

# DE SILURE A MAIA...

## 16 ANS DE PHOTOIONISATION D'IONS AU LURE

J.M. Bizau, D. Cubaynes, J.M. Esteve, F. Wuilleumier,  
LIXAM et LURE, Université Paris-Sud, Orsay

Thèses : B. Rouvellou (1994), S. Al Moussalami (1998), J.P. Champeaux (2003)



### CONTEXTE

Jusqu'au début des années 1980, la grande majorité des données sur les processus de photoionisation dans les ions multichargés était obtenue grâce à des travaux théoriques. La validité de ces prédictions restait largement non testée par l'expérience. Les rares données expérimentales existantes émanaient d'expériences de photoabsorption dans des plasmas produits par laser. Cette technique permet essentiellement de mesurer en valeur relative des sections efficaces de photoabsorption, principalement dans des ions légers et peu chargés. La première expérience couplant une source d'ion et un faisceau de rayonnement synchrotron issu d'un aimant de courbure a été réalisée en 1985 par J. West et coll. à Daresbury. Ce montage a permis de mesurer par spectrométrie ionique la valeur absolue de la section efficace de photoionisation pour quelques ions monochargés (pour une revue sur ces différents travaux, voir J.B. West (2001) J. Phys. B **34**, R45).

Dès le début, notre but a été de construire une expérience de spectrométrie d'électron capable de mesurer en valeur absolue des sections efficaces de photoionisation dans des ions multichargés. Seule cette technique permet une analyse fine des prédictions théoriques. De plus, la mesure en valeur absolue des paramètres de la photoionisation fournit des données nécessaires à la modélisation des plasmas peu denses, et aide à l'interprétation des observations réalisées par les satellites X tels que Chandra ou XMM Newton.

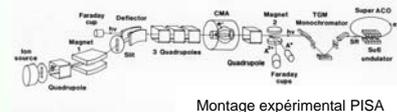


### 1990 : PISA

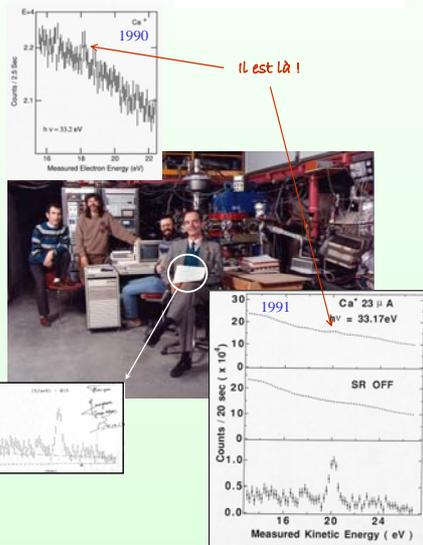
#### Collaborations :

- J. Obert, J.C. Putaux, IPN Orsay
- E. Källne, S. Sorensen, Chalmers Inst., Stockholm
- A. Damany, LURE
- M. Richter, Technische Univ. Berlin
- T. Morgan, Wesleyan Univ., Middletown CT

Loin de nous décourager, nous avons réussi à démontrer en 1991 la faisabilité de la spectrométrie d'électron lorsque l'ensemble du montage expérimental (incluant l'onduleur et le monochromateur) a été transporté, après un profond remaniement, à Super ACO (expérience PISA, pour Photoionisation d'Ions à Super-Aco, installée sur la ligne SU6). Le spectre d'électrons issus de la photoionisation résonnante d'ions Ca<sup>+</sup> a été mesuré.



Montage expérimental PISA



### 1998 : PISI

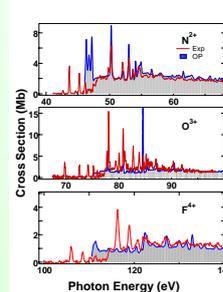
#### Collaborations :

- J. Bruneau, C. Blancard, A. Compant La Fontaine, J.L. Lemaire, R. Marmoret, CEA Bruyères-le-Châtel
- A. Girard, D. Hitz, CEA Grenoble
- E.T. Kennedy, J.P. Mosnier, Dublin College Univ.

Une étape supplémentaire a été franchie en 1998 avec le couplage d'une Source d'ion à Résonance Cyclotronique Electronique (ECRIS) avec un faisceau de rayonnement synchrotron, permettant d'étudier les processus de photoionisation dans les ions multichargés. Afin de pallier au fait que notre expérience ne disposait pas d'une implantation permanente sur la ligne de lumière, il a été décidé de construire, dans un premier temps, une expérience plus légère utilisant la spectrométrie ionique comme outil d'analyse (expérience PISI, pour Photoionisation d'Ions par Spectrométrie Ionique). Elle détient à ce jour le record absolu d'état de charge des ions pour lesquels des sections efficaces de photoionisation ont pu être déterminées en valeur absolue.



Montage PISI



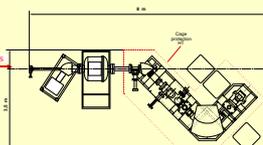
La figure ci-contre montre, à titre d'exemple, les spectres que nous avons mesuré pour la photoionisation en couche L des premiers ions de la série iso-électronique du Bore, comparés aux résultats théoriques disponibles dans la base de données de l'Opacity Project (courbes bleues).

#### Bibliographie succincte :

- Photoionization of highly-charged ions using an ECR ion source and undulator radiation, J.M. Bizau et al, Phys. Rev. Lett. **84**, 435-438 (2000)
- Absolute measurements and theoretical calculations of photoionization cross sections along the isonuclear sequence of the multiply-charged Ba ions, J.-M. Bizau et al, Phys. Rev. Lett. **87**, 273002 (2001)
- Measurements and calculations of photoionization cross sections of multiply-charged ions in ground and metastable states along the isonuclear series of oxygen : O<sup>2+</sup> to O<sup>8+</sup>, J.-P. Champeaux et al, Astrophys. J. Supp. Series **148**, 583 (2003)
- Absolute photoionization cross sections and resonance structure of doubly ionized silicon in the region of the 2p<sup>1</sup> threshold : Experiment and theory J.P. Mosnier et al, Phys. Rev. A **68**, 052712 (2003)

### 2007 : MAIA

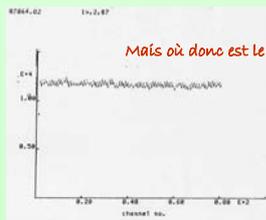
PISI a fourni des données jusqu'à la dernière minute de fonctionnement de Super-ACO. Grâce au financement accordé dans le cadre de l'Option 1, une nouvelle source ECR et un séparateur magnétique, spécialement optimisés pour ce type d'expérience, ont été réalisés et testés avec succès à Super-ACO. Ce matériel sera implanté de façon permanente sur la ligne PLEIADES de SOLEIL. Les gains apportés en courant d'ion par ce nouveau matériel et en brillance de photon par SOLEIL permettront de reprendre, parallèlement ou en coincidence avec la spectrométrie ionique, les expériences de spectrométrie d'électron (expérience MAIA, pour Multi-Analysis Ion Apparatus, l'ainée et la plus belle des Pléiades !).



### 1987 : SILURE

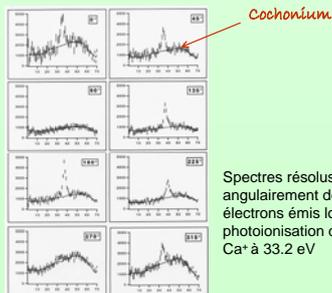
#### Collaborations : J. Obert, J.C. Putaux, IPN Orsay.

Dès 1987 notre équipe a monté une expérience, appelée SILURE (Source d'ion à LURE), visant à étudier par spectrométrie d'électron les processus de photoionisation dans les ions positifs monochargés. Elle était installée sur l'unique ligne onduleur d'ACO (onduleur NOEL). Les nombreuses difficultés techniques ont fait que cette première tentative a été un échec.



Spectre d'électron suivant la photoionisation des ions Ar<sup>+</sup>

Le passage en ultraviolet des chambres d'interaction et de détection, réalisé en 1995, a permis de fortement améliorer le rapport signal/bruit dans les spectres d'électron, et de réaliser ainsi la première mesure de la distribution angulaire des électrons émis dans la photoionisation résonnante des ions Ca<sup>+</sup>. Cette expérience n'a jamais pu être égale à ce jour.



Spectres résolus angulairement des électrons émis lors de la photoionisation des ions Ca<sup>+</sup> à 33.2 eV

#### Bibliographie succincte :

- First Observation of Photoelectron Spectra Emitted in the Photoionization of a Singly Charged - Ion Beam with Synchrotron Radiation, J. M. Bizau et al, Phys. Rev. Lett. **67**, 576 (1991)
- The Combined Use of a Singly Charged Ion Beam and Undulator Radiation for Photoelectron Spectrometry Studies on Atomic Ions, J. M. Bizau et al, Rev. Sc. Instr. **63**, 1389 (1992)
- A Dedicated Electron Spectrometer for Photoionization Studies of Atomic Ions with Synchrotron Radiation, B. Rouvellou et al, J. Electr. Spectr. Rel. Phenom. **76**, 237-243 (1995)
- First Angular Distribution Measurements of Photoelectrons Emitted in Resonant Inner-Shell Photoexcitation in a Singly-Charged Ion: the Ca<sup>+</sup> Case, S. Al Moussalami et al, Phys. Rev. Lett. **76**, 4496 (1996).

#### Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier tout le personnel administratif et technique du LIXAM dont le travail exemplaire a permis l'existence et la réussite de ces expériences, avec une reconnaissance toute particulière envers Nicole et Maurice Berland, Eric Bouisset et Christian Vinsot. Ils remercient également tout le personnel du LURE pour la qualité des services rendus, avec bien entendu en première place l'excellence des faisceaux RS délivrés durant toutes ces années.