et d'aluminium de formule MgAl_2O_4 .

Le rubis est un oxyde d'aluminium de formule Al_2O_3 contenant des traces d'éléments métalliques dont le chrome (Cr) qui est à l'origine de sa couleur rouge.

La jaspe est une roche contenant très majoritairement de la silice de formule SiO_2 contenant des traces d'hématite de formule Fe_2O_3 à l'origine de sa couleur rouge.

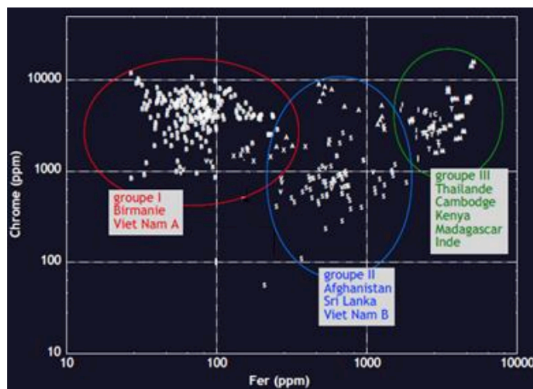
Document 4 : origine géographique de la pierre rouge.

La méthode PIXE permet de déterminer la nature d'une pierre précieuse, mais aussi son origine géographique.

Puisque lors de sa genèse, le cristal composant la pierre incorpore dans son réseau l'empreinte chimique du milieu environnant.

Pour mener cette comparaison, on a constitué une base de données de plus de 400 échantillons de référence classés en 3 groupes : I (Birmanie, Vietnam gisement A) ; II (Afghanistan, Sri Lanka, Vietnam B) ; III (Thaïlande, Cambodge, Kenya, Madagascar, Inde)

Le diagramme Cr/Fe présenté ci-contre, qui correspond à la comparaison des teneurs en éléments traces des pierres d'Ishtar et des gisements de référence nous permet de restreindre les provenances possibles.



Source : Art et sciences en TAA : activités et problèmes de physique et de chimie pour les élèves de terminale arts appliqués.