



**HAL**  
open science

## Les rayons X et l'étude des œuvres d'art

J.-M. Dupouy

► **To cite this version:**

J.-M. Dupouy. Les rayons X et l'étude des œuvres d'art. Journal de Physique IV Proceedings, 1996, 06 (C4), pp.C4-791-C4-808. 10.1051/jp4:1996477 . jpa-00254360

**HAL Id: jpa-00254360**

**<https://hal.science/jpa-00254360>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Les rayons X et l'étude des œuvres d'art

J.-M. Dupouy

*Laboratoire de Recherche des Musées de France, 6 rue des Pyramides, 75041 Paris cedex 01, France*

**Résumé.** Les rayons X sont tout à fait déterminants pour le laboratoire de musée car ils donnent lieu à l'emploi de trois types de techniques, la radiographie, la diffraction et l'analyse élémentaire basée sur l'émission caractéristique. Ils ont été à l'origine de la création de ce type de laboratoires dans le monde.

La radiographie apporte des informations essentielles sur l'état des œuvres et sur les techniques utilisées. Son regard indiscret éclaire souvent le geste ou la démarche de l'artiste. Les informations qu'apporte la radiographie sur l'évolution des œuvres depuis leur création sont également essentielles pour leur restauration ou leur conservation.

Les analyses basées sur l'émission X ne sont pas les seules mais elles sont encore souvent les plus courantes. Elles permettent, elles aussi, d'étudier les techniques de fabrication mais également les provenances ainsi que l'état de conservation.

De nombreux exemples tirés de l'activité du laboratoire de recherche des musées de France illustrent ces applications.

**Abstract.** The X rays are essential for the museum laboratory because they give rise to three types of techniques which are currently used, the radiography, the diffraction and the elemental analyses based on the characteristic emission. They have been at the origin of the creation of this type of laboratories throughout the world.

Radiography brings unique informations on the present condition of the works of art and on the techniques which have been used to make them. Its indiscreet glance often sheds a new light on the gesture or the thought process of the artist. The informations they give on the evolution of the artefacts since their creation are also essential to ensure their restoration and their conservation.

The analyses based on the X emission are not the only ones but they are still the most common ones. They also allow to investigate the fabrication techniques but also the provenances and the state of preservation.

Numerous examples taken from the work at the laboratory of the french museums illustrate these applications.

## I. INTRODUCTION

La découverte des rayons X par Röntgen a en fait fondé le domaine des études scientifiques des oeuvres d'art. En effet, c'est cette nouvelle possibilité, alors quasi magique et toute nouvelle de voir l'invisible, qui a motivé les nouveaux regards portés sur le patrimoine contenu dans les musées et c'est à cette époque que se sont créés les premiers laboratoires de musée dans le monde. Celui du Musée royal de Berlin a été le premier, en fait dès 1888 puis vint celui du British Museum durant la première guerre mondiale, ensuite le Fine Arts Museum de Boston en 1929.

Les premiers examens de tableaux ont été effectués en France durant la guerre de 1914 dans une ambulance militaire, par des docteurs amateurs d'art. Des essais faits dans la salle du Conseil du Louvre par le docteur Cheron ont fait l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences le 13 décembre 1920. Le laboratoire de recherche du Louvre, qui est devenu depuis le laboratoire de recherche des musées de France, a été officiellement créé en 1931. Les exemples de cet article seront pris dans le travail de ce laboratoire, qui occupe dans l'enceinte du Louvre un nouvel espace récemment inauguré de 4500 m<sup>2</sup> (Figure 1). Ce laboratoire qui occupe environ 65 personnes a pour missions l'assistance aux conservateurs des musées nationaux et la recherche sur les collections de musées tant d'objets d'art que archéologiques.

L'apport des rayons X concerne en fait les deux grands types de méthodes utilisées : les examens, grâce à la radiographie et les analyses grâce aux rayonnements caractéristiques qui sont à la base de la fluorescence X, du MEB ou du PIXE.

## II. LA RADIOGRAPHIE

Les techniques ont assez peu changé depuis le début. La méthode est toujours la même, tout à fait proche des techniques médicales surtout pour les examens de tableaux. Pour les objets, on doit recourir à des rayons plus pénétrants et le laboratoire est équipé d'un générateur de 420 kV (Figure 2). La grande différence par rapport à la pratique médicale est que l'on n'est pas limité par le temps puisqu'il n'y a pas le risque d'irradiation ou celui d'un mouvement intempestif du sujet. On peut donc choisir librement les conditions de pose les plus propices à l'obtention d'une bonne image et également examiner celle-ci avec une caméra et un amplificateur de brillance pour déterminer le meilleur angle de prise de vue.

Le contraste des images vient du coefficient d'absorption massique et tient donc à l'emploi de matières soit plus ou moins absorbantes soit d'épaisseur variable.

### II.1. La radiographie d'objets.

Aujourd'hui les examens en laboratoire ne concernent plus seulement les « oeuvres d'art », comme c'était plutôt le cas au début mais tout autant les objets ayant un intérêt culturel ou historique tels que les matériaux archéologiques ou ethnologiques.

Une des finalités essentielles de toute la recherche sur les oeuvres de musées est en fait l'histoire des techniques. Grâce à l'approche « matérialiste » des scientifiques, l'objet peut livrer des informations nouvelles sur son auteur. Le choix des matériaux que donne l'analyse évoquée plus loin est une première voie d'approche. Découvrir la technique utilisée par l'artiste ou l'artisan permet de connaître son geste, de deviner son outil et par là de comprendre ce qu'il savait de la matière et de ses lois, soit qu'il l'ait appris et il est souvent intéressant de découvrir de qui, soit que son génie le lui ait fait découvrir.

### *II.1.1. Les techniques de fabrication.*

La radiographie d'un bassin étrusque (Figure 3) montre les traces de l'outil qui a servi à marteler le métal et à obtenir une tôle d'épaisseur remarquablement constante [1].

Lorsqu'il y en a, on voit clairement les cavités dans les métaux coulés qui peuvent indiquer dans quelle position l'objet a été coulé, les gaz occlus formant des cavités qui se rassemblent à la partie supérieure du métal liquide.

Les objets en métal sont souvent coulés sur un noyau que la radiographie a du mal à déceler car, en général en argile, il est peu absorbant par rapport au métal et il ne donne pas une bonne image. Le cas des objets en cire est par contre très éclairant. Les figures 4, et 5 [2] montrent l'exemple d'un cheval réalisé par Degas dans ce matériau, conservé au musée d'Orsay. On voit très nettement tout le travail complexe de mise en oeuvre puisque la structure est plus absorbante que la cire elle-même.

### *II.1.2. Les techniques d'assemblage.*

Etant donné que l'on ne peut pas couper l'objet pour l'examiner, la radiographie est en général la seule façon de comprendre comment les différentes parties d'un objet quelquefois très complexe ont été assemblées.

Les objets en bois se prêtent très bien à l'examen radiologique comme on peut le voir sur la Vierge à l'enfant du XV<sup>ème</sup> siècle, provenant de Salzbourg et conservée au département des sculptures du Louvre qui est présentée sur les figures 6 et 7.

Les différentes parties constitutives de la statuette [3] présentée sur les figures 8 et 9, qui est la grande *dākini* du musée Guimet, sont en cuivre ou en laiton. On voit sur la radiographie que cette sculpture creuse est composée de dix parties principales, réunies par des systèmes d'emboîtement, dont certains, aux bras et aux jambes par exemple, sont masqués par les brassards et les anneaux de cheville. Par contre, on peut distinguer les séparations entre le chignon et la tête, le torse et le bassin ou les avant-bras et les mains (figure 10).

### *II.1.3. L'état de conservation et les restaurations antérieures.*

Les restaurateurs sont, heureusement, habiles à masquer leur travail. Il est souvent important de pouvoir le mettre en évidence, avant une acquisition par un musée par exemple car la valeur de l'objet en dépend fortement ou avant une nouvelle restauration afin d'indiquer au restaurateur ce qu'il va trouver. Ces modifications ou réparations se voient en général parce que les zones de colle sont moins absorbantes, ou parce que le matériau utilisé pour le remplacement des manques est différent. On voit clairement les restaurations effectuées au siècle dernier sur l'amphore panathénaïque du musée de Sèvres présentée sur les figures 11 et 12.

### *II.1.4. Les découvertes intempestives.*

La radiographie apporte souvent des surprises en dévoilant parfois ce que l'auteur a voulu cacher.

La radiographie de bulles d'argile mésopotamiennes du 3<sup>ème</sup> millénaire [4] a dévoilé par exemple qu'elles contenaient des petits objets de forme géométrique, cubes, sphères, tétraèdres, parfois portant des marques distinctives. Ces petits objets appelés des calculi sont

considérés aujourd'hui comme une des premières manifestations d'une transaction commerciale et peut-être un des premiers indices du calcul.

Dans des momies égyptiennes de chats [5], on a été surpris de constater que certaines contenaient bien un squelette d'animal, par contre d'autres étaient simplement empaillées. Cette information, couplée avec la connaissance de la date des différentes momies, apporte aux historiens des indications sur l'importance et sur l'évolution du rite religieux associé à ces représentations.

Encore tiré de l'Égypte, l'exemple d'une stèle [6] dont la radiographie a permis de découvrir la présence d'un fœtus humain, découverte inhabituelle et surprenante pour les spécialistes.

### *II.1.5. Les améliorations possibles.*

Le principal problème réside dans le fait que, l'objet étant tridimensionnel, l'image provient de points situés à des distances différentes du film. La stéréoradiographie, assez peu utilisée, peut apporter des indications utiles pour localiser exactement les parties donnant les images. La tomographie serait idéale dans ce cas mais elle est lourde et les appareils sont très coûteux.

D'autre part, la source n'est pas ponctuelle, elle mesure quelques millimètres de côté. Les rayons provenant de ses bords extrêmes donnent d'un point l'image d'une tache d'une certaine largeur. Ceci peut être amélioré par l'emploi de sources plus fines qui sont actuellement développées par les fabricants. Ce sont les microfoyers qui peuvent n'avoir que quelques microns de côté.

## **II.2. La radiographie de peintures.**

Certains se souviennent peut-être de la série d'émissions télévisées très suivies dans les années 1970 où Mme Madeleine Hours, alors directeur du laboratoire a passionné des auditoires grand public avec les résultats d'examen radiographiques de tableaux. C'est sans doute en effet dans ce domaine que les observations ont souvent leur caractère le plus spectaculaire, à la fois indiscret et particulièrement pénétrant. On ne saurait aujourd'hui étudier un tableau avant son exposition ou son acquisition ou sa restauration sans pratiquer un examen radiographique. C'est ainsi que le laboratoire a aujourd'hui une collection d'environ 70 000 radiographies de tableaux qui constituent une masse d'informations précieuses pour toute recherche en histoire de l'art ou de la technique picturale. Un article de synthèse sur l'état actuel de l'utilisation de la radiographie sur les peintures de chevalet a été récemment publié dans la revue du laboratoire, *TECHNE* [7].

L'existence de cette abondante documentation à laquelle s'ajoutent l'iconographie photographique et la masse des documents d'analyse a motivé la démarche consistant à numériser cet ensemble afin d'une part de mieux le préserver de la destruction, d'autre part de le mettre à la disposition de la communauté des chercheurs des musées dans le monde grâce aux réseaux d'information qui se mettent aujourd'hui en place. Enfin, un autre avantage de la numérisation des images est de les mettre sous une forme plus accessible aux traitements d'image. On peut ainsi travailler d'une autre manière sur les radiographies, les comparer, les agrandir beaucoup plus, modifier les contrastes, les superposer entre elles ou à des images obtenues avec des lumières différentes etc... Ce sera certainement la manière de travailler sur les radiographies généralement utilisée demain.

L'authentification par les techniques scientifiques, qui a souvent eu des résultats spectaculaires n'est en général pas obtenue par une seule technique mais le plus souvent par la

combinaison d'une somme d'arguments qui s'ajoutent et complètent tous ceux des experts historiens. La radiographie y a contribué souvent.

### *II.2.1. Technique de la radiographie de peintures.*

A la différence des objets, le tableau est un objet plan et le film placé contre sa surface donne une image en vraie grandeur du sujet. Le contraste de l'image radiographique vient ici de l'usage de pigments plus ou moins lourds ou de matières plus ou moins épaisses. Le plomb est évidemment l'élément le plus propice à l'obtention d'images contrastées et par chance, le blanc de plomb a été largement utilisé par les artistes à de nombreuses périodes. Les autres colorants particulièrement intéressants sont

A l'inverse, les peintures acryliques, les colorants de synthèse modernes ne donnent pas d'images interprétables. Seule l'épaisseur, parfois très importante de la matière utilisée dans la peinture contemporaine permet d'obtenir quand même des images.

### *II.2.2. Variantes de la radiographie classique.*

Parfois la couche picturale peut se trouver sur un support trop absorbant, en métal par exemple ou sur une structure complexe qui donnerait des difficultés pour lire la radiographie de la peinture. On utilise alors des variantes de la radiographie directe. Dans le cas de supports métalliques, on peut utiliser la technique dite d'émissiographie [8]. Celle-ci consiste à placer le film en contact le plus intime possible avec la surface et à envoyer un faisceau de rayons X durs, (d'énergie supérieure à 220 kV) dont on a éliminé les basses énergies par filtration. Ce faisceau X crée une émission d'électrons dans la matière picturale qui viennent impressionner le film. L'émission électronique est proportionnelle au numéro atomique. Cette technique permet de visualiser des couches picturales superficielles, d'en étudier leur état, de distinguer des compositions superposées en comparant à la radiographie. Elle est utile également pour l'examen des émaux, car ceux-ci, toujours sur support métallique, ne peuvent en général pas être radiographiés directement.

Plus courante est la stratigraphie qui consiste à faire tourner le tube de rayons X sur un berceau, l'axe de rotation étant parallèle à la surface du tableau, de façon à ce que seule soit constamment nette la couche picturale. Cette technique est utilisée pour les tableaux sur bois où l'on ne veut pas être gênés par l'image des cernes ou lorsque la structure du châssis, trop complexe, donnerait une image ininterprétable de la couche picturale.

### *II.2.3. Les formats et leur modification.*

Il arrive souvent que les dimensions extérieures des tableaux aient été modifiées soit par l'ajout soit par l'enlèvement de parties latérales. Ces modifications étaient faites pour s'adapter à un lieu particulier ou pour suivre le goût d'un nouveau propriétaire. Ces modifications très courantes sont en général assez aisées à mettre en évidence.

D'autres modifications, plus importantes pour l'histoire, concernent les polyptyques dont des parties ont été souvent séparées. La radiographie peut souvent aider à reconstituer ces ensembles grâce à des repères d'assemblage ou à des caractéristiques des bois utilisés.

#### *II.2.4. Nature et état des supports.*

La radiographie donne une image de la structure des toiles utilisées sauf dans le cas, relativement courant, où le tableau a été rentoilé. Elle permet donc de déterminer le type de tissage choisi. Cette possibilité a été utilisée récemment pour étudier les supports des tableaux de Poussin [9] l'évolution de ses choix lors de sa carrière, dictés soit par les moeurs en usage en France et en Italie où il a vécu successivement soit aussi pour des raisons financières, les toiles fines étant plus chères que les grossières.

Les dégâts causés par les insectes, les trous laissés par des fixations anciennes, les chevilles, les vis et les clous utilisés soit lors de la création de l'oeuvre soit tout au long de sa vie dans les collections sont très facilement reconnaissables. Ces informations sont importantes pour préparer le travail de restauration.

#### *II.2.5. L'état de la couche picturale, manques, déchirures.*

La radiographie décèle également facilement les avatars subis par la matière picturale qui sont causés soit par des usures, soit par des accidents, des transports malencontreux etc...Le châssis d'origine peut également laisser des traces dans la matière picturale, ce qui peut aider à retracer l'histoire du tableau ou celle de ses restaurations antérieures.

#### *II.2.6. Les tableaux superposés.*

Les exemples de découvertes de tableaux superposés sont légion, découvertes qui sont quelquefois anecdotiques mais parfois tout à fait importantes pour la connaissance du cheminement ou de la vie de l'artiste. C'est le cas de la « Femme à la grande oreille » de Picasso sous laquelle se trouve la seule esquisse connue des « Demoiselles d'Avignon » ou de « l'autoportrait de dos avec femme enlacée et masque » de Picasso où après avoir peint un couple enlacé, il a superposé un masque noir, grossièrement exécuté (figures 13 et 14).

L'artiste peut avoir utilisé une toile déjà peinte par un autre. C'est le cas du « Gobeur d'oursins » de Picasso [10] qu'il a peint sur un portrait par un peintre local du général Vandenberghe, généreux donateur du musée d'Antibes où il résidait durant la guerre. Était-ce par manque de matière première ou parce qu'il n'aimait pas cette toile ? C'est aussi le cas de « L'atelier de la rue des Condamines » par Bazille, sous lequel on trouve un magnifique nu, ressemblant à la « Diane chasserresse » de Renoir qui se trouve à la National Gallery de Washington. Bazille a-t-il peint un même modèle ou a-t-il voulu copier un tableau de Renoir qu'il fréquentait beaucoup ?

#### *II.2.7. Les repeints ou repentirs.*

C'est peut-être là que les applications de la radiographie de peinture sont les plus importantes car la radiographie indique les gestes successifs lorsqu'ils existent, qui traduisent la sûreté du premier geste ou au contraire la recherche de l'image souhaitée. On peut parfois assister ainsi en voyeur aux étapes de la création.

La « Sainte Famille » de Raphaël, tableau peint probablement pour le pape Jules II, et déposé à l'église Santa Maria del Popolo de Rome sous le nom de Madone de Lorette, était supposé avoir disparu. Il n'en restait disait-on que des copies fort anciennes, au Louvre au Getty, à la National Gallery et à Chantilly. Dans les années 70, un chercheur britannique Cecil Gould a eu l'intuition que la version de ce tableau se trouvant au musée Condé de Chantilly

pouvait être la version originale avec un certain nombre d'arguments iconographiques. La radiographie a montré que derrière le Saint Joseph se trouvait une fenêtre avec un paysage et que la tête de saint Joseph n'existait pas initialement mais avait été ajoutée à un certain moment de la réalisation. Or les radiographies des autres tableaux ne montrent pas une telle hésitation mais comportent toutes le visage de Joseph du premier coup. Cet argument est fortement en faveur de la thèse de Gould qui est aujourd'hui acceptée par les experts [11].

La radiographie effectuée sur « L'homme blessé » de Courbet (figures 15 et 16) permet d'entrevoir le cheminement jusqu'à l'oeuvre achevée [12]. Deux compositions antérieures sont visibles. La première scène fait apparaître nettement une figure de femme de profil, coiffée de bandeaux sombres qui évoque certaines figures souvent dessinées par le peintre. La seconde scène est totalement différente. Un homme assis presse contre son épaule une femme à demi-étendue. Il est aisé de reconnaître une tentative d'exécution sur toile du dessin « La sieste champêtre » du musée de Besançon (figure 17).

Georges de la Tour est connu pour avoir peint plusieurs fois le même tableau et les historiens souhaitent savoir quelle version a précédé les autres. Par exemple il existe deux versions de « Saint Sébastien soigné par Irène », l'une au Louvre, l'autre à Berlin. L'examen des radiographies des deux flamme, par ailleurs rigoureusement semblables sur les tableaux, montre des hésitations sur le tableau du Louvre, une maîtrise parfaite au contraire sur celui de Berlin. On peut penser que celui du Louvre est le premier, où l'artiste cherche la meilleure façon de rendre cette lumière alors que pour celui de Berlin, il a déjà une expérience.[13]

Le tableau de Goya « Les vieilles » est conservé au musée de Lille. La photographie aux infrarouges permet déjà de percevoir les traces d'une composition antérieure dont la radiographie (figures 18 et 19) restitue une image précise. Il s'agit d'un Christ sortant du tombeau avec à ses pieds, les gardes dans une attitude effarée [14].

Enfin, la radiographie apporte souvent des éléments susceptibles d'éclairer l'histoire des tableaux, tel la « La mise au tombeau » de Solario sur lequel l'observation d'armoiries successives, a permis de connaître le premier commanditaire puis le propriétaire suivant avant que le dernier ne fasse tout disparaître en recouvrant ces symboles d'une couche de peinture.

### *II.2.8. La technique picturale.*

Comparable à ce que l'on tire des repentirs, l'examen détaillé de la matière que permet la radiographie apporte également une connaissance du geste, de sa facilité, ou au contraire de sa nervosité, de son épaisseur. Petites touches délicates ou grands traits nerveux, cette vision rend compte également du tempérament de l'artiste.

Les figures 20 et 21 montrent le « Portrait de la Vierge » de Rembrandt du musée d'Epinal et sa radiographie. L'écriture de Rembrandt est ici particulièrement perceptible. L'opposition des blancs et des noirs accentue le caractère dramatique de cette figure. La douceur et la force contenues dans cette image, qui restitue un premier état de la composition, sont évidentes [14].

## **III. LES ANALYSES UTILISANT LES RAYONS X.**

Comme on l'a souligné dans l'introduction, les rayons X sont également à la base de nombreuses méthodes d'analyse qui sont couramment utilisées dans les laboratoires de science des matériaux et elles figurent également dans l'éventail de celles que l'on utilise au laboratoire de musée, depuis longtemps.

### III.1. Techniques utilisées.

Il faut tout d'abord ne pas oublier la diffraction qui est l'outil indispensable pour de nombreuses identifications de composés tels les produits de corrosion, les constituants minéraux de la matière picturale ou les constituants des céramiques et des pierres. Son emploi est quotidien et la diffraction X fait aujourd'hui partie des techniques de routine. Les quantités de matière disponible étant le plus souvent très faibles, les bonnes vieilles chambres de Debye et Scherrer ou de Gandolfi sont encore souvent utilisées. Les laboratoires plus riches sont équipés de microdiffractomètres qui sont aujourd'hui d'un usage extrêmement commode.

Les techniques utilisées par le laboratoire pour l'analyse élémentaire, comme la fluorescence X ou le microscope électronique à balayage, sont bien connues de tous les laboratoires de science des matériaux. On ne les décrira donc pas. Par contre, il est peut être plus intéressant de s'attarder sur le but des analyses et sur les besoins spécifiques du laboratoire de musée.

Elles doivent être autant que possible non destructives. Cette notion déterminante peut vouloir dire soit de ne pas détruire l'échantillon afin que l'étude puisse en être éventuellement reprise, soit ce qui est mieux encore, ne pas avoir à prélever du tout. C'est pourquoi le laboratoire est équipé d'une microfluorescence X qui ne nécessite pas la prise d'un prélèvement. C'est également une des raisons qui a motivé l'acquisition de l'accélérateur d'ions appelé AGLAE [15] (figure 22). Il s'agit d'un accélérateur tandem de 2 MV, qui met à la disposition les techniques d'analyse par faisceau d'ions. Ce sont le PIXE ou Particle Induced X Emission, le RBS ou rétrodiffusion des ions et les réactions nucléaires. Bien que ces deux dernières méthodes apportent des avantages plus substantiels que le PIXE, qui pourrait souvent être avantageusement remplacé par une bonne fluorescence X ou d'autres techniques spectrométriques, elles ne sont pas basées sur les rayons X et on n'en parlera donc pas ici. Le PIXE est cependant utilisé couramment; il est analogue à la création du rayonnement caractéristique par le bombardement par des électrons ou des rayons X mais dans ce cas il s'agit d'un bombardement par des ions accélérés. L'avantage principal en est l'absence du « Bremsstrahlung », qui permet une analyse plus sensible. La nécessité d'être le moins destructif possible a également entraîné le développement du faisceau extrait (figure 23) qui permet d'examiner les objets même fragiles sans avoir à les mettre sous vide et sans avoir à effectuer de prélèvement. C'est aujourd'hui la ligne de faisceau la plus utilisée.

### III.2. Quelques exemples d'application des analyses.

Les analyses ont plusieurs motivations. Dans un certain nombre de cas, il s'agit simplement d'identifier les matériaux. C'est le cas pour un certain nombre d'examins d'objets précieux comme les pectoraux du département des antiquités égyptiennes [16] pour lesquels il était souhaité d'identifier tous les composants, métal comme pierres précieuses. La surprise a été de découvrir que, alors que les trois pectoraux provenaient de la même tombe royale et devaient être comparables, les matériaux de l'un étaient nobles, or et pierres précieuses, ceux d'un autre étaient pauvres en métal précieux et les décorations étaient composées de verres et de matériaux de remplacement. Le troisième était dans une situation intermédiaire. Ceci a soulevé un certain nombre de questions pour les historiens de ces périodes. Les objets étaient-ils fabriqués dans des ateliers divers, la notion de précieux était-elle alors différente de ce qu'elle est aujourd'hui ? Peut-on imaginer l'existence de tricheries dans ces fabrications pourtant destinées au tout puissant pharaon ? Cela est peu vraisemblable. La question reste entière.

Beaucoup d'analyses ont pour objet de tenter de découvrir les provenances des objets ou des matériaux constitutifs et d'identifier les circuits d'approvisionnement et d'échanges. C'est le cas d'une étude en cours aujourd'hui sur l'ensemble des silex de la Région parisienne où l'on s'efforce de trouver les éléments traces représentatifs des différentes carrières de silex possibles. Si cette tentative est couronnée de succès, on pourra découvrir la provenance des silex anciens retrouvés en différents lieux et ainsi acquérir une vision des circuits d'échange et de commerce des silex qui pouvaient exister à cette époque.

Une autre approche consiste à accumuler les données relatives aux matériaux utilisés pour une certaine application. C'est le cas du travail réalisé sur des miniatures et sur des documents graphiques en général pour lesquels on est à peu près totalement ignorants des pigments et des encres utilisés aux différentes périodes. Ce n'est que lorsque ce travail d'identification aura été réalisé que l'on sera éventuellement à même de dater ou d'authentifier des oeuvres ou de répondre à certaines questions que pourraient se poser les spécialistes des arts graphiques.

Enfin il existe une autre grande famille de problèmes pour lesquels les analyses sont essentielles, c'est l'étude des vieillissements et des phénomènes de dégradation qui affectent la plupart des matériaux constitutifs des oeuvres d'art. On peut signaler dans ce domaine, des études de vieillissement de glaçures, de plaques émaillées ou de corrosion de bronzes. Les techniques basées sur les rayons X sont bien adaptées à ce type de problème car ce sont des méthodes d'analyse de couches proches de la surface par où se produisent la plupart des phénomènes de dégradation puisque ceux-ci résultent le plus souvent d'une interaction avec le milieu extérieur.

## CONCLUSIONS

Bien que les méthodes de caractérisation basées sur les rayons X soient les plus anciennes de toutes celles basées sur des méthodes physiques, elles sont encore aujourd'hui extrêmement performantes et l'on peut dire qu'elles sont à la base de plus de la moitié du travail des laboratoires de musées et la situation est identique dans tous les autres laboratoires de par le monde.

Après un siècle d'existence, il est normal que les progrès concernent plus aujourd'hui l'environnement des appareils et leur convivialité que la technique radiographique qui a déjà fait l'objet de grands progrès depuis sa naissance.

## Références

- [1] Drillhon F. *Annales du LRMF* (1976) p. 37.
- [2] Référence des statuettes en cire
- [3] Drillhon F. *Annales du LRMF* (1982) p. 40.
- [4] Archéologie et médecine, VIIèmes rencontres internationales d'archéologie et d'histoire, Antibes, Octobre 1986.
- [5] Martin E., Ravaud E., *TECHNE 2* (1995) pp 158-164
- [6] Bridgman C., Keck S. and Sherwood H., *Studies in Conservation 3* (1958) pp. 175-182
- [7] Ravaud E., Chantelard B. *Techne 1* (1994) pp.23-34
- [8] Catalogue de l'exposition « L'oeuvre de Picasso à Antibes », Antibes (1982)
- [9] Les dossiers du département des peintures N°19 « La Madone de Lorette ». Ed de la RMN, Paris (1979)
- [10] Hours M. *Annales du LRMF* (1973) p. 5.

- [11] Martin E. Catalogue de l'exposition De la Tour à Vic sur Seille, (1993) Editions Serpenoises.
- [12] Hours M. *Annales du LRMF* (1971) p. 2.
- [13] Dupouy J.M., *Techne 2* (1995) pp.
- [14] Bouquillon A., Querre G., *Analisis 23* (1994) pp M05-07

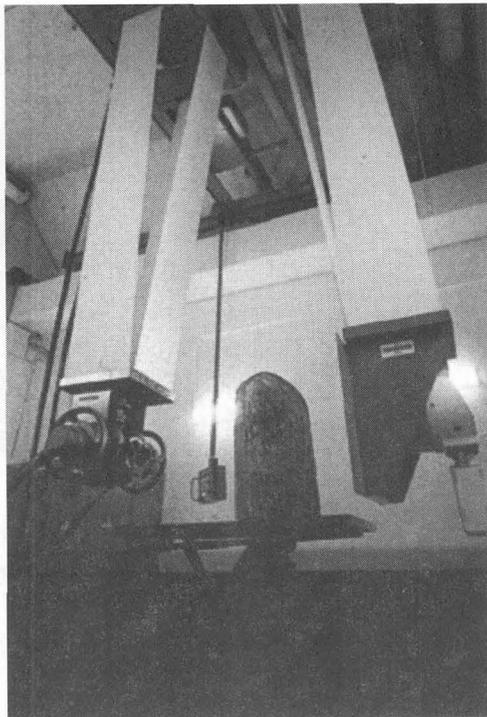
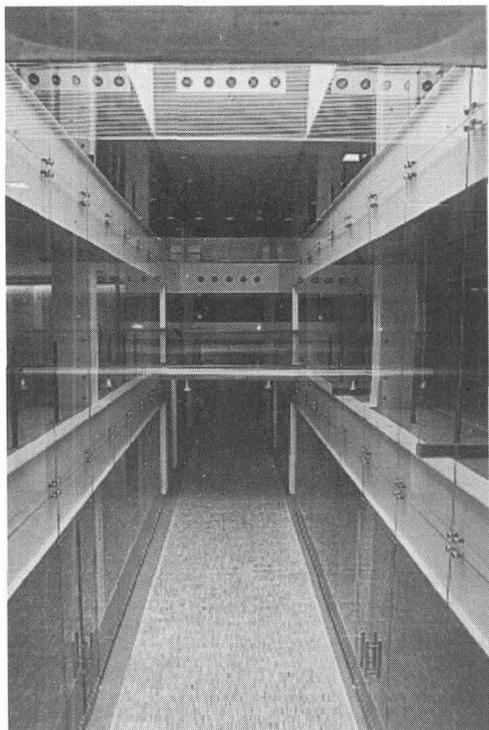


Figure 1: Une vue de l'architecture intérieure du laboratoire.  
A view of the inside architecture of the new laboratory.

Figure 2: La nouvelle salle de radiographie des objets massifs, 420 kV.  
The new room for radiography of heavier objects, 420 kV.

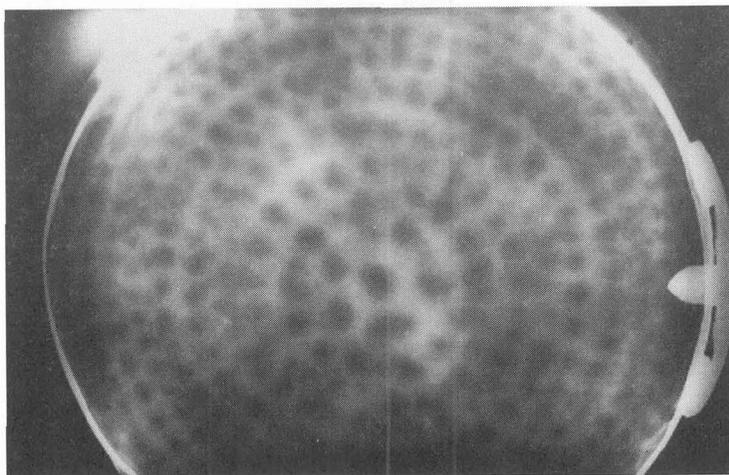


Figure 3: Radiographie d'un bassin étrusque montrant les traces de martelage.  
Radiography of an etruscan basin showing the traces of hammering.

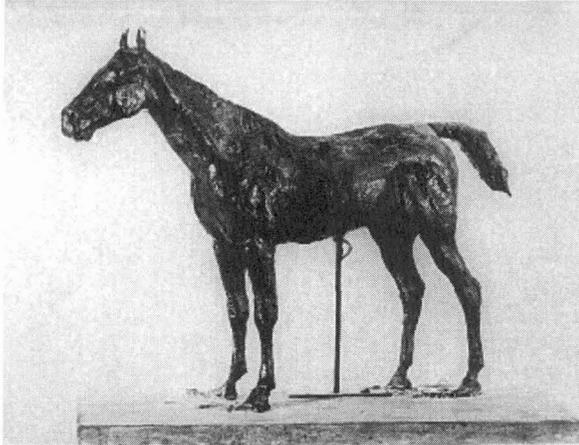


Figure 4: Cheval, statuette en cire par Degas, Musée d'Orsay.  
Horse, a wax statuette by Degas, Orsay Museum.

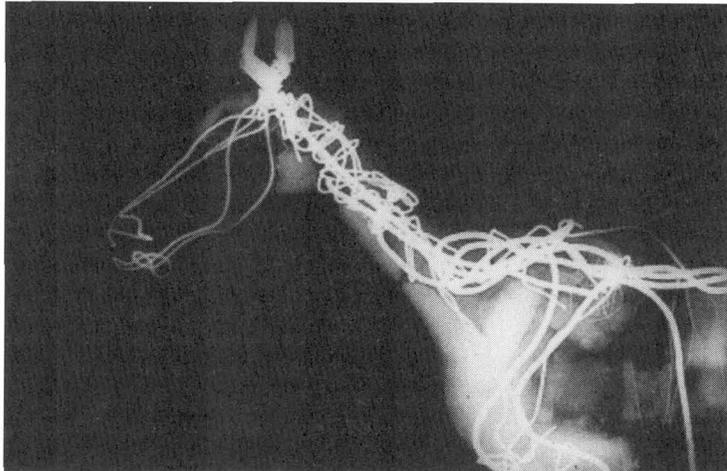


Figure 5: L'armature de la statuette en cire de Degas de la figure 5  
The skeleton of the Degas wax horse of figure 5.



Figure 6: Vierge à l'enfant du XV<sup>e</sup>, origine probable Salzbourg, Musée du Louvre  
Virgin and child, XVth century, probable origin Salzburg, Louvre Museum.

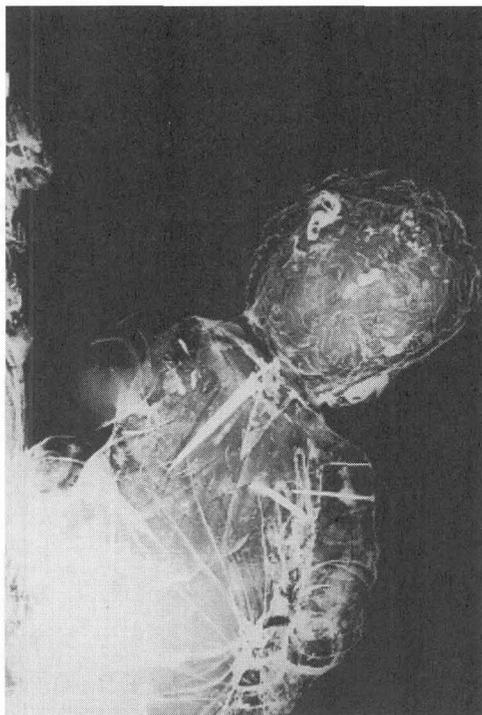


Figure 7: Radiographie de la sculpture de la figure 6  
Radiography of the sculpture of figure 6



Figure 8: La grande dâkini du musée Guimet  
The great dâkini of the Guimet Museum.

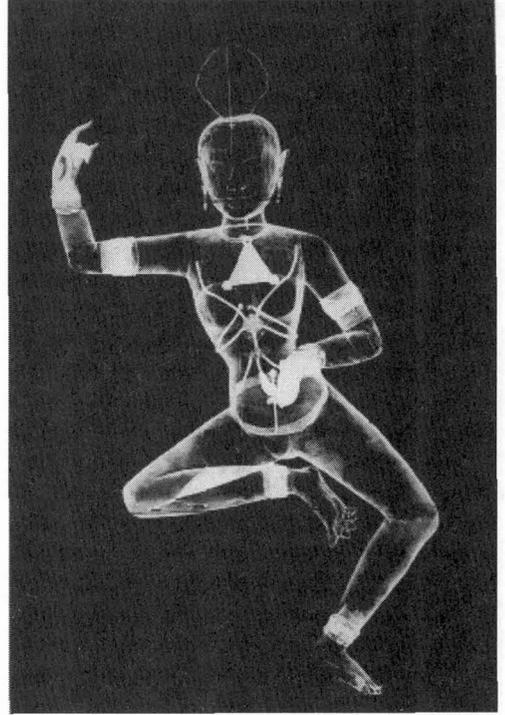


Figure 9: Radiographie de la dâkini  
Radiography of the dâkini.

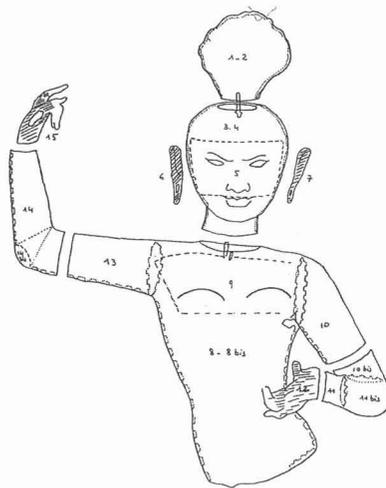


Figure 10: Schéma montrant les différentes parties de la statuette de la figure 9  
Sketch showing the different parts of the statuette of figure 9.

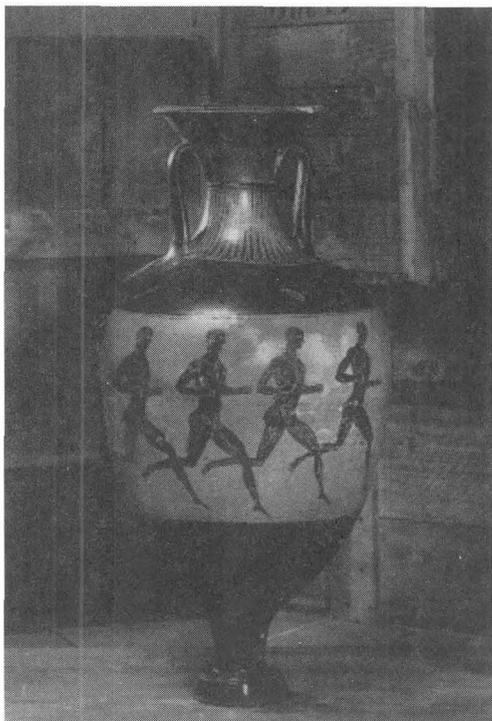


Figure 11: Amphore panathenaïque, musée national de Céramique de Sèvres  
Panathenaic amphora from the Ceramic museum in Sevres.

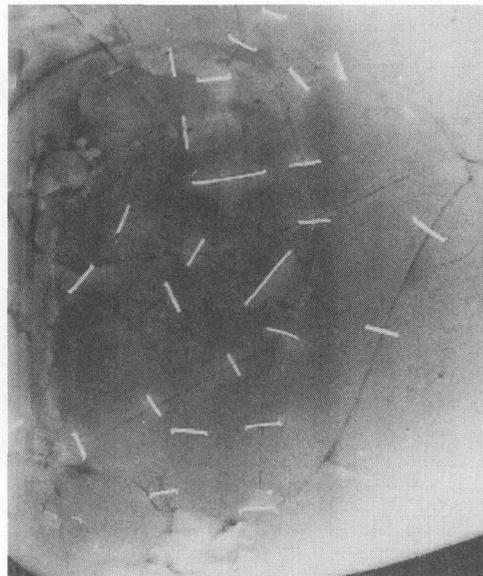


Figure 12: Radiographie de l'amphore de la figure 12  
Radiography of the amphora of figure 12.

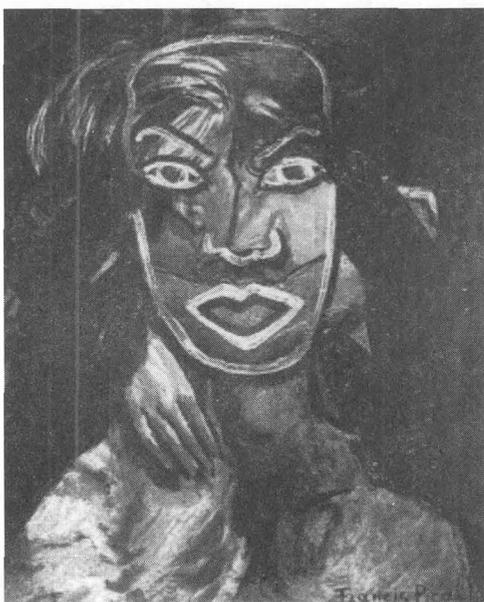


Figure 13: Autoportrait de Picabia  
Self portrait of Picabia

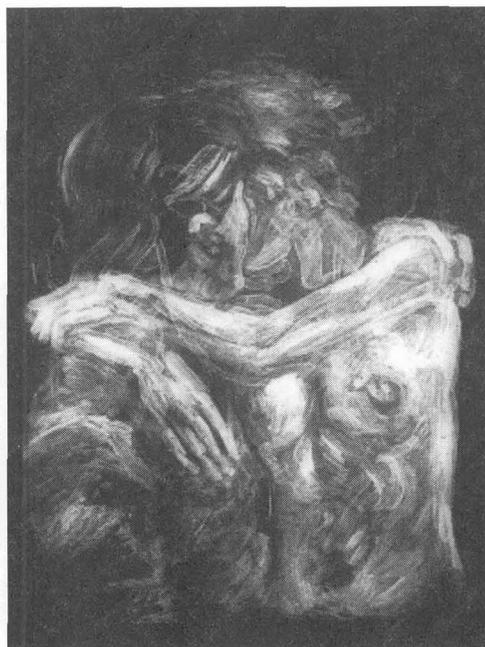


Figure 14: Radiographie du tableau de la figure 13  
Radiography of the painting of figure 13



Figure 15: « L'homme blessé », par Courbet, Musée du Louvre.  
« The wounded man », by Courbet, Louvre Museum.



Figure 16: Radiographie du tableau de la figure 15.  
Radiography of the painting of the figure 15



Figure 17: « Sieste champêtre », dessin de Courbet, Musée de Besançon.  
A nap in the fields, a drawing by Courbet, Besançon Museum.

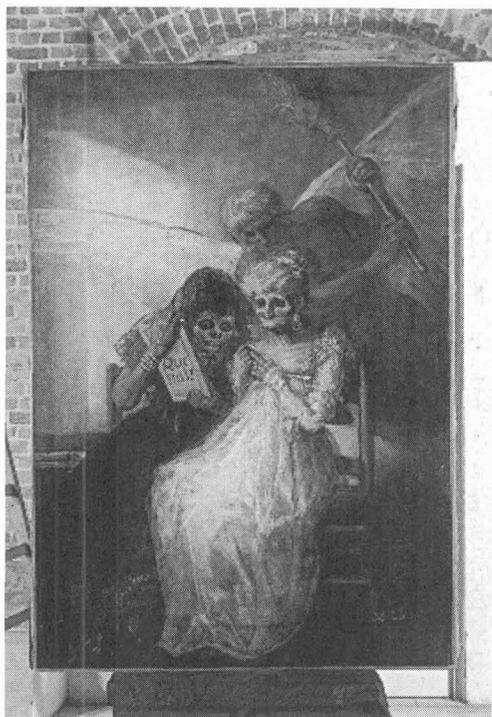


Figure 18: « Les vieilles » tableau de Goya, Musée de Lille  
« The old ladies », by Goya, Lille Museum.



Figure 19: Radiographie du tableau de la figure 18  
Radiography of the painting of the figure 18.

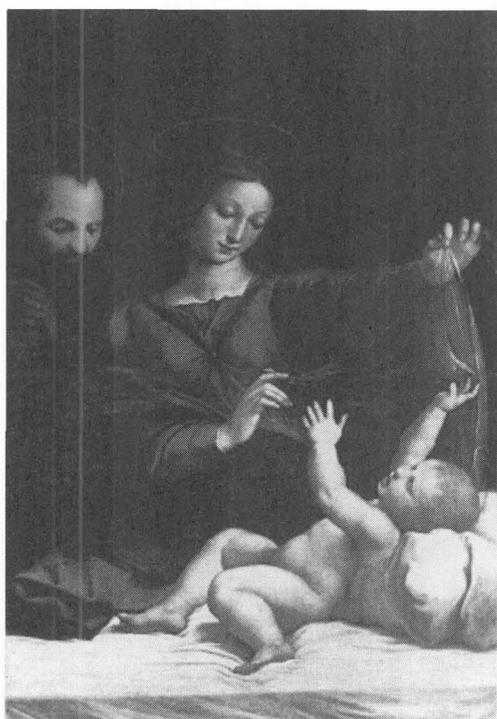


Figure 20: Portrait de la Vierge de Rembrandt, Musée d'Epinal  
Portrait of the Virgin by Rembrandt, Epinal Museum.



Figure 21: Radiographie du tableau de la figure 20  
Radiography of the painting on figure 20.

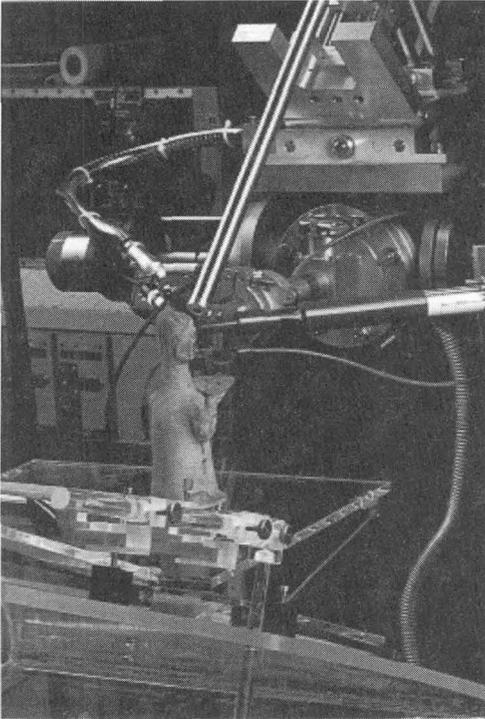


Figure 22: L'accélérateur AGLAE.  
The ion beam accelerator AGLAE.

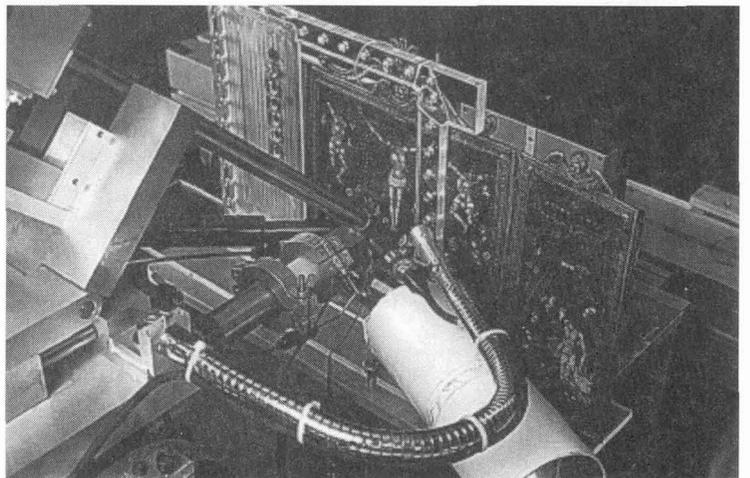


Figure 23: Le faisceau extrait de l'accélérateur AGLAE  
A view of the external beam of AGLAE, the tandem accelerator.