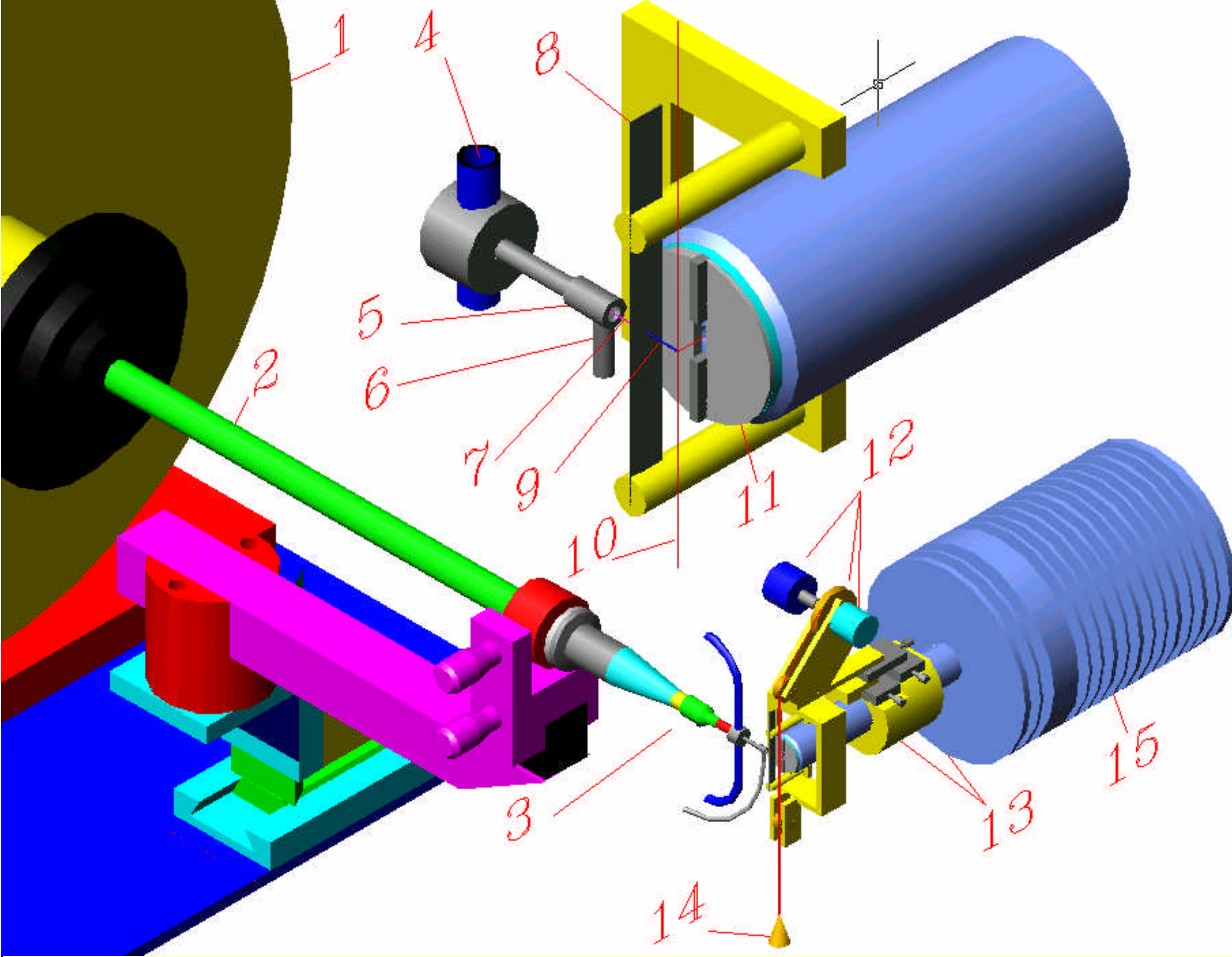


# DÉVELOPPEMENT EXPÉRIMENTAL D'UNE LIGNE PIXE-XRF POUR LES MATÉRIAUX DU PATRIMOINE

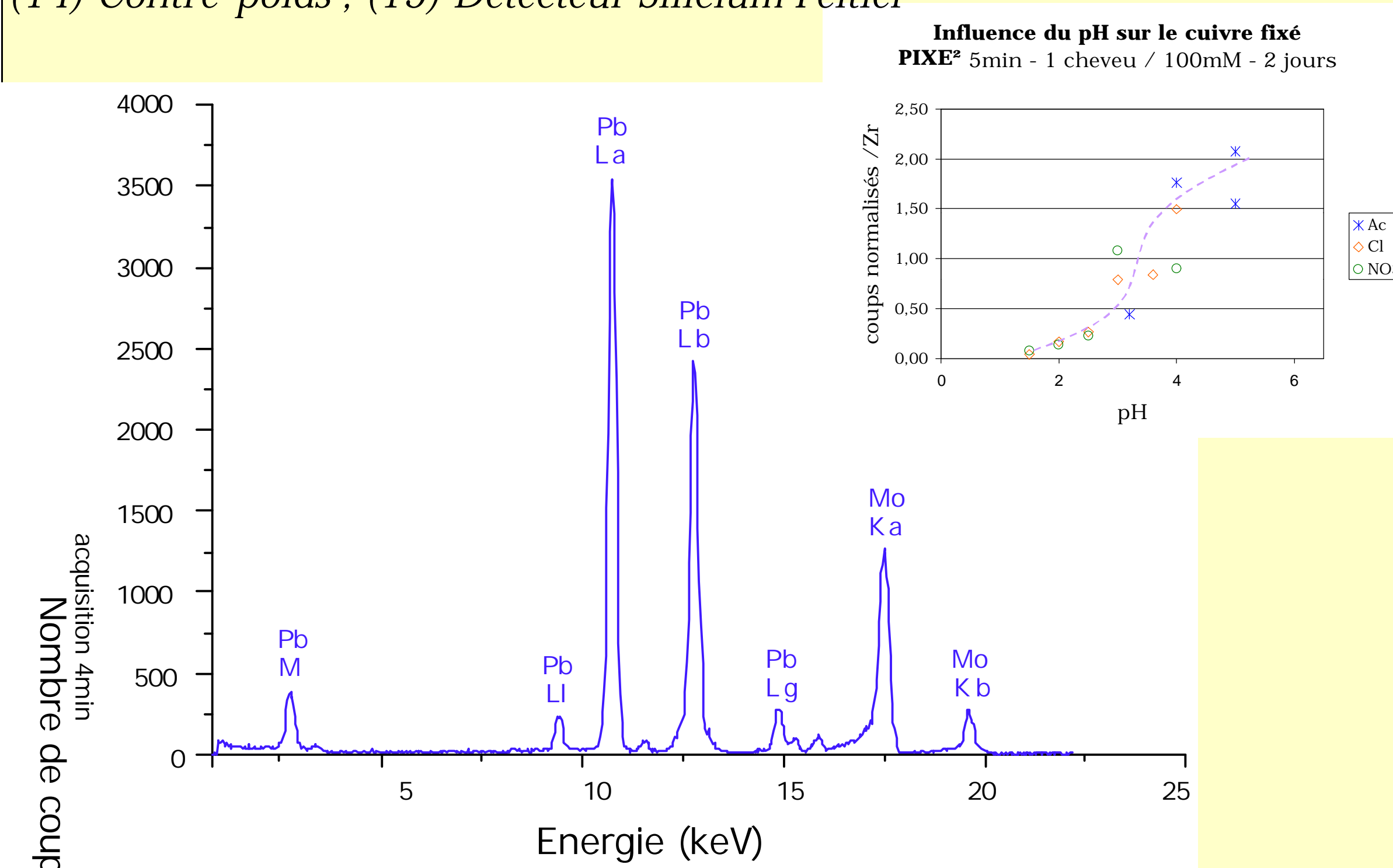
Loïc BERTRAND, Thomas CALLIGARO, Jean-Claude DRAN, Michel DUBUS, Maria F. GUERRA, Brice MOIGNARD, Joseph SALOMON, Philippe WALTER

Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF),  
CNRS UMR 171, Palais du Louvre Paris, France

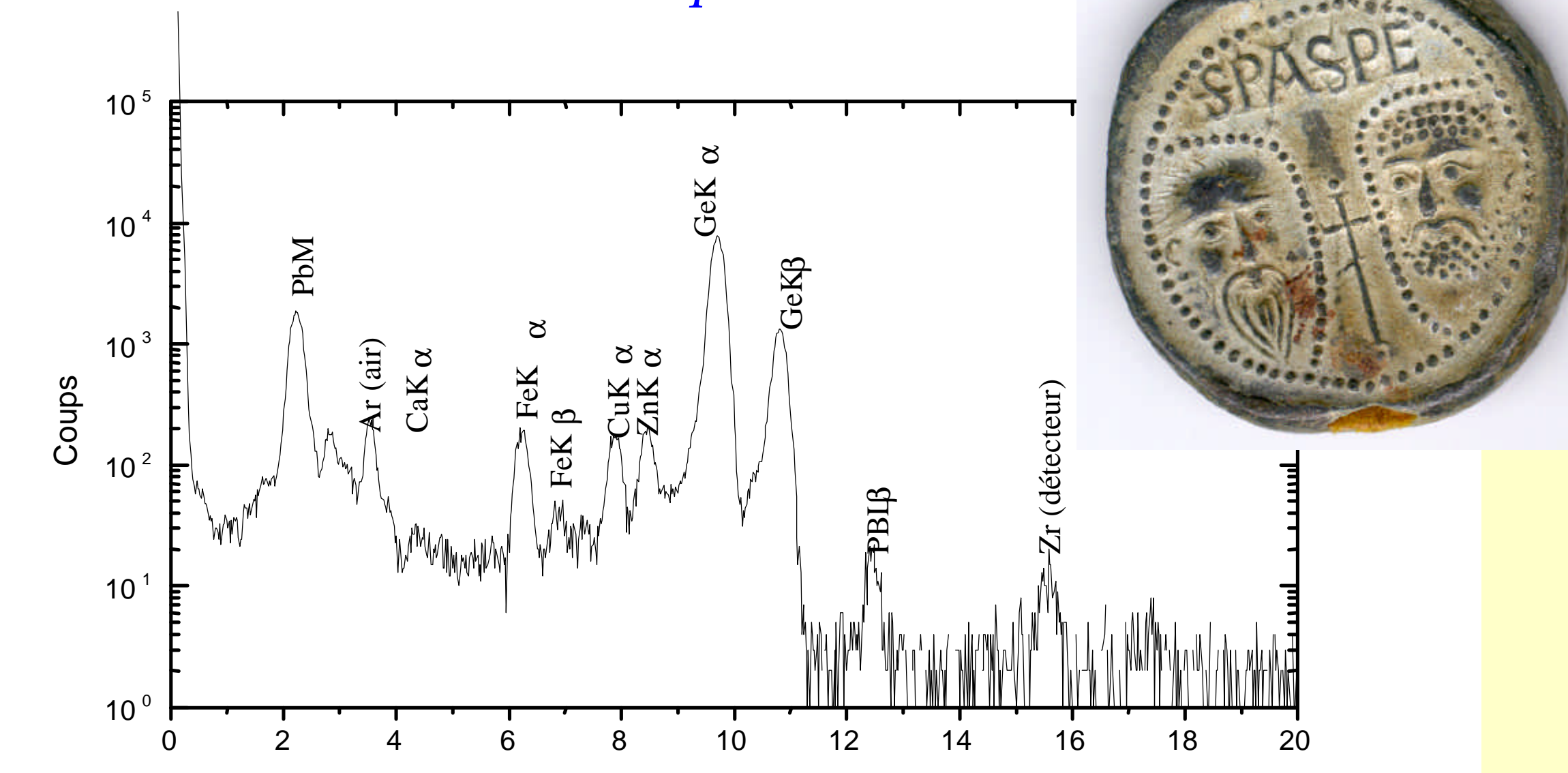


Dispositif en mode transmission pour l'analyse d'un cheveu.

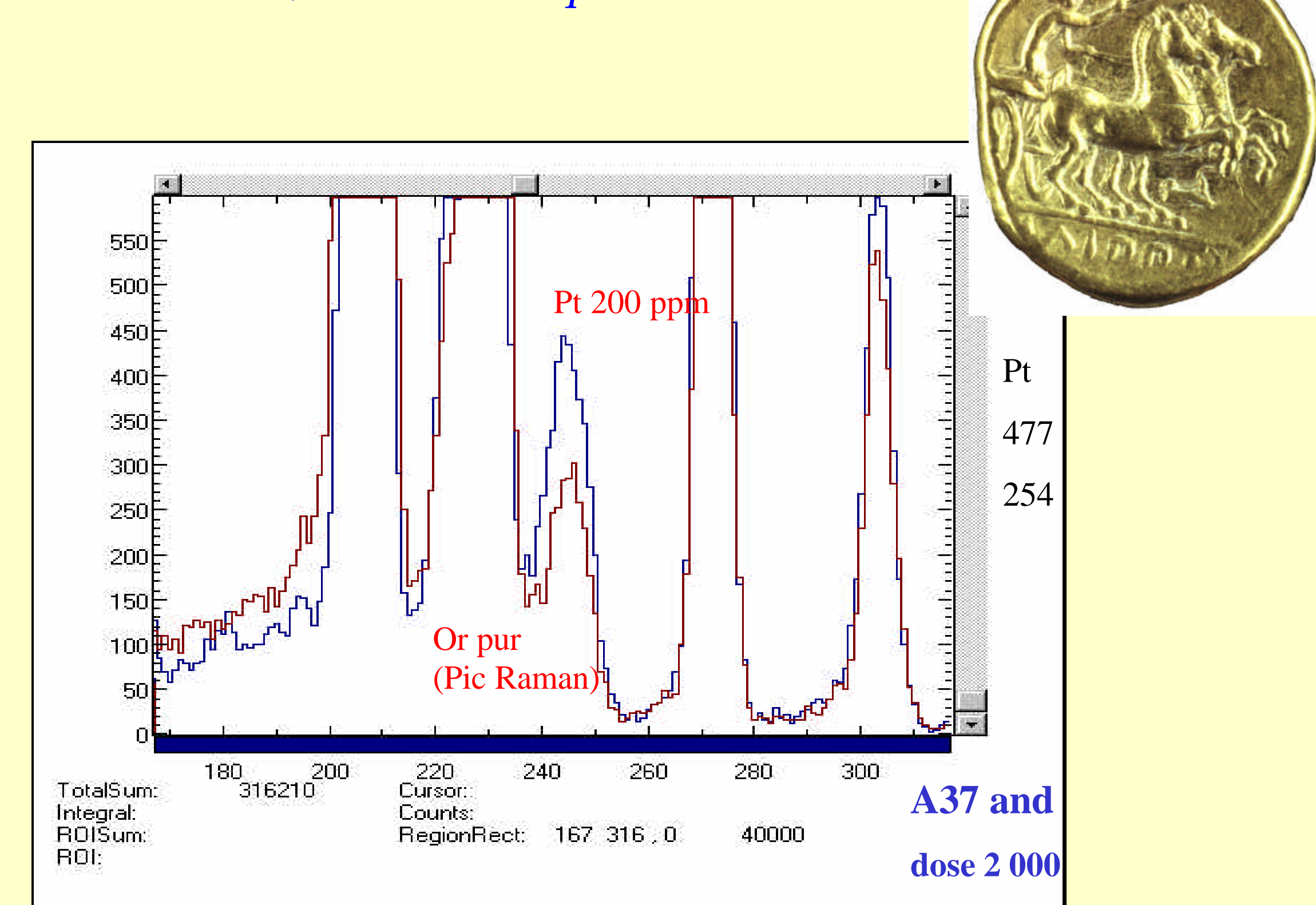
(1) Doublet magnétique de focalisation ; (2) ligne de faisceau; (3) Extracteur de faisceau ; (4) Refroidissement à eau du tube extracteur ; (5) Fenêtre de sortie en Zr de 3  $\mu\text{m}$  ; (6) Refroidissement de la fenêtre de sortie et de l'anode par flux d'hélium ; (7) Anode en Mo de 50  $\mu\text{m}$  ; (8) Faisceau de protons ; (9) Faisceau de rayons X ; (10) Cheveu ; (11) Diaphragme en Zr : fente de 1x5mm<sup>2</sup> ; (12) Entraînement du cheveu ; (13) Positionnement xyz ; (14) Contre-poids ; (15) Détecteur Silicium Peltier



Analyse de traces de Pb fixées dans un cheveu immergé dans une solution de nitrate de Pb ; Anode = Mo, durée d'acquisition 4 min.



Analyse de traces de Cu et Fe dans du plomb ; Anode = Ge, durée d'acquisition 10 min.



Analyse de 200 ppm de Pt dans de l'or ; Anode = As, durée d'acquisition 20 min.

## Objectif

Le C2RMF dispose d'un accélérateur de particules (AGLAE) pour l'analyse d'objets d'art et d'archéologie, fondée principalement sur la méthode PIXÉ. Cette méthode, qui possède de nombreux avantages par rapport à la fluorescence X, présente cependant deux limitations notables :

1. risque de détérioration de matériaux sensibles tels que les matériaux organiques
2. faible sensibilité pour l'analyse d'impuretés légères dans des matrices lourdes

## Dispositif expérimental

La conversion par l'intermédiaire d'une cible secondaire du faisceau primaire de protons de 3 MeV en faisceau X quasi monochromatique d'énergie appropriée permet de s'affranchir de ces limitations.

- système équivalent à un tube de rayons X à bas bruit et à anodes interchangeables (mode transmission ou réflexion) réduisant ainsi les dommages infligés aux échantillons fragiles.
- choix de l'anode pour n'exciter que certains éléments, en se plaçant près de leur seuil d'absorption.

## Exemples d'applications

- Cheveux : étude de la fixation des métaux en fonction du pH pour comprendre les mécanismes de conservation dans les sols archéologiques
- Bulles des Papes : analyse des alliages pour identifier les évolutions techniques et assurer leur préservation
- Analyse du platine dans l'or : identification des ors natifs.

## Performances analytiques

	PIXE faisceau extrait	XRF sur objet	PIXE-XRF
<b>Gamme de Z</b>	large >11	étroite	très étroite
<b>Principale source de bruit de fond</b>	Compton, gamma, X	Bremsstrahlung	Rayleigh et Compton de la raie excitatrice
<b>Sensibilité</b>	10-100 ppm	variable (1-1000)	1-10 ppm
<b>Quantification</b>	Bonne 5-10%	Moyenne	Moyenne
<b>Précision</b>			
<b>Résolution spatiale</b>	10-20 $\mu\text{m}$	> 100 $\mu\text{m}$	> 100 $\mu\text{m}$
<b>Profondeur d'analyse</b>	10-50 $\mu\text{m}$	> 100 $\mu\text{m}$	> 100 $\mu\text{m}$
<b>Risque de dommage</b>	fort sur matériaux organiques	faible	faible
<b>Durée d'analyse</b>	quelques minutes	quelques minutes	quelques minutes

## Conclusions et perspectives

Le PIXE-XRF apparaît comme une méthode d'analyse située à mi-chemin entre la XRF et le rayonnement synchrotron. On pourrait même dire que c'est le synchrotron du pauvre !

Comme extension future, il est envisagé de :

- réaliser un ensemble PIXE-XRF pouvant analyser des échantillons de plus grande taille : sculptures ou peintures de chevalet.
- équiper le système d'une lentille de focalisation des rayons X pour produire un milli-faisceau et pratiquer des analyses en cartographie.