



HAL
open science

Section efficace de production de rayons X de la couche K : qu'en est-il à haute energie ?

Q Mouchard, Charbel Koumeir, Arnaud Guertin, Ferid Haddad, Noël
Servagent, Vincent Métivier

► To cite this version:

Q Mouchard, Charbel Koumeir, Arnaud Guertin, Ferid Haddad, Noël Servagent, et al.. Section efficace de production de rayons X de la couche K : qu'en est-il à haute energie ?. 8e Rencontre "Ion Beam Applications Francophone" - IBAF 2021, Jul 2021, Distanciel, France. . hal-03283797

HAL Id: hal-03283797

<https://hal.science/hal-03283797v1>

Submitted on 12 Jul 2021

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.

Sections efficaces d'ionisation de la couche K : qu'en est-il à haute énergie ?

Q. Mouchard¹, C. Koumeir^{1,2}, A. Guertin¹, F. Haddad^{1,2}, N. Servagent¹ et V. Métivier¹

¹ SUBATECH, IMT Atlantique, Université de Nantes, CNRS/IN2P3, Nantes, France

² GIP ARRONAX, Saint-Herblain, France

Méthode PIXE à haute énergie :

Adaptée pour l'étude d'objet épais et multicouches :

- Energie faisceau protons : quelques MeV
- Parcours des protons : de l'ordre du mm
- Adaptée pour l'étude d'objet épais archéologique
- Détection des éléments facilités par les raies K, plus énergétiques



A. Denker et al. Nucl. Inst. Meth. B 239 (2005) 65-70

$$N_X^Z = N_p N^Z \omega b \varepsilon \int_{E_f}^{E_0} \frac{\sigma_i(E) \times T(E)}{S(E)} dE$$

Labels for the equation:

- N_X^Z : Nombre de rayons X détectés
- N_p : Nombre de particules incidentes
- N^Z : Nombre d'atomes
- ω : Rendement de fluorescence
- b : Efficacité de détection (intrinsèque et géométrique)
- ε : Facteur de transmission
- $\sigma_i(E)$: Section efficace d'ionisation
- $T(E)$: Pouvoir d'arrêt
- $S(E)$: Section efficace de production de rayons X de la couche Ki

Pour une analyse quantitative : nécessité de connaître l'ensemble des paramètres de l'expérience.

Section efficace d'ionisation, à haute énergie :

→ Lacune de données expérimentales à quelques dizaines de MeV/u

Section efficace de production de rayons X de la couche K :

- Cible fine → section efficace de production de rayons X constante dans la cible
- Mesure de section efficace de production → indépendant du rendement de fluorescence
- Mesure pour chaque raie K : $\sigma_P^T(K) = \sum_i \sigma_P(K_i)$ → indépendant de l'intensité de raie X

$$\sigma_P(K_i) = \frac{N_X(K_i) \times M \times \frac{\mu}{\rho}(K_i) \times \rho \times \cos(45)}{N_p \times \varepsilon_{tot}(K_i) \times N_A \times \rho \times \left(1 - \exp\left(-\frac{\mu}{\rho}(K_i) \times \rho \times d\right)\right)}$$

Labels for the equation:

- $N_X(K_i)$: Nombre de rayons X détectés
- M : Masse atomique
- $\frac{\mu}{\rho}(K_i)$: Coefficient d'atténuation massique
- ρ : Densité
- $\cos(45)$: Angle de détection
- N_p : Nombre de particules incidentes
- $\varepsilon_{tot}(K_i)$: Rendement de fluorescence
- N_A : Nombre d'Avogadro
- ρ : Densité
- d : Épaisseur de la cible

Section efficace de production de rayons X / section efficace d'ionisation :

$$\sigma_i(K) = \frac{\sigma_P(K)}{\omega_Z} \quad \omega_K = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{\Delta\omega_i}\right)^2} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\omega_i}{(\Delta\omega_i)^2}\right)$$

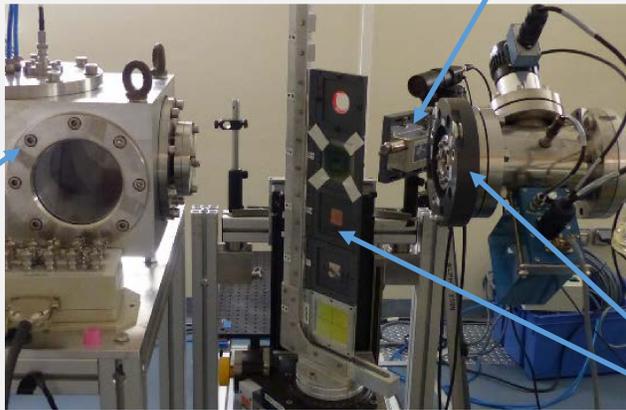
Labels for the equation:

- $\sigma_i(K)$: Section efficace d'ionisation
- $\sigma_P(K)$: Section efficace de production de rayons X
- ω_Z : Rendement de fluorescence
- ω_K : Coefficient de pondération
- $\Delta\omega_i$: Incertitude de la raie
- ω_i : Intensité de la raie

Rendement de fluorescence

Le rendement de fluorescence utilisé est une moyenne pondérée des données de la littérature par leurs erreurs.

Montage expérimental :

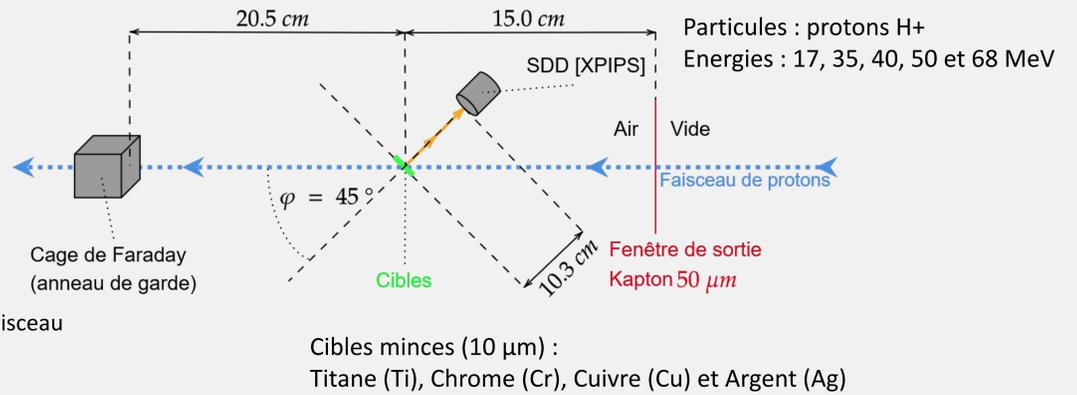


Cage de Faraday (anneau de garde)

Détecteur SDD

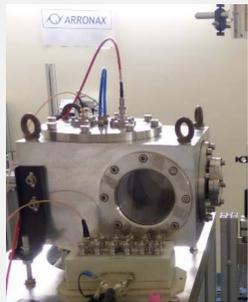
Ligne faisceau

Cibles



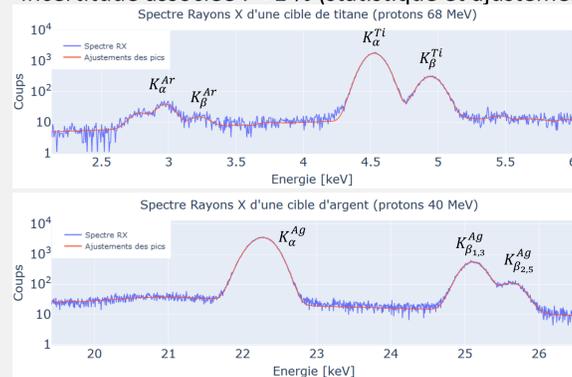
Mesures de l'intensité du faisceau :

- Utilisation d'une cage de Faraday équipée d'un anneau de garde
- Lors de nos mesures, l'ensemble des particules incidentes rentrent dans la cage de Faraday → Contrôle à l'aide d'un film radiochromique
- Incertitude de mesure : 0,5 % + 0,5 pA (fuites)



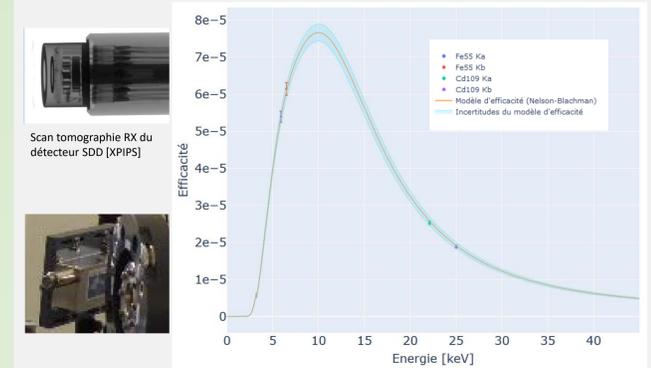
Mesure du nombre de rayons X :

- Utilisation d'un détecteur SDD [XPIPS]
- Nombre de rayons X obtenu après : → Ajustement des pics caractéristiques de la couche K → Correction du temps mort
- Incertitude associée : < 1 % (statistique et ajustement)

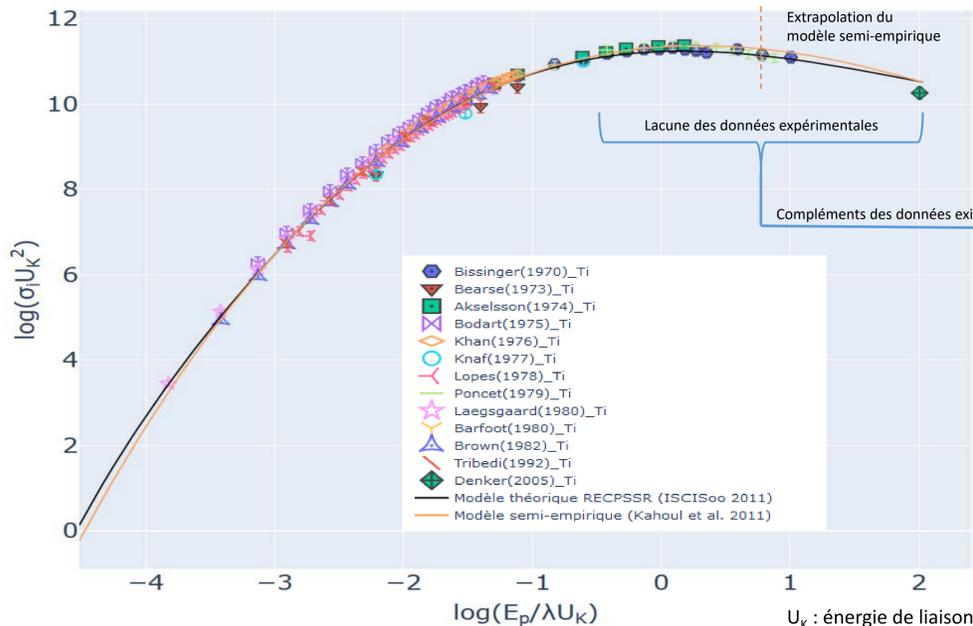


Efficacité de détection :

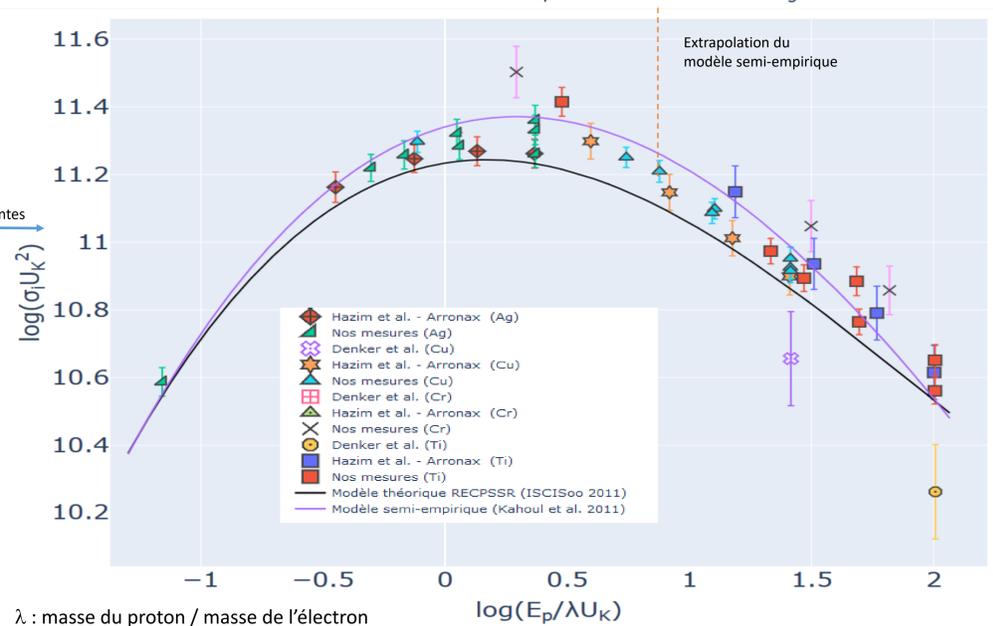
- Optimisation du modèle (Nelson-Blachmann) à l'aide de sources radioactives
- Contrôle de l'efficacité lors de chaque expérience



Section efficace universelle - Données expérimentales Titane



Section efficace universelle - Données expérimentales à haute énergie



Perspectives :

- De nouvelles mesures de répétabilité vont être réalisées
- Nouveau scan tomographique RX du détecteur, afin d'améliorer l'incertitude du modèle d'efficacité

This work has been in part supported by a grant from the French National Agency for Research called "Investissements d'Avenir", Equipex ArronaxPlus no ANR-11-EQPX-0004 and by the CPER 2007-2013, including European Union funding (FEDER)