

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi – Bordj  
Bou Arreridj Faculté des Sciences et de la  
Technologie  
Département Sciences de la Matière

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعريريج »  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم علوم المادة



# Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU PASSAGE DE : Master II

Filière : Physique  
Option : Matériaux et modélisation numérique

## THÈME

Nouvelle base de données des rendements de fluorescence de  
la sous-couche  $L_3$

Préparé par :

HAMOUDA Lemya

Soutenu le : 14/06/2015

Devant le jury :

<b>Président:</b>	Khalfallah Farid	M.C.B	Université de BBA
<b>Rapporteur:</b>	Kahoul Abdelhalim	Professeur	Université de BBA
<b>Examineur:</b>	Sahnoune Yassine	M.A.A	Université de BBA
<b>Examineur:</b>	Bechiche Said	M.A.A	Université de BBA

Année Universitaire 2014-2015

## **DÉDICACES**

*A ma mère et mon père que dieu les gardes*

*A mes frères Salah, Imad et Aymen*

*A mes sœurs Nadia et Affaf*

*A toute ma famille*

*A mes chers amis: Radia, Sihame, Selma et Mbarka*

## ***REMERCIEMENTS***

*Avant tout, je remercie ALLAH qui m'a donné la force et le savoir pour la réalisation de ce travail.*

*Je remercie essentiellement Mon encadreur à la réalisation de ce travail : Monsieur Abdelhalim KAHOUL, professeur à l'Université Mohammed-Bachir-El-Ibrahimi Bordj-Bou-Arreridj*

*Je remercie Monsieur Khalfallah Farid, M.C.B à l'Université Mohammed-Bachir-El-Ibrahimi Bordj-Bou-Arreridj pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Je remercie Monsieur Sahnoune Yassine et Monsieur Bechiche Saïd, M.A.A à l'Université Mohammed-Bachir-El-Ibrahimi Bordj-Bou-Arreridj Pour avoir accepté de faire partie du jury de ce mémoire.*

*Je tiens à remercier toute ma famille.*

*Je remercie aussi mes collègues étudiants et toutes personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail*

## Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### Chapitre I

#### Rappel théorique

I.1/ Rappels sur théorie atomique de la matière.....	4
I.1.1/ Nombres quantiques.....	4
I.1.2/ Couches électroniques.....	5
I.1.3/ Règles de sélections.....	6
I.1.4/ Transitions électroniques.....	7
I.2/ Rayonnements ionisants.....	8
I.2.1/ Rayonnements pénétrants: les rayons X et gamma.....	8
I.3/ Ionisation des couches internes des atomes.....	9
I.4/ Fluorescence X et effet Auger.....	10
I.4.1/ Désexcitation radiative.....	10
I.4.1.1/ Fluorescence X.....	11
a) Principe de fluorescence X.....	11
I.4.2/ Désexcitation non-radiative.....	12
I.4.2.1/ Effet Auger.....	12
I.5/ Section efficace.....	14
I.5.1/ Section efficace de production des rayons X.....	14
I.5.1.1/ Section efficace de production des rayons X de la couche L.....	14
I.6/ Rendement de fluorescence.....	15
I.6.1/ Rendement de fluorescence en absence des transitions de Coster-Kronig.....	16
I.6.2/ Rendement de fluorescence en présence des transitions de Coster-Kronig.....	17
Bibliographies.....	19

### Chapitre II

#### Base de Données des rendements de fluorescence de la sous-couche $L_3$ pour des éléments avec $23 \leq Z \leq 96$

II/ Base de Données des rendements de fluorescence de la sous-couche $L_3$ pour des éléments avec $23 \leq Z \leq 96$ .....	22
II.1/ Introduction.....	22

---

II.2/ La distribution des rendements de fluorescence expérimentales.....	22
II.3/ La définition de différence mesure et des erreurs.....	24
Bibliographies.....	33

**Chapitre III**

**Calculs empiriques des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  pour des éléments avec  $23 \leq Z \leq 96$**

III/ Calculs empiriques des rendements de fluorescence de la sous-couche $L_3$ pour des éléments avec $23 \leq Z \leq 96$ .....	40
III.1/ Introduction.....	40
III.2/ Méthodes et résultats.....	40
III.3/ Discussion.....	45
Bibliographies.....	47
Conclusion générale.....	55

# **Introduction générale**

Created with

 **nitro**<sup>PDF</sup> professional

download the free trial online at [nitropdf.com/professional](https://nitropdf.com/professional)

## Introduction générale

La physique atomique est définie de façon générale comme l'étude de la structure de l'atome, ses états d'énergie et ses interactions avec les autres champs et particules.

Un atome est constitué par un noyau chargé positivement et par un ensemble d'électrons qui gravitent sur des couches (K, L, M, N,...) concentriques autour de ce noyau. Sous l'effet du choc d'une particule (proton, électron, photon X,...) un électron passe d'une couche à une autre, ou même soit complètement expulsé de l'atome, ce dernier devient instable et tend à retrouver son état stable par émission radiative des rayons X ou par des processus non radiatifs d'Auger ou de Coster-Kronig. La probabilité pour qu'une lacune créée dans une couche soit comblée par une transition radiative est dite rendement de fluorescence de la couche considérée.

Dans ce travail, nous avons calculé les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ ) des éléments de numéros atomique  $23 \leq Z \leq 96$  par deux méthodes différentes pondéré  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-W}$  et non-pondéré  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-UNW}$  à partir un logiciel informatique appelé «Excel».

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons un rappel théorique sur la théorie atomique de la matière, fluorescence X et effet Auger, transitions de Coster-Kronig, Section efficace et le rendement de fluorescence.

Dans le deuxième chapitre, c'est une recherche bibliographique sur les rendements de fluorescences expérimentales des sous-couches ( $L_3$ ) publier durant la période de 1955 à 2015, pour des éléments de numéro atomique  $23 \leq Z \leq 96$ . Nous avons utilisé le logiciel « Excel » pour calculer la valeur moyenne non-pondérée ( $\bar{\omega}$ ), la valeur moyenne pondérée ( $\bar{\omega}_W$ ), l'écart type non pondéré ( $USD(\ )$ ), l'écart-type pondéré ( $WSD(\ )$ ) et les erreurs standard non pondéré ( $USE(\ )$ ).

Dans le troisième chapitre, nous avons utilisé la base de données a été présenté dans le deuxième chapitre pour calculer les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ )

des éléments de numéros atomique  $23 \leq Z \leq 96$  par deux méthodes différent. Les résultats obtenus sont comparés avec les valeurs données par d'autres auteurs.

Finalement, nous avons terminé ce modeste travail par une conclusion générale de cette étude.



# Chapitre I

## *Rappel théorique*

## I.1/ Rappels sur théorie atomique de la matière

### I.1.1/ Nombres quantiques

On peut diviser la structure d'un atome en deux parties principales : le noyau et les couches électroniques qui l'entourent.

L'énergie potentielle d'une orbitale (sous-couche) électronique correspond en fait à l'énergie nécessaire pour arracher les électrons au noyau. Cette énergie dépend des 4 nombres quantiques  $n$ ,  $l$ ,  $m$  et  $j$ .

- $n$ : nombre quantique principal ( $n > 0$ ).
- $l$ : nombre quantique angulaire ( $0 \leq l \leq n-1$ ).
- $m$ : nombre quantique magnétique ( $-l \leq m \leq +l$ ).
- $j$ : nombre quantique interne est un entier positif égal à  $l+s$ ; où  $s$  est le nombre quantique de spin ( $s = \pm 1/2$ ). Pour  $l=0$ ,  $j$  ne peut prendre que la valeur  $+1/2$ .

Suivant le principe d'exclusion de Pauli, deux électrons, dans un atome donné, ne peuvent avoir leurs quatre nombres quantiques identiques.

Le tableau (I.1) représente les différentes configurations électroniques et le moment angulaire total  $j=l+s$ .

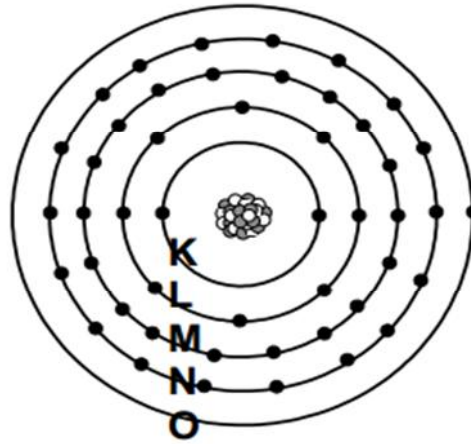
**Table I.1-** La configurations électroniques et le moment angulaire total.

Symbole	Caractéristiques de l'électron
K	1s ( $j= 1/2$ )
L <sub>1</sub>	2s ( $j= 1/2$ )
L <sub>2</sub>	2p ( $j= 1- s= 1/2$ )
L <sub>3</sub>	2p ( $j= 1+ s= 3/2$ )
M <sub>1</sub>	3s ( $j= 1/2$ )
M <sub>2</sub>	3p ( $j= 1- s= 1/2$ )
M <sub>3</sub>	3p ( $j= 1+ s= 3/2$ )
M <sub>4</sub>	3d ( $j= 1- s= 3/2$ )
M <sub>5</sub>	3d ( $j= 1+ s= 5/2$ )
N <sub>1</sub>	4s ( $j= 1/2$ )
N <sub>2</sub>	4p ( $j= 1- s= 1/2$ )
N <sub>3</sub>	4p ( $j= 1+ s= 3/2$ )
N <sub>4</sub>	4d ( $j= 1- s= 3/2$ )
N <sub>5</sub>	4d ( $j= 1+ s= 5/2$ )
N <sub>6</sub>	4f ( $j= 1- s= 5/2$ )
N <sub>7</sub>	4f ( $j= 1+ s= 7/2$ )

### I.1.2/ Couches électroniques

Les électrons constituant le cortège électronique des atomes libres sont situés sur des niveaux d'énergie bien définis. Correspondant aux différentes couches (K, L, M,...etc.) et sous-couches (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, M<sub>1</sub>,... etc):

- deux électrons, au maximum, sont sur la couche K (la plus énergétique en valeur absolue).
- Huit, au maximum, se trouvent sur la couche L, subdivisée en sous-couches L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>.
- Dix-huit, au maximum, remplissent la couche M, subdivisée en sous-couches M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>5</sub>,.....etc.



**Figure I.1-** Les couches électroniques.

Ces niveaux ont une certaine largeur, en général négligeable, sauf pour les sous-couches les plus externes (c'est-à-dire les moins énergétiques en valeur absolue) qui interviennent dans la liaison chimique.

Sous l'effet du choc d'une particule (proton, électron, photon X,...) un électron passe d'une couche à une autre, ou même soit complètement expulsé de l'atome, ce dernier devient instable et tend à retrouver son état normal par saut d'électrons des couches supérieures vers la couche inférieure.

Chaque saut d'électron est accompagné de l'émission d'une raie, dont la relation avec l'atome s'exprime par la loi de Moseley :

$$= c (z - a)^2 \dots \dots \dots \text{Eq (I.1)}$$

avec

la fréquence de la raie émise,  $z$  le numéro atomique de l'élément,  $c$  et  $a$  sont des constantes pour chaque élément.

### I.1.3/ Règles de sélections

Tous les sauts d'électrons ne sont pas permis, ils doivent satisfaire aux règles de sélections qui limitent en conséquence le nombre d'émission X d'énergie différente d'un élément donné. Ces règles sont:

$$n = 0 \dots \dots \dots \text{Eq (I.2)}$$

$$l = \pm 1 \dots \dots \dots \text{Eq (I.3)}$$

$$j = 1, 0, -1 \dots \dots \dots \text{Eq (I.4)}$$

La transition  $\Delta n=0$ , qui correspond à des raies intenses des spectres optiques, n'est pas observée dans le cas des rayons X alors que sa probabilité n'est pas complètement nulle.

**I.1.4/ Transitions électroniques**

Les transitions entre niveaux atomiques correspondent à des énergies discrètes et le réarrangement en cascade se traduit par un spectre en énergie des photons émis constitué par une série de raies discontinue.

Si un électron de la couche K est arraché et remplacé par un électron de la couche L, une raie appelée  $K_{\alpha}$  est émise. Si l'électron qui arrive sur la couche K provient de la couche M, la raie correspondante est appelée  $K_{\beta}$ ,  $K_{\gamma}$  si l'électron provient de la couche N et ainsi de suite. Si la vacance se trouve sur la couche L, les électrons en provenance des couches M, N, O, engendreront respectivement des raies  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ ,  $L_{\gamma}$ . Pour différencier les rayons X provenant de ces sous-couches, les raies sont nommées  $K_{\alpha_1}$ ,  $K_{\alpha_2}$ ,  $K_{\beta_1}$ ,  $K_{\beta_2}$ ,  $L_{\alpha_1}$ ,  $L_{\alpha_2}$ ...

L'ensemble de ces raies forme le spectre de rayonnement X (figure I.2).

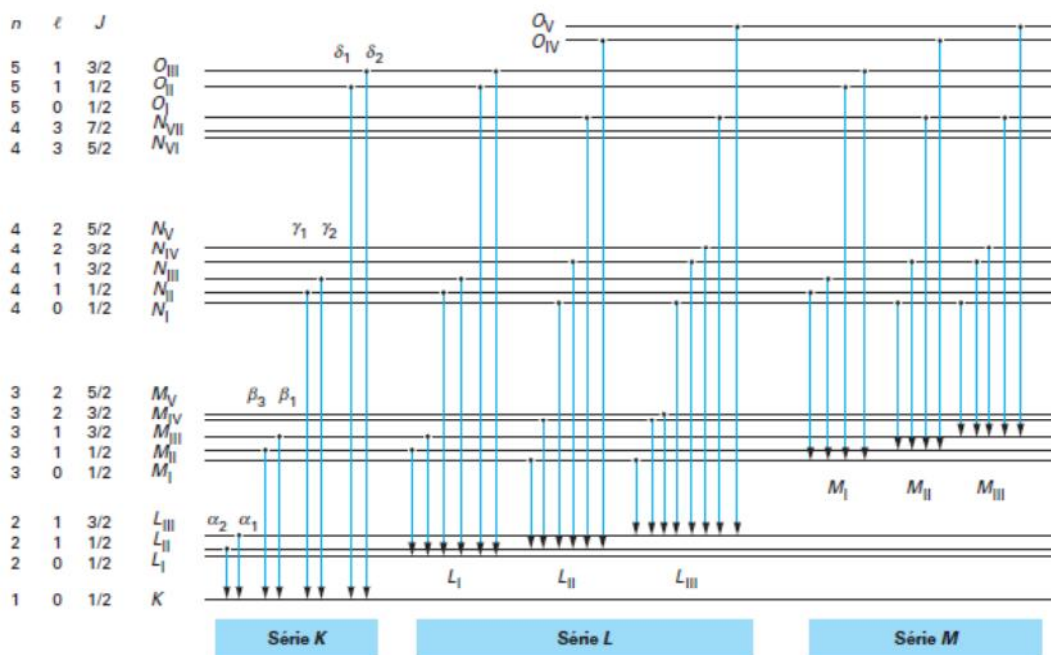


Figure I.2- Niveaux d'énergie et les transitions électroniques.

## I.2/ Rayonnements ionisants

Il existe quatre types de rayonnement ionisant:

- les particules alpha,
- les particules bêta,
- les neutrons,
- les rayons gamma ou rayons X (analyseurs FRX).

Le rayonnement ionisant trouve son origine lors d'une transition électronique entre deux états d'énergie d'une molécule ou d'un atome. L'ionisation a besoin de quatre électronvolts d'énergie, donc les rayons X et gamma sont donc ionisants.

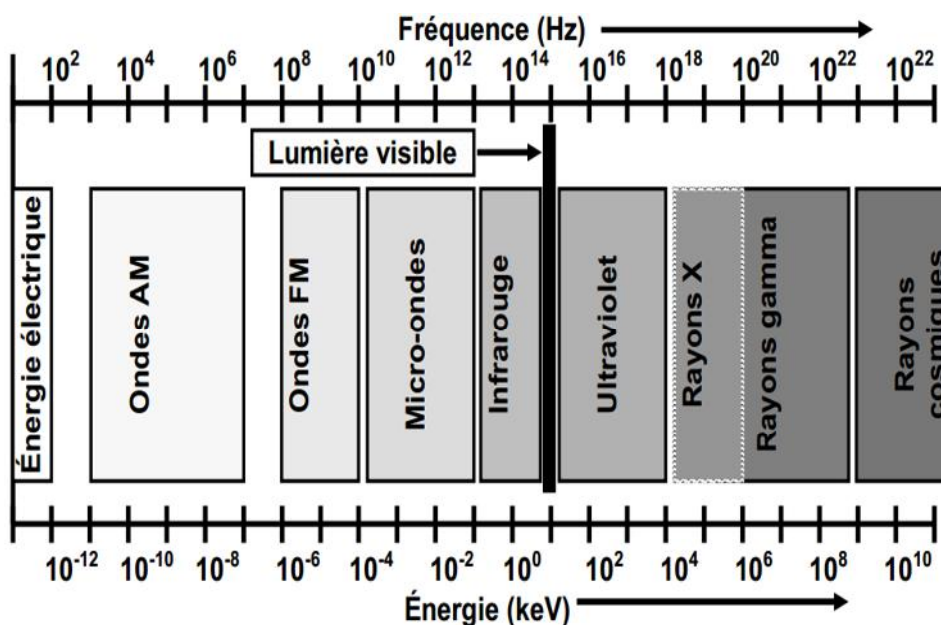


Figure I.3- Spectre électromagnétique.

### I.2.1/ Rayonnements pénétrants : les rayons X et gamma

Les rayons X et gamma sont des ondes électromagnétiques, de même nature que les ondes radio, la lumière ou les micro-ondes, de haute énergie. Ils n'ont ni masse ni charge électrique. Ces

ondes sont en fait découpées en petits paquets d'onde appelés photons. Chaque photon transporte une énergie  $E$ :

$$E = h \nu \quad \text{Eq (I.5)}$$

où  $h$  la constante de Planck,  $\nu$  la fréquence.

Puisque les rayons X et gamma ont beaucoup d'énergie et n'ont ni charge ni masse, ils sont très pénétrants et peuvent parcourir de grandes distances.

Le domaine des rayons X recouvre celui des rayons gamma. Il y a une grande différence dans la production des rayons gamma et des rayons X. L'émission des rayons gamma est faite depuis le noyau de l'atome tandis que les rayons X viennent des processus qui se produisent dans les orbitales des électrons.

Les électrons à grande vitesse et les rayons X émis par bremsstrahlung peuvent éjecter des électrons des couches intérieures des atomes. Les trous sont rapidement comblés par les électrons des couches externes. Ceci se traduit par l'émission de rayons X caractéristiques ayant des énergies discrètes, correspondant aux différences d'énergie entre les couches électroniques externes et internes de l'atome.

### I.3/ Ionisation des couches internes des atomes

L'ionisation de la matière par des photons porte le nom d'effet photoélectrique, et a été découvert par Heinrich Hertz en 1887.

Dans un atome, les électrons sont répartis dans des couches. Plus la couche est proche du noyau, plus l'énergie de liaison noyau-électron est forte.

Du fait de leur énergie importante, les photons X vont arracher des électrons situés au cœur des atomes, près du noyau; l'atome se retrouve ionisé, c'est-à-dire éjection d'un électron du niveau S d'un atome vers l'extérieur (avec  $S = K, L_1, L_2, L_3, \dots$ ).

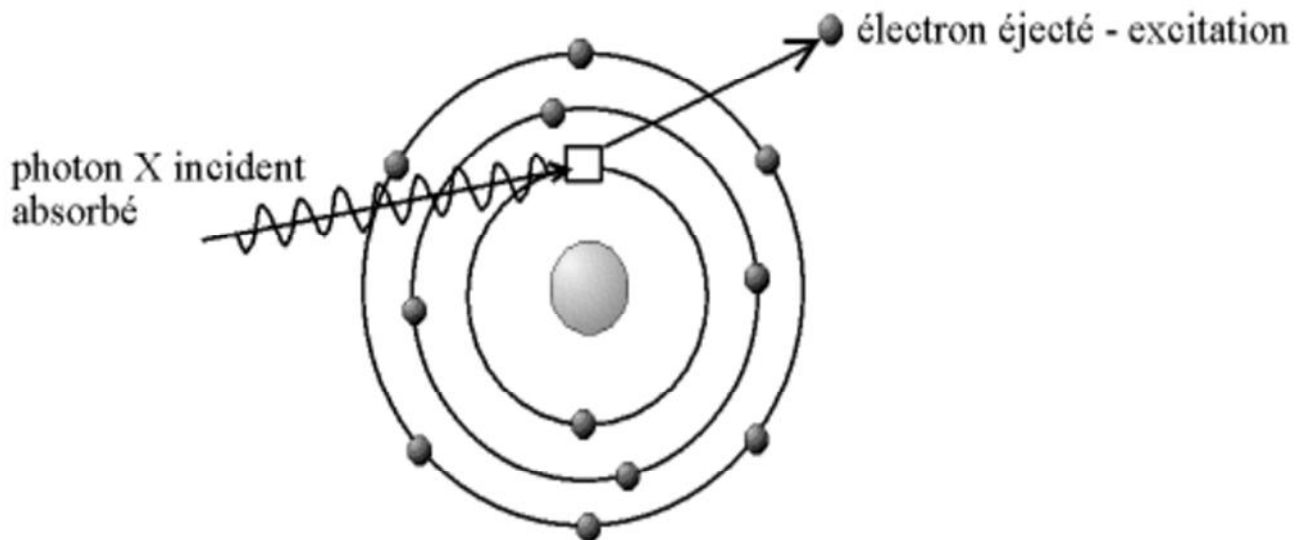


Figure I.4- Ionisation par effet photoélectrique.

## I.4/ Fluorescence X et effet Auger

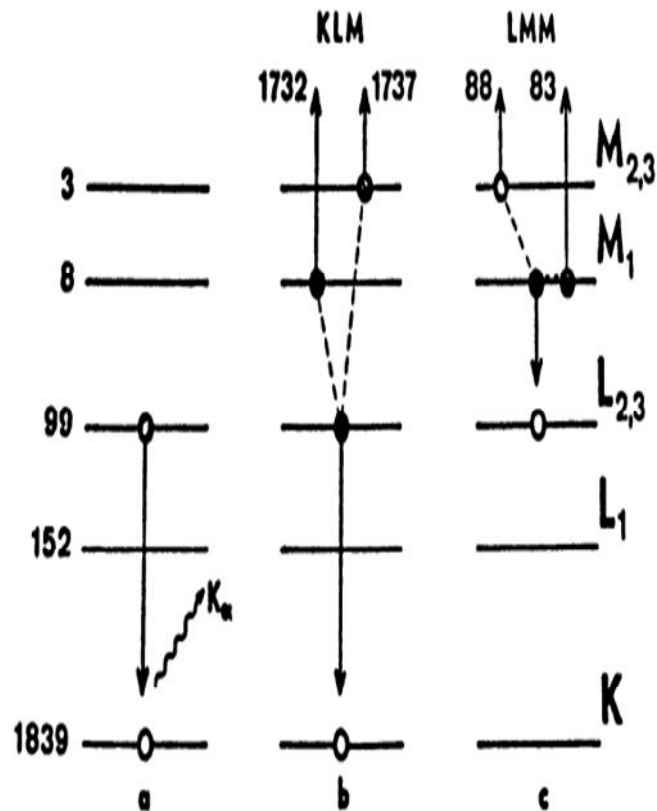
L'atome ionisé se trouve alors dans un état électronique excité et instable, avec une place vacante dans une de ses couches internes. Deux types de processus permettent au système de retourner à son état fondamental : la fluorescence et l'effet Auger.

### I.4.1/ Désexcitation radiative

L'atome peut se relaxer par transition radiative (émission d'un photon de fluorescence). La lacune initiale est comblée par un électron d'une couche supérieure, l'énergie de transition est emportée par un photon.

La figure (I.5) représente les niveaux d'énergie d'un atome de silicium, ionisé au niveau K.





**Figure I.5-** Les niveaux d'énergie d'un atome de silicium. a) Désexcitation radiative ; b) et c) désexcitation non radiative.

#### I.4.1.1/ Fluorescence X

La fluorescence des rayons X (ou fluorescence X) est une technique d'essais non destructifs permettant de détecter et de mesurer la concentration d'éléments dans les objets. On appelle fluorescence est l'absorption d'un rayonnement incident et sa réémission sous la forme d'un rayonnement de plus basse énergie.

##### a) Principe de fluorescence X

La fluorescence est à l'origine des raies caractéristiques du spectre du tube à rayons X. Il s'agit d'un processus de désexcitation radiative des atomes. L'édifice électronique est réorganisé par le retour d'un électron d'une couche d'énergie supérieure vers le niveau vacant. Lors de ce processus, un photon est émis avec une énergie  $h$  égale à la différence entre les niveaux d'énergie

de départ et d'arrivée de l'électron. Les règles de sélection de la physique atomique permettent de prévoir le spectre de fluorescence d'un élément donné.

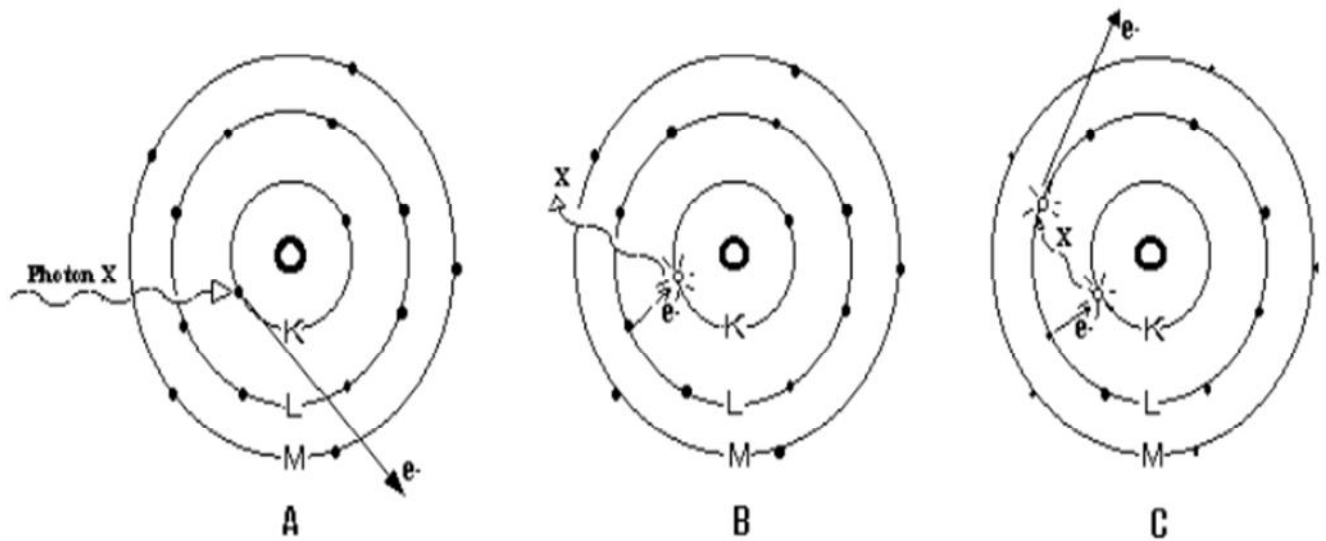


Figure I.6- Principe de la fluorescence.

**I.4.2/ Désexcitation non-radiative**

L'atome peut aussi se relaxer par voie non radiative (effets Auger, Coster-Kronig). La lacune initiale est comblée par un électron appartenant à une couche supérieure et l'énergie excédentaire est emportée par un électron d'une couche supérieure (effet Auger) ou de cette même couche (transition Coster-Kronig). Si les trois électrons appartiennent à la même couche on parle de transition Super Coster-Kronig.

**I.4.2.1/ Effet Auger**

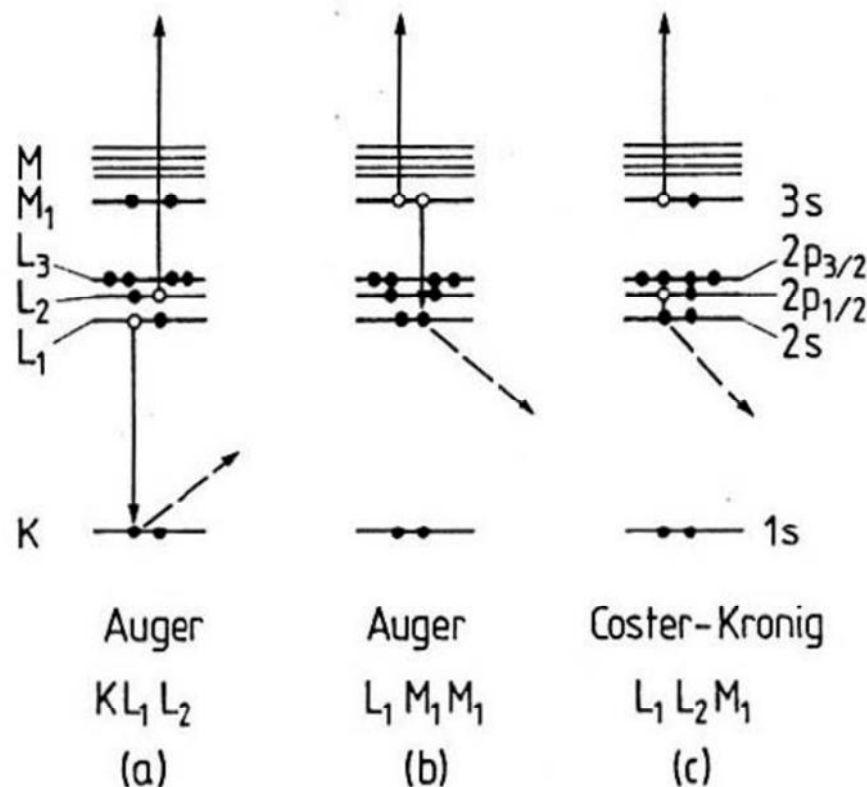
L'effet Auger est un processus de désexcitation non radiative d'un atome ionisé dans une couche S. Ce processus se fait en deux temps.

- Remplissage de la lacune en S par un électron d'un niveau moins énergétique X; ce temps de relaxation est de  $10^{-14}$  à  $10^{-17}$  s.
- Transfert de l'énergie  $E_S - E_X$  à un électron d'un niveau Y tel que  $E_Y < E_S - E_X$ , qui sera éjecté dans le continuum. Cet électron, que nous appellerons électron Auger aura en première approximation une énergie :

$$E_A = E_S - E_X - E_Y \dots \dots \dots \text{Eq (I.6)}$$

La nomenclature des électrons Auger est décrite par les trois niveaux successivement mis en jeu. Dans le cas de la figure (I.5b) nous avons émission d'un électron KLM :

- la 1<sup>re</sup> lettre désigne le niveau de la lacune initiale,
- la 2<sup>e</sup> lettre, l'origine de l'électron qui comble la lacune,
- la 3<sup>e</sup> lettre, le niveau de l'électron éjecté.



**Figure I.7-** Illustration de l'effet Auger et transition Coster-Kronig.

Il existe un cas particulier de transition Auger appelée transition de Coster-Kronig. Elle correspond au remplissage de la lacune initiale par un électron provenant de la même couche atomique (c'est-à-dire de même nombre quantique principal  $n$  mais d'une sous-couche différente. Ce type de transition est désigné par  $L_i L_p S_q$  ou  $M_i M_p S_q$  et correspond donc à une transition électronique entre deux niveaux L et un niveau S ou entre deux niveaux M et un niveau S.

Après la transition Auger, l'atome est dans un état doublement ionisé (perte d'un électron dans le processus élémentaire d'ionisation et perte d'un second électron qui sera l'électron Auger).

**I.5/ Section efficace**

En physique nucléaire ou en physique des particules, la section efficace est une grandeur physique reliée à la probabilité d'interaction d'une particule pour une réaction donnée.

**I.5.1/ Section efficace de production des rayons X**

La section efficace de production des rayons X est directement liée à la section efficace d'ionisation  $I$ , par l'intermédiaire du facteur de fluorescence  $\omega$ .

$$X = I \omega \dots \dots \dots \text{Eq (I.7)}$$

où

$X$  la section efficace de production des rayons X,  $I$  la section efficace d'ionisation et  $\omega$  le rendement de fluorescence.

**I.5.1.1/ Section efficace de production des rayons X de la couche L**

Les sections efficaces de production des raies L, et les sections efficaces d'ionisation sont liées par une relation simple faisant intervenir les rendements de fluorescences de sous couches  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  et les probabilités de transitions de Coster-Kronig, et les taux d'émission de rayons X pour les différentes transitions. La section efficace de production des raies principales  $L_\sigma$ ,  $L_\beta$  et  $L_\gamma$  sera calculée à partir des expressions suivantes:

$$I_\alpha = [(f_{13} + f_{12}f_{23}) I_1 + f_{23} I_2 + I_3] F_{3\alpha} \dots \dots \dots \text{Eq (I.8)}$$

$$I_\beta = [ F_{1\beta} + f_{12} F_{2\beta}(f_{13} + f_{12}f_{23}) F_{3\alpha}] I_1 + ( F_{2\beta} + f_{23} F_{3\beta}) I_2 + F_{3\alpha} I_3 \dots \dots \dots \text{(I.9)}$$

$$I_\gamma = (\omega_1 F_{1\gamma} + f_{12} F_{2\gamma}) I_1 + \omega_2 F_{2\gamma} I_2 \dots \dots \dots \text{(I.10)}$$

avec

$I_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) est la section efficace d'ionisation,  $\omega_i$  les rendements de fluorescences du sous-couche  $L_i$ ,  $f_{ij}$  ( $i = 1, 2; j = 2, 3$ ) sont les probabilités de transitions de Coster-Kronig,  $F_{i\gamma}$  ( $\gamma = \sigma, \beta, \gamma$ ) est le taux d'émission de rayons X :

$$F_{iy} = \frac{\Gamma_{iy}}{\Gamma_i} \dots\dots\dots(I.11)$$

avec

$\Gamma_i$  est la probabilité d'une transition électronique vers le niveau  $L_i$  et  $\Gamma_{iy}$  est la probabilité de l'émission d'un rayon  $L_y$  ( $y = \alpha, \beta, \gamma$ ), par exemple:  $F_{3\alpha} = \frac{\Gamma_{3\alpha}}{\Gamma_3}$ , avec  $\Gamma_3$  est la probabilité d'une transition électronique vers le niveau  $L_3$  conduisant à l'émission d'un rayon X, et  $\Gamma_{3\alpha}$  est la probabilité de l'émission d'un rayon  $X_{I\alpha}$ , c'est-à-dire des transitions  $L_3 \rightarrow M_5$  et  $L_3 \rightarrow M_4$ , conduisant à l'émission des raies  $L_{\alpha 1}$  et  $L_{\alpha 2}$  respectivement.

On aura aussi:

$$\Gamma_{1\beta} = \Gamma_1(M_2, M_3 \rightarrow L_1) + \Gamma_1(M_4, M_5 \rightarrow L_1) \dots\dots\dots(I.12)$$

$$\Gamma_{1\gamma} = \Gamma_1(N_2, N_3 \rightarrow L_1) + \Gamma_1(O_2, O_3 \rightarrow L_1) \dots\dots\dots(I.13)$$

$$\Gamma_{2\beta} = \Gamma_2(M_4 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(M_3 \rightarrow L_2) \dots\dots\dots(I.14)$$

$$\Gamma_{2\gamma} = \Gamma_2(N_1 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(N_4 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(O_1, O_4 \rightarrow L_2) \dots\dots\dots(I.15)$$

$$\Gamma_{3\alpha} = \Gamma_3(M_4 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(M_5 \rightarrow L_3) \dots\dots\dots(I.16)$$

$$\Gamma_{3\beta} = \Gamma_3(N_1 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(N_4 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(N_5 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(C_1 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(O_4, O_5 \rightarrow L_3) \dots(I.17)$$

avec

$\Gamma_{1\beta}$  et  $\Gamma_{1\gamma}$  sont les probabilités de l'émission X pour  $(M_2, M_3, M_4, M_5)$ ,  $(N_2, N_3)$  et  $(O_2, O_3)$  vers  $L_1$ .

$\Gamma_{2\beta}$  et  $\Gamma_{2\gamma}$  sont les probabilités de l'émission X pour  $(M_3, M_4)$ ,  $(N_1, N_4)$  et  $(O_1, O_4)$  vers  $L_2$ .

$\Gamma_{3\alpha}$  et  $\Gamma_{3\beta}$  sont les probabilités de l'émission X pour  $(M_4, M_5)$ ,  $(N_1, N_4, N_5)$  et  $(O_1, O_4, O_5)$  vers  $L_3$ .

### I.6/ Rendement de fluorescence

Après une interaction par effet photoélectrique, il apparaît un trou dans une couche électronique interne. Il se produit alors un réarrangement électronique générant un photon X de fluorescence ou électron Auger. La probabilité d'émission de photons de fluorescence est donnée

par le rendement de fluorescence; c'est la probabilité pour qu'une lacune électronique créée dans la couche S soit remplie par un électron en donnant lieu à une transition radiative.

**I.6.1/ Rendement de fluorescence en absence des transitions de Coster-Kronig**

Dans la plupart des expériences qui mesurer le rendement de fluorescence d'une couche atomique, les trous sont créés dans plusieurs des sous-couches. Soit  $\omega_{Si}$  le rendement de fluorescence de la sous-couche i de la couche S.

$$\omega_{Si} = \frac{\sigma_{Si}^X}{\sigma_{Si}^I} \dots \dots \dots \text{Eq (I.18)}$$

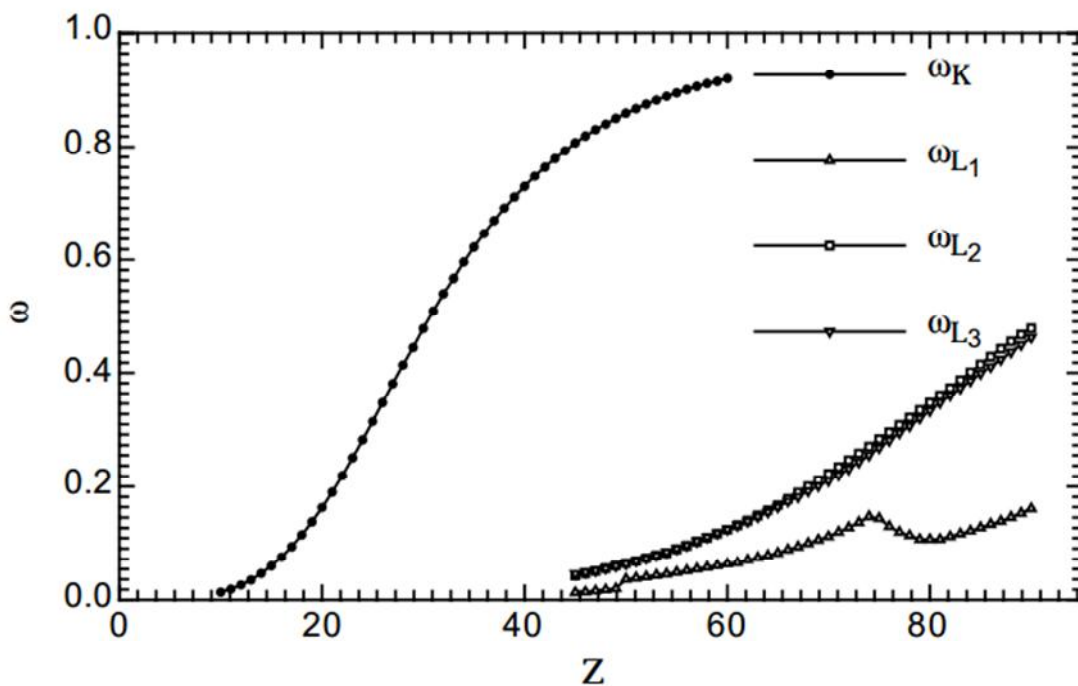
Un rendement de fluorescence  $\omega_S$  de la couche S peut être alors défini comme :

$$\omega_S = \sum_{i=1}^k N_{Si} \omega_{Si} \dots \dots \dots \text{Eq (I.19)}$$

où  $N_{Si}$  est les sections efficaces relatives d'ionisation de la sous-couche i de la couche S;

$$N_{Si} = \frac{\sigma_{Si}^I}{\sum_i \sigma_{Si}^I} \dots \dots \dots \text{Eq (I.20)}$$

$$\sum_i N_{Si} = 1 \dots \dots \dots \text{Eq (I.21)}$$



**Figure I.8-** Rendement de fluorescence en fonction du nombre atomique Z (D. Strivay, 2002).

**I.6.2/ Rendement de fluorescence en présence des transitions de Coster-Kronig**

En présence de transitions de Coster-Kronig, qui apparaissent entre les sous-couches d'une couche ayant le même numéro quantique principal. Elles ont pour effet de modifier la distribution des sous-couches ionisées. Ces transitions sont de types non radiatives.

$$S = \sum_{i=1}^k V_{Si} N_{Si} \dots \dots \dots \text{Eq (I.22)}$$

La somme des  $V_{Si}$  est supérieure à 1 et ils sont égaux à:

$$V_{S1} = N_{S1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.23)}$$

$$V_{S2} = N_{S2} + f_{12}^S N_{S1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.24)}$$

$$V_{S3} = N_{S3} + f_{23}^S N_{S2} + (f_{13}^S + f_{12}^S f_{23}^S) N_{S1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.25)}$$

⋮

$$V_{Sk} = N_{Sk} + f_{k-1k}^S N_{S_{k-1}} + (f_{k-2k-1}^S f_{k-1k}^S) N_{S_{k-2}} + \dots + (f_{1k}^S + f_{12}^S f_{2k}^S + f_{12}^S f_{23}^S f_{3k}^S + \dots) N_{S1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.26)}$$

où  $V_{Si}$  sont les sections efficaces relatives d'ionisation de la sous-couche i de la couche S et  $f_{ij}^S$  est la probabilité de transition Coster-Kronig pour déplacer l'ionisation de la sous-couche i à la sous-couche j.

Dans la couche L, les transitions peuvent se produire entre les niveaux  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$ ; l'ionisation initiale en  $L_1$  par exemple se transfère en  $L_2$  ou  $L_3$  et l'énergie disponible correspondante peut servir à libérer un électron plus faiblement lié. Ces transitions sans rayonnement sont généralement appelées transitions Coster-Kronig. La distribution initiale et finale des sous-couches sont liées comme suit :

$$V_{L1} = N_{L1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.27)}$$

$$V_{L2} = N_{L2} + f_{12}^L N_{L1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.28)}$$

$$V_{L3} = N_{L3} + f_{23}^L N_{L2} + (f_{13}^L + f_{12}^L f_{23}^L) N_{L1} \dots \dots \dots \text{Eq (I.29)}$$

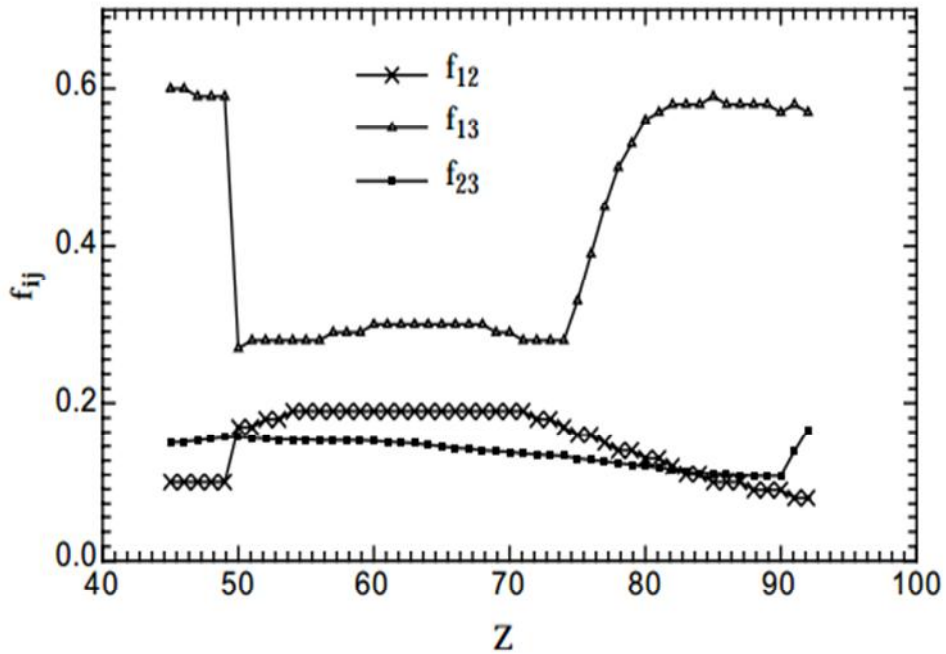


Figure I.12 : Transition de Coster-Kronig [D. Strivay, 2002].

Un autre fait important, la largeur totale  $\Gamma_i$  d'un niveau d'énergie (l'atome avec une lacune est dans un état excité) est la somme des largeurs partielles de tous les processus:

$$\Gamma_i = \Gamma_{X_i} + \Gamma_{\epsilon_i} + \sum_{k>l} \Gamma_{k_i} \dots \dots \dots \text{Eq (I.30)}$$

où  $\Gamma_{X_i}$  La largeur de rayonnement (radiative),  $\Gamma_{\epsilon_i}$  la largeur non-radiative,  $\Gamma_{k_i}$  la largeur de Coster-Kronig.

Alors, le rendement de fluorescence  $\eta_i$  est:

$$\eta_i = \frac{\Gamma_{X_i}}{\Gamma_i} \dots \dots \dots \text{Eq (I.31)}$$

Le rendement d'Auger  $a_i$  est donné par :

$$a_i = \frac{\Gamma_{\epsilon_i}}{\Gamma_i} \dots \dots \dots \text{Eq (I.32)}$$

La probabilité de transition Coster-Kronig  $f_{ik}$  est donné par :

$$f_{ik} = \frac{\Gamma_{k_i}}{\Gamma_i} \dots \dots \dots \text{Eq (I.33)}$$



**Bibliographies**

Azli T. Mémoire de magister en physique. Calcul de l'énergie déposée des particules chargées dans la matière. Université Ferhat Abbas Sétif. 2010: 21-22.

Bambynek W, Crasemann B, Fink RW, Freund HU, Mark H, Swift CD, Price RE, Rao PV. X-Ray Fluorescence Yields, Auger, and Coster-Kronig Transition Probabilities. Rev of mod phys. 1972; 44: 716-813.

Benslimane M. Mémoire de magister en chimie. Etude structurale des composés à base d'étain et de complexes organométalliques au cobalt et au manganèse. Université de Mentouri de Constantine. 2004: 6-8.

Boufas S. Mémoire de Magister en Chimie. Synthèse et étude structurale décomposés à base d'étain II et d'étain IV. Université de Mentouri de Constantine. 2004: 10-14.

Burggraf C, Carrière B, Goldsztaub S. Spectrométrie des électrons Auger. Rev phys appl. Strasbourg France 1976 ; 11: 13-21.

Corinne M. Thèse de doctorat. Modélisation des dommages radioinduits sur l'ADN: prise en compte des radicaux libres et des réparations primaires. Université de Toulouse III .2003: 66-67.

Despujols J. Spectrométrie d'émission des rayons X. Fluorescence X. Techniques de l'ingénieur. 2000 ; p2695: 2-3.

Dupuis T. Thèse de doctorat. Développement d'un dispositif d'analyses par faisceaux d'ions de haute énergie et applications en archéométrie. Université de Liege. 2012: 18-24.

El Azzouzi M. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle. Géochimie comparée de quelques éléments hygromagmaphiles dans les roches volcaniques de contextes géodynamiques varies. Université de Bretagne Occidentale. 1981: 2-4.

El hajjar D. Thèse de doctorat. Développement de la méthode PIXE à haute énergie auprès du cyclotron ARRONAX. Université de Nantes Angers Le Mans. 2014: 45-47.

Galez P. Techniques spectroscopiques d'analyse. Spectrométrie de fluorescence atomique. 2011: 5-6.

Gravereau P. Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres. Université Bordeaux 1. 2012: II.3-II.5.

Le Gressus C. Spectroscopie des électrons Auger. Techniques de l'ingénieur. 1978 ; p2620: 4-5.

Philippe M, Lucile B. Émission X induite par particules chargées (PIXE): théorie. Techniques de l'ingénieur. 2003; p2557: 4-6.

Richard V, Harri M, Julie L, Pui Kei Y. Livret de renseignements sur la certification et la préparation relatives aux évaluations de RNCAN. Opérateur d'analyseurs portatifs à fluorescence X. © 2010 Ressources naturelles Canada (RNCAN). 2010: 3-6.

Strivay D. Thèse de doctorat. Nouvelles applications des techniques d'analyse par faisceau d'ions. Université de Liege. 2002: 13-14.

# Chapitre II

*Base de Données des rendements de  
fluorescence de la sous-couche  $L_3$  pour  
des éléments avec  $23 \leq Z \leq 96$*

## II/ Base de Données des rendements de fluorescence de la sous-couche $L_3$ pour des éléments avec $23 \leq Z \leq 96$

### II.1/ Introduction

Le rendement de fluorescence est basé sur la fluorescence des rayons X. La fluorescence X est aujourd'hui utilisée dans des applications diverses, par exemple la médecine, Métallurgie, Chimie (notamment la catalyse), Physique atomique et la biologie. Ainsi, les rendements de fluorescence ( $\omega_L$ ) sont exigés pour ces applications. Comme nous l'avons indiqué précédemment le rendement de fluorescence est la probabilité pour qu'une lacune électronique créée dans la couche ou sous-couche soit remplie par un électron en donnant lieu à une transition radiative.

Nous avons utilisé le logiciel « Excel » pour calculer la valeur moyenne non-pondérée ( $\bar{\omega}$ ), la valeur moyenne pondérée ( $\bar{\omega}_W$ ), l'écart type non pondéré ( $USD(\ )$ ), l'écart type pondéré ( $WSD(\ )$ ) et les erreurs standard non pondéré ( $USE(\ )$ ).

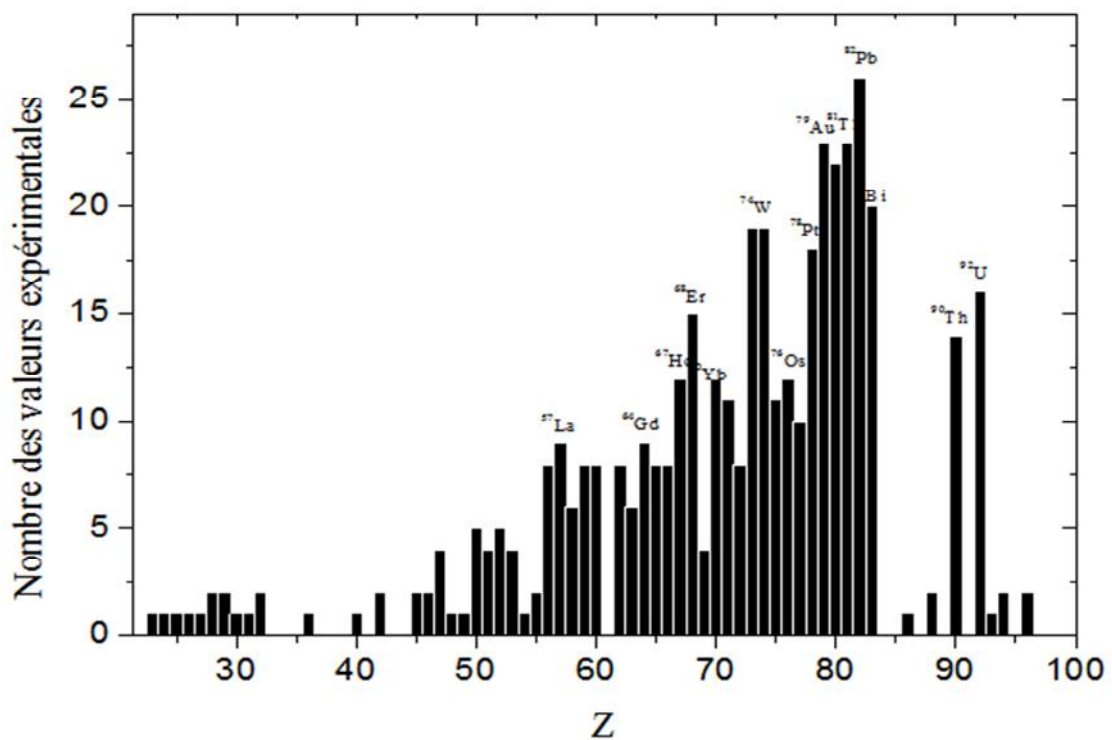
Dans ce chapitre nous avons présenté tous les données expérimentales des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  publiées durant la période 1955 à 2015, par les éléments de numéros atomique  $23 \leq Z \leq 96$ .

### II.2/ La distribution des rendements de fluorescence expérimentales

La base des données actuelle pour les rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  se fonde sur différentes publications: Ross et al (1955), Haynes et Achor (1955), Winkenbach (1958), Burford et al (1958), Roos (1959), Zimmerli et Flammersfeld (1963), Päsche, (1963), Jopson et al (1964), Rao et Crasemann (1965a), Rao et Crasemann (1965), Price et al (1968), Wood et al (1969), Rao et al (1969), Freund et Fink (1969), McGeorge et al (1970), Holmes et al (1970), Mohan et al (1970), Mohan and al (1970a), Palms et al (1970), McGeorge and Fink (1971), McGeorge et al (1971), Mohan et al (1971), Fink et Freund (1971), Budick et Derman (1972), Douglas (1972), McGeorge and al (1972), Douglas (1973), McGeorge and al (1973), Mohan et al (1973), Weksler et al (1973), Lee et Salem (1974), Campbell et al (1974), McNelles et al (1975), Maio et al (1975), Hribar et al (1977), Gnade et al (1980), Markevich et Budick (1981), Arora et al (1981), Kodre et al (1981), Tan et al (1982), Artamonova et al (1983), Von Dincklage et Hay (1985), Jitschin et al (1985), Auerhammer et al (1988), Tan et al (1988), Werner et Jitschin (1988), Rao (1988), McGhee

et Campbell (1988), Sorensen et al (1991), Xu (1991), Stötzel and al (1992), Ertuğrul (1998), Jitschin et al (1999), Öz et al (2000), Şahin et al (2000), Söğüt and al (2001), Kaya et al (2001), Durak et Özdemir (2001), Ertuğrul (2001), Ertuğrul (2001a), Ertugrul and al (2002), Ertugrul et Şimşek (2002), Kumar et al (2002), Öz and al (2002), Barrea and al (2002), Özdemir et Durak (2003), Barrea et al (2003), Badiger et Bonzi (2006), Bonzi et Badiger (2006), Ertugrul (2006), Han et al (2007), Söğüt et al (2009), Cengiz et al (2010), Kacal and al (2012), Kolbe and al (2012), Turhan et al (2014), Aylikci et al (2015), Koble and Hönicke (2015).

La figure suivante représente la distribution des rendements de fluorescence expérimentaux de la sous-couche  $L_3$  en fonction du numéros atomique  $Z$  tel que  $23 \leq Z \leq 96$  compilées et éditées pendant la période 1955 à 2015.



**Figure II.1-** La distribution des rendements de fluorescence expérimentaux de la sous-couche  $L_3$  ( $I_3$ ) en fonction du numéro atomique  $Z$  tel que  $23 \leq Z \leq 96$ .

La majorité des éléments entre  $23 \leq Z \leq 96$  sont disponibles, Les données pour tous les éléments de numéros atomique ( $^{33}\text{As}$ ,  $^{34}\text{Se}$ ,  $^{35}\text{Br}$ ,  $^{37}\text{Rb}$ ,  $^{38}\text{Sr}$ ,  $^{39}\text{Y}$ ,  $^{41}\text{Nb}$ ,  $^{43}\text{Tc}$ ,  $^{44}\text{Ru}$ ,  $^{61}\text{Pm}$ ,  $^{84}\text{Po}$ ,  $^{85}\text{At}$ ,  $^{87}\text{Fr}$ ,  $^{89}\text{Ac}$ ,  $^{91}\text{Pa}$ ,  $^{95}\text{Am}$ ) ne sont pas encore disponibles dus au fait qu'ils sont difficiles à manipuler et ne sont pas facilement disponibles.

Les cibles métalliques sont bien exploitée et comporte les plus grands nombres de données comme le <sup>73</sup>Ta, <sup>78</sup> Pt, <sup>79</sup>Au, <sup>81</sup>Ti, <sup>82</sup> Pb, <sup>83</sup>Bi et <sup>92</sup>U.

**II.3/ La définition de différente mesure et des erreurs**

Quand il y des différentes mesures pour la même quantité (dans ce cas c'est les rendements de fluorescence de la sous-couche (L<sub>3</sub>) les multiples définitions des mesures et des erreurs Kahoul et al (2012) peut être calculée comme écrit ci-dessous :

- La valeur moyenne est :

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N} \dots \dots \dots \text{Eq (II.1)}$$

Où :

$\alpha_i$ : les rendements de fluorescence expérimentaux;

N : le nombre de données expérimentales.

- La valeur moyenne pondérée est :

$$\bar{\omega}_W = \left( \sum_{i=1}^N (\Delta \alpha_i)^{-2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i}{(\Delta \alpha_i)^2} \dots \dots \dots \text{Eq (II.2)}$$

Avec :

$\Delta \alpha_i$  : représente l'incertitude de la valeur expérimentale.

- Déviation standard non-pondéré est :

$$\text{USD}(\omega) = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \bar{\omega})^2} \dots \dots \dots \text{Eq. II.3}$$

- Déviation standard pondéré est :

$$\text{WSD}(\omega) = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^N (\Delta \alpha_i)^{-2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \frac{(\alpha_i - \bar{\omega})^2}{(\Delta \alpha_i)^2}} \dots \dots \dots \text{Eq. II.4}$$

- L'erreur standard non-pondérée est :

$$\text{USE}(\omega) = \frac{\text{USD}(\omega)}{N} \dots \dots \dots \text{Eq. II.5}$$

Dans le tableau II.1, nous présentons la base de données des rendements de fluorescence expérimentaux de la sous-couche  $L_3$  pour des éléments atomiques de  $23 \leq Z \leq 96$ , dans le même tableau les valeurs de ( $\omega_{L_3}$ ,  $\bar{\omega}$ ,  $\bar{\omega}_w$ ,  $UDS(\lambda)$ ,  $WSD(\lambda)$  et  $USE(\lambda)$ ) sont aussi représentées.

**Table II.1-** Les rendements de fluorescence expérimentaux de la sous-couche  $L_3$  pour des éléments atomiques de  $Z = 23$  à  $Z = 96$ , Valeur moyenne non pondérée ( $\bar{\omega}$ ), Valeur moyenne pondérée ( $\bar{\omega}_W$ ), Écart type non pondéré ( $USD(\omega)$ ), Écart-type pondéré ( $WSD(\omega)$ ) et les erreurs standard non pondérée ( $USE(\omega)$ ).

Z	$\omega_3$	Références	$\bar{\omega}$	$\bar{\omega}_W$	USD( $\omega$ )	WSD( $\omega$ )	USE( $\omega$ )
23, V	0.0006±0.0001	(Lee and Salem, 1974)	0.0006	0.0006	-	Undefined	-
24, Cr	0.0008±0.0002	(Lee and Salem, 1974)	0.0008	0.0008	-	Undefined	-
25, Mn	0.0013±0.0002	(Lee and Salem, 1974)	0.0013	0.0013	-	Undefined	-
26, Fe	0.0016±0.0003	(Lee and Salem, 1974)	0.0016	0.0016	-	Undefined	-
27, Co	0.0017±0.0003	(Lee and Salem, 1974)	0.0017	0.0017	-	Undefined	-
28, Ni	0.0025±0.0004 0.0055±0.0010	(Lee and Salem, 1974) (Auerhammer and al, 1988)	0.0040	0.0029	0.0021	0.0015	0.0015
29, Cu	0.0048±0.0008 0.0120±0.0020	(Lee and Salem, 1974) (Auerhammer and al, 1988)	0.0084	0.0058	0.0051	0.0036	0.0036
30, Zn	0.0054±0.0011	(Lee and Salem, 1974)	0.0054	0.0054	-	Undefined	-
31, Ga	0.0066±0.0015	(Lee and Salem, 1974)	0.0066	0.0066	-	Undefined	-
32, Ge	0.0120±0.0030 0.0060±0.0010	(Auerhammer and al, 1988) (Lee and Salem, 1974)	0.0090	0.0066	0.0042	0.0030	0.0030
36, Kr	0.0160±0.0050	(Auerhammer and al, 1988)	0.0160	0.0160	-	Undefined	-
40, Zr	0.0340±0.0020	(Koble and Hönicke, 2015)	0.0340	0.0340	-	Undefined	-
42, Mo	0.0400±0.0060 0.0320±0.0010	(Auerhammer and al, 1988) (Kolbe and al, 2012)	0.0360	0.0322	0.0057	0.0040	0.0040
45, Rh	0.0360±0.0050 0.0440±0.0030	(Markevich and Budick, 1981) (Bonzi and Badiger, 2006)	0.0400	0.0419	0.0057	0.0040	0.0040
46, Pd	0.0340±0.0020 0.0500±0.0020	(Bonzi and Badiger, 2006) (Kolbe and al, 2012)	0.0420	0.0420	0.0113	0.0080	0.0080
47, Ag	0.0350±0.0040 0.0580±0.0100 0.0560±0.0070 0.0460±0.0030	(Budick and Derman, 1972) (Auerhammer and al, 1988) (Jitschin and al, 1999) (Bonzi and Badiger, 2006)	0.0488	0.0442	0.0106	0.0085	0.0053
48, Cd	0.0490±0.0020	(Bonzi and Badiger, 2006)	0.0490	0.0490	-	Undefined	-
49, In	0.0550±0.0030	(Bonzi and Badiger, 2006)	0.0550	0.0550	-	Undefined	-
50, Sn	0.0620±0.0040 0.0656±0.0033 0.0591±0.0030 0.0493±0.0025 0.0510±0.0026	(Bonzi and Badiger, 2006) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015)	0.0574	0.0556	0.0070	0.0065	0.0031
51, Sb	0.0702±0.0036 0.0629±0.0032 0.0535±0.0027 0.0620±0.0032	(Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015)	0.0622	0.0609	0.0068	0.0061	0.0034
52, Te	0.0560±0.0060 0.0727±0.0037 0.0732±0.0037 0.0595±0.0030 0.0655±0.0033	(Budick and Derman, 1972) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015)	0.0654	0.0659	0.0077	0.0062	0.0034
53, I	0.0745±0.0038	(Aylikci and al, 2015)	0.0723	0.0717	0.0050	0.0046	0.0025



	0.0747±0.0038	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0648±0.0033	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0750±0.0038	(Aylikci and al, 2015)						
54, Xe	0.0990±0.0020	(Hribar and al, 1977)	0.0990	0.0990	-	Undefined	-	
55, Cs	0.0890±0.0050	(Özdemir and Durak, 2003)	0.0905	0.0916	0.0021	0.0015	0.0015	
	0.0920±0.0020	(Kaya and al, 2001)						
56, Ba	0.0500±0.0100	(Burford and Haynes, 1958)	0.0847	0.0882	0.0182	0.0144	0.0064	
	0.0630±0.0030	(Badiger and Bonzi, 2006)						
	0.0979±0.0050	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0941±0.0048	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0856±0.0044	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0933±0.0048	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0970±0.0060	(Özdemir and Durak, 2003)						
	0.0970±0.0020	(Kaya and al, 2001)						
57, La	0.0920±0.0080	(Douglas, 1973)	0.1008	0.1015	0.0060	0.0051	0.0020	
	0.1060±0.0050	(Badiger and Bonzi, 2006)						
	0.1071±0.0055	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0986±0.0050	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0942±0.0048	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0957±0.0049	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1010±0.0070	(Özdemir and Durak, 2003)						
	0.1050±0.0030	(Kaya and al, 2001)						
	0.1080±0.0100	(Barrea and al, 2003)						
58, Ce	0.1119±0.0057	(Aylikci and al, 2015)	0.1072	0.1049	0.0083	0.0068	0.0034	
	0.1027±0.0052	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1019±0.0052	(Aylikci and al, 2015)						
	0.0979±0.0050	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1080±0.0070	(Özdemir and Durak, 2003)						
	0.1210±0.0090	(Kaya and al, 2001)						
59, Pr	0.1270±0.0060	(Badiger and Bonzi, 2006)	0.1179	0.1160	0.0082	0.0061	0.0029	
	0.1185±0.0060	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1094±0.0056	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1085±0.0055	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1191±0.0061	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1140±0.0070	(Özdemir and Durak, 2003)						
	0.1150±0.0030	(Kaya and al, 2001)						
	0.1320±0.0100	(Barrea and al, 2003)						
60, Nd	0.1080±0.0100	(Tan and al, 1988)	0.1257	0.1254	0.0119	0.0088	0.0042	
	0.1247±0.0064	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1277±0.0065	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1168±0.0060	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1277±0.0065	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1250±0.0080	(Özdemir and Durak, 2003)						
	0.1260±0.0060	(Kaya and al, 2001)						
	0.1500±0.0090	(Öz and al, 2000)						
62, Sm	0.1400±0.0090	(Han and al, 2007)	0.1359	0.1360	0.0047	0.0043	0.0017	
	0.1341±0.0068	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1382±0.0070	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1251±0.0064	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1370±0.0070	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1360±0.0070	(Özdemir and Durak, 2003)						
	0.1380±0.0040	(Kaya and al, 2001)						
	0.1390±0.0070	(Stötzel and al, 1992)						
63, Eu	0.1800±0.0400	(Artamonova and al, 1983)	0.1492	0.1423	0.0163	0.0102	0.0067	
	0.1480±0.0100	(Han and al, 2007)						
	0.1464±0.0075	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1446±0.0074	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1307±0.0067	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1456±0.0074	(Aylikci and al, 2015)						
64, Gd	0.1870±0.0060	(Douglas, 1972)	0.1621	0.1620	0.0142	0.0146	0.0047	
	0.1830±0.0150	(Von Dincklage and Hay, 1985)						
	0.1610±0.0190	(Gnade and al, 1980)						
	0.1560±0.0100	(Han and al, 2007)						
	0.1562±0.0080	(Aylikci and al, 2015)						
	0.1568±0.0080	(Aylikci and al, 2015)						

	0.1411±0.0072 0.1598±0.0081 0.1580±0.0060	(Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Öz and al, 2000)					
65, Tb	0.1880±0.0160 0.1656±0.0084 0.1591±0.0081 0.1499±0.0076 0.1638±0.0084 0.1630±0.0070 0.1620±0.0060 0.1690±0.0050	(McGeorge and al, 1970) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Özdemir and Durak, 2003) (Kaya and al, 2001) (Öz and al, 2000)	0.1651	0.1635	0.0108	0.0070	0.0038
66, Dy	0.1450±0.0550 0.1720±0.0120 0.1748±0.0089 0.1742±0.0089 0.1582±0.0081 0.1734±0.0088 0.1750±0.0110 0.1700±0.0100	(Zimmerli and Flammersfeld, 1963) (Han and al, 2007) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Özdemir and Durak, 2003) (Öz and al, 2002)	0.1678	0.1703	0.0107	0.0069	0.0038
67, Ho	0.1690±0.0300 0.1800±0.0200 0.2200±0.0300 0.1800±0.0130 0.1831±0.0093 0.1853±0.0095 0.1677±0.0086 0.1850±0.0094 0.1840±0.0100 0.1820±0.0050 0.1720±0.0100 0.1810±0.0150	(Holmes and al, 1970) (Gnade and al, 1980) (Jopson and al, 1964) (Han and al, 2007) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Özdemir and Durak, 2003) (Kaya and al, 2001) (Turhan and al, 2014) (Öz and al, 2000)	0.1824	0.1805	0.0133	0.0070	0.0038
68, Er	0.1920±0.0300 0.1940±0.0080 0.1930±0.0140 0.1720±0.0320 0.2100±0.0300 0.1939±0.0099 0.1902±0.0097 0.1785±0.0091 0.1947±0.0099 0.1930±0.0100 0.1890±0.0100 0.1950±0.0050 0.1820±0.0160 0.1890±0.0170 0.1900±0.0170	(Şahin and al, 2000) (Barrea and al, 2002) (Han and al, 2007) (Holmes and al, 1970) (Jopson and al, 1964) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Özdemir and Durak, 2003) (Öz and al, 2000) (Kaya and al, 2001) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012)	0.1904	0.1916	0.0085	0.0055	0.0022
69, Tm	0.1980±0.0101 0.1947±0.0099 0.1852±0.0094 0.2051±0.0105	(Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015)	0.1958	0.1952	0.0083	0.0072	0.0041
70, Yb	0.1830±0.0110 0.1830±0.0110 0.2200±0.0070 0.1450±0.0300 0.2270±0.0220 0.2180±0.0160 0.2000±0.0200 0.2240±0.0150 0.2130±0.0110 0.2010±0.0170 0.2100±0.0180 0.2100±0.0180	(Mohan and al, 1970) (McGeorge and al, 1971) (McNelles and al, 1975) (McNelles and al, 1975) (Tan and al, 1988) (Durak and Ozdemir, 2001) (Jopson and al, 1964) (Kaya and al, 2001) (Öz and al, 2000) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012)	0.2028	0.2068	0.0232	0.0177	0.0067
71, Lu	0.2200±0.0300 0.2510±0.0350 0.2240±0.0130 0.2220±0.0113 0.2073±0.0106 0.1949±0.0099	(Jopson and al, 1964) (Price and al, 1968) (Durak and Ozdemir, 2001) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015)	0.2245	0.2177	0.0150	0.0158	0.0045

	0.2258±0.0115	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2400±0.0160	(Turhan and al, 2014)					
	0.2210±0.0190	(Kacal and al, 2012)					
	0.2310±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
	0.2320±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
72, Hf	0.2220±0.0090	(Werner and Jitschin, 1988)	0.2236	0.2230	0.0108	0.0101	0.0038
	0.2280±0.0250	(Price and al, 1968)					
	0.2200±0.0300	(Jopson and al, 1964)					
	0.2376±0.0121	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2192±0.0112	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2020±0.0103	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2336±0.0119	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2260±0.0070	(Öz and al, 2000)					
73, Ta	0.2280±0.0130	(Mohan and al, 1970a)	0.2401	0.2390	0.0123	0.0105	0.0028
	0.2330±0.0090	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.2500±0.0400	(Şahin and al, 2000)					
	0.2420±0.0200	(Ertuğrul, 2001a)					
	0.2300±0.0200	(Roos, 1959)					
	0.2540±0.0250	(Price and al, 1968)					
	0.2410±0.0100	(Xu, 1991)					
	0.2700±0.0100	(Rao and Crasemann, 1965a)					
	0.2500±0.0300	(Jopson and al, 1964)					
	0.2448±0.0125	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2279±0.0116	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2113±0.0108	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2435±0.0124	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2420±0.0100	(Öz and al, 2000)					
	0.2300±0.0190	(Kacal and al, 2012)					
	0.2390±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
	0.2400±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
	0.2430±0.0160	(Ertugrul, 2001)					
	0.2430±0.0160	(Ertugrul, 1998)					
74, W	0.2450±0.0100	(Werner and Jitschin, 1988)	0.2556	0.2482	0.0202	0.0131	0.0046
	0.2820±0.0500	(Şahin and al, 2000)					
	0.2500±0.0200	(Ertuğrul, 2001a)					
	0.2720±0.0370	(Price and al, 1968)					
	0.2460±0.0100	(Xu, 1991)					
	0.2523±0.0129	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2330±0.0119	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2210±0.0113	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2528±0.0129	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3160±0.0250	(Kaya and al, 2001)					
	0.2760±0.0160	(Turhan and al, 2014)					
	0.2580±0.0130	(Cengiz and al, 2010)					
	0.2440±0.0090	(Ertugrul and al, 2002)					
	0.2550±0.0180	(Öz and al, 2000)					
	0.2420±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
	0.2530±0.0210	(Kacal and al, 2012)					
	0.2530±0.0210	(Kacal and al, 2012)					
	0.2530±0.0170	(Ertugrul, 2001)					
	0.2530±0.0170	(Ertugrul, 1998)					
75, Re	0.2570±0.0100	(Xu, 1991)	0.2545	0.2480	0.0185	0.0183	0.0056
	0.2840±0.0430	(Price and al, 1968)					
	0.2160±0.0110	(Söğüt and al, 2009)					
	0.2631±0.0134	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2469±0.0126	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2292±0.0117	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2611±0.0133	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2630±0.0200	(Ertugrul, 2001a)					
	0.2510±0.0130	(Cengiz and al, 2010)					
	0.2640±0.0190	(Ertugrul, 2001)					
	0.2640±0.0190	(Ertugrul, 1998)					
76, Os	0.2380±0.0120	(Söğüt and al, 2009)	0.2687	0.2657	0.0209	0.0199	0.0060
	0.2900±0.0300	(Price and al, 1968)					
	0.3010±0.0200	(Mohan and al, 1973)					
	0.2850±0.0110	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.2726±0.0139	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2522±0.0129	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2389±0.0122	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2751±0.0140	(Aylikci and al, 2015)					

	0.2850±0.0110	(Durak and Özdemir, 2001)					
	0.2560±0.0130	(Cengiz and al, 2010)					
	0.2500±0.0190	(Kacal and al, 2012)					
	0.2800±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
77, Ir	0.3050±0.0210	(Rao, 1988)	0.2742	0.2732	0.0220	0.0204	0.0070
	0.2740±0.0100	(Xu, 1991)					
	0.2620±0.0360	(Price and al, 1968)					
	0.2860±0.0110	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.2920±0.0110	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.2330±0.0120	(Söğüt and al, 2009)					
	0.2891±0.0147	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2650±0.0135	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2491±0.0127	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2872±0.0146	(Aylikci and al, 2015)					
78, Pt	0.3040±0.0260	(Han and al, 2007)	0.2925	0.2861	0.0190	0.0207	0.0045
	0.2840±0.0110	(Xu, 1991)					
	0.3170±0.0290	(Price and al, 1968)					
	0.2910±0.0180	(Mohan and al, 1971)					
	0.3090±0.0200	(Mohan and al, 1973)					
	0.2860±0.0070	(McGhee and Campbell, 1988)					
	0.2940±0.0120	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.2750±0.0300	(Roos, 1959)					
	0.3100±0.0400	(Jopson and al, 1964)					
	0.2340±0.0110	(Söğüt and al, 2009)					
	0.3096±0.0158	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3020±0.0154	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3022±0.0154	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2910±0.0148	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2810±0.0140	(Cengiz and al, 2010)					
	0.2770±0.0200	(Kacal and al, 2012)					
	0.3030±0.0220	(Kacal and al, 2012)					
	0.2960±0.0220	(Kacal and al, 2012)					
79, Au	0.2400±0.0200	(Päschke, 1963)	0.3078	0.3139	0.1359	0.0875	0.0283
	0.3190±0.0280	(Han and al, 2007)					
	0.3200±0.0300	(Roos, 1959)					
	0.3100±0.0400	(Jopson and al, 1964)					
	0.2960±0.0110	(Xu, 1991)					
	0.3170±0.0250	(Price and al, 1968)					
	0.3200±0.0100	(Jitschin and al, 1985)					
	0.3070±0.0120	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.3440±0.0060	(Şahin and al, 2000)					
	0.2500±0.0130	(Söğüt and al, 2009)					
	0.3172±0.0162	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3071±0.0157	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2776±0.0142	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3084±0.0157	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3500±0.0280	(Kaya and al, 2001)					
	0.3310±0.0130	(Ertugrul and al, 2002)					
	0.3190±0.0160	(Öz and al, 2000)					
	0.3100±0.0110	(Kolbe and al, 2012)					
	0.2830±0.0210	(Kacal and al, 2012)					
	0.3050±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.2990±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.3240±0.0220	(Ertugrul, 2001)					
	0.3240±0.0220	(Ertugrul, 1998)					
80, Hg	0.3000±0.0100	(Palms and al, 1970)	0.3255	0.3167	0.1271	0.0944	0.0271
	0.3670±0.0500	(Price and al, 1968)					
	0.3310±0.0160	(Durak and Özdemir, 2001)					
	0.3120±0.0120	(McGhee and Campbell, 1988)					
	0.3450±0.0600	(Şahin and al, 2000)					
	0.3100±0.0120	(Xu, 1991)					
	0.3420±0.0100	(Haynes and Achor, 1955)					
	0.4000±0.0200	(Rao and Crasemann, 1965)					
	0.3200±0.0500	(Jopson and al, 1964)					
	0.2570±0.0130	(Söğüt and al, 2009)					
	0.3313±0.0169	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3144±0.0160	(Aylikci and al, 2015)					
	0.2810±0.0143	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3197±0.0163	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3450±0.0190	(Turhan and al, 2014)					
	0.3670±0.0290	(Ertugrul and al, 2002)					

	0.3360±0.0200	(Öz and al, 2000)					
	0.2930±0.0220	(Kacal and al, 2012)					
	0.3110±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.3060±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.3460±0.0220	(Ertugrul, 2001)					
	0.3260±0.0220	(Ertugrul, 1998)					
81, Tl	0.3060±0.0100	(Wood and al, 1969)	0.3380	0.3264	0.1479	0.1113	0.0308
	0.3400±0.0160	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.3220±0.0120	(McGhee and Campbell, 1988)					
	0.3300±0.0210	(Mohan and al, 1971)					
	0.3930±0.0700	(Şahin and al, 2000)					
	0.3300±0.0200	(Winkenbach, 1958)					
	0.3700±0.0600	(Jopson and al, 1964)					
	0.3240±0.0130	(Xu, 1991)					
	0.3860±0.0530	(Price and al, 1968)					
	0.2640±0.0130	(Söğüt and al, 2009)					
	0.3520±0.0320	(Han and al, 2007)					
	0.3488±0.0178	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3286±0.0168	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3004±0.0153	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3236±0.0165	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3560±0.0140	(Kaya and al, 2001)					
	0.3670±0.0290	(Ertugrul and al, 2002)					
	0.3470±0.0100	(Öz and al, 2000)					
	0.3230±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.3410±0.0240	(Kacal and al, 2012)					
	0.3380±0.0240	(Kacal and al, 2012)					
	0.3420±0.0220	(Ertugrul, 2001)					
	0.3420±0.0200	(Ertugrul, 1998)					
82, Pb	0.3150±0.0130	(Rao and al, 1969)	0.3422	0.3430	0.1836	0.1459	0.0360
	0.3510±0.0230	(Arora and al, 1981)					
	0.3470±0.0050	(Kodre and al, 1981)					
	0.3020±0.0210	(Tan and al, 1982)					
	0.3400±0.0140	(McGhee and Campbell, 1988)					
	0.3460±0.0140	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.3790±0.0500	(Şahin and al, 2000)					
	0.3640±0.0180	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.3500±0.0500	(Jopson and al, 1964)					
	0.3580±0.0330	(Han and al, 2007)					
	0.3400±0.0180	(Fink and Freund, 1971)					
	0.3500±0.0400	(Roos, 1959)					
	0.3400±0.0140	(Xu, 1991)					
	0.2820±0.0140	(Söğüt and al, 2009)					
	0.3555±0.0181	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3433±0.0175	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3123±0.0159	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3349±0.0171	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3760±0.0110	(Ertugrul and al, 2002)					
	0.3550±0.0140	(Öz and al, 2000)					
	0.3690±0.0130	(Kolbe and al, 2012)					
	0.3200±0.0220	(Kacal and al, 2012)					
	0.3360±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.3330±0.0230	(Kacal and al, 2012)					
	0.3490±0.0230	(Ertugrul, 2001)					
	0.3490±0.0230	(Ertugrul, 1998)					
83, Bi	0.3400±0.0180	(Freund and Fink, 1969)	0.3598	0.3525	0.0868	0.0676	0.0194
	0.3200±0.0180	(Weksler and al, 1973)					
	0.3300±0.0200	(Maio and al, 1975)					
	0.3620±0.0600	(Şahin and al, 2000)					
	0.3700±0.0500	(Jopson and al, 1964)					
	0.4000±0.0500	(Ross and al, 1955)					
	0.3740±0.0340	(Han and al, 2007)					
	0.2880±0.0150	(Söğüt and al, 2009)					
	0.3729±0.0190	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3593±0.0183	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3281±0.0167	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3504±0.0179	(Aylikci and al, 2015)					
	0.3730±0.0210	(Turhan and al, 2014)					
	0.3890±0.0190	(Ertugrul and al, 2002)					
	0.3700±0.0110	(Öz and al, 2000)					
	0.3740±0.0250	(Kacal and al, 2012)					
	0.3920±0.0260	(Kacal and al, 2012)					

	0.3860±0.0260 0.3590±0.0270 0.3590±0.0270	(Kacal and al, 2012) (Ertugrul, 2001) (Ertugrul, 1998)						
86, Rn	0.3840±0.0200	(McGeorge and al, 1973)	0.3840	0.3840	-	Undefined	-	
88, Ra	0.4080±0.0270 0.4380±0.0220	(McGeorge and al, 1973) (Campbell and al, 1974)	0.4230	0.4260	0.0212	0.0150	0.0150	
90, Th	0.3480±0.0500 0.4300±0.0300 0.4640±0.0140 0.4190±0.0210 0.4680±0.0239 0.4230±0.0216 0.4151±0.0212 0.4276±0.0218 0.4800±0.0190 0.4510±0.0290 0.4630±0.0300 0.4510±0.0290 0.3460±0.0260 0.3460±0.0260	(Şahin and al, 2000) (Kumar and al, 2002) (Durak and Ozdemir, 2001) (Söğüt and al, 2009) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) Ertugrul and al, 2002) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012) (Ertugrul, 2001) (Ertugrul, 1998)	0.4237	0.4340	0.0462	0.0411	0.0123	
92, U	0.4810±0.0290 0.3980±0.0120 0.4750±0.0700 0.4400±0.0300 0.5180±0.0130 0.4330±0.0220 0.4850±0.0247 0.4393±0.0224 0.4309±0.0220 0.4459±0.0227 0.4720±0.0280 0.5060±0.0300 0.4600±0.0290 0.4640±0.0300 0.4580±0.0290 0.4720±0.0280 0.4720±0.0280	(McGeorge and al, 1972) (McGhee and Campbell, 1988) (Şahin and al, 2000) (Kumar and al, 2002) (Durak and Ozdemir, 2001) (Söğüt and al, 2009) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Aylikci and al, 2015) (Ertugrul, 2006) (Ertugrul and al, 2002) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012) (Kacal and al, 2012) (Ertugrul, 2001) (Ertugrul, 1998)	0.4618	0.4562	0.0292	0.0411	0.0071	
93, Np	0.4800±0.0200	(Weksler and al, 1973)	0.4800	0.4800	-	Undefined	-	
94, Pu	0.5090±0.0290 0.4840±0.0170	(McGeorge and al, 1973) (Campbell and al, 1974)	0.4965	0.4904	0.0177	0.0125	0.0088	
96, Cm	0.5150±0.0340 0.4590±0.0240	(McGeorge and Fink , 1971) (McGhee and Campbell, 1988)	0.4870	0.4776	0.0396	0.0280	0.0198	

**Bibliographies**

Aylikci V, Kahoul A, Aylikci NK, Tiraşođlu E, Karahan IH, Abassi A, Dogan M. Empirical and semi-empirical interpolation of L X-ray fluorescence parameters for elements in the atomic range  $50 \leq Z \leq 92$ . *Radiation Phys Chem.* 2015; 106: 99–125.

Arora SK, Allawadhi KL, Sood BS. Measurement of  $L_{III}$  Subshell Fluorescence Yields in Pb, Th and U. *J. Phys. Soc. Jap.* 1981; 50: 251-254.

Artamonova KP, Valiev FF, Grigorev EP, Zolotavin AV, Sergeev VO, Tulina TA. Fluorescence and Auger Electron Yields for L-Subshell following  $^{151}\text{Gd}$  Decay. *Ukr. Fiz. Zh. USSR.* 1983; 28: 1447.

Auerhammer J, Genz H, Richter A. Measurements of L-Subshell Fluorescence Yields for Light and Medium Heavy Elements  $28 \leq Z \leq 47$ . *Z. Phys.* 1988; D7: 301.

Badiger NM, Bonzi EV. Experimental determination of L subshell fluorescence yields of Ba, La and Pr using synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Phys Research.* 2006; B 243: 34–37.

Barrea RA, Pérez CA, Sanchez HJ. Determination of L-subshell Coster–Kronig and fluorescence yields of lanthanum and praseodymium by synchrotron radiation photoionization. *Spectrochimica Acta Part.* 2003; B58: 51–62.

Barrea RA, Pérez CA, Sánchez HJ. Erbium L-subshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 2002; 35: 3167.

Bonzi EV, Badiger NM. Measurement of L subshell fluorescence yields of elements in the range  $45 \leq Z \leq 50$  using synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Phys Research.* 2006; B248: 242–246.

Budick B, Derman S. L-Subshell Fluorescence Yields for Silver and Tellurium. *Phys. Rev. Lett.* 1972; 29: 1055.

Burford AO, Haynes SK. L Auger and Coster-Kronig Transition Yields for  $\text{Cs}^{137}$ - $\text{Ba}^{137}$ . *Bull. Am. Phys. Soc.* 1958; 3: 208.

Campbell JL, McNelles LA, Geiger JS, Graham RL, Merritt JS. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition rates at  $Z=88$  and 94. *Can. J. Phys.* 1974 ; 52 : 488-498.

Cengiz E, Tirasoglu E, Aylikci V, Apaydin G, Aylikci AK. Investigation on L-shell X-ray fluorescence parameters for heavy elements and compounds. Chem Phys Lett. 2010; 498: 107–112.

Douglas DG, Can. J. Phys. 1972; 50: 1697.

Douglas DG. Can. J. Phys. 1973; 5: 1519.

Durak R, Ozdemir Y. Experimental determination of L-subshell fluorescence yields for heavy elements at 59.54 keV. J ANAL ATOM SPECTROM. 2001; 16: 1167-1171.

Ertuğrul M. Measurement of L-subshell X-ray fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields for the elements in the atomic  $73 \leq Z \leq 92$  at 60 KeV. Instrumentation Science & Technology. 2001; 29: 215-222.

Ertuğrul M. Measurement of L-subshell X-ray fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields for the elements in the atomic  $73 \leq Z \leq 92$  at 60 KeV. J Radioanalytical Nucl Chem. 1998; 237: 139-142.

Ertuğrul M. Measurements of L<sub>3</sub> $\alpha$ , L<sub>3</sub> $\beta$ , L<sub>2</sub> $\beta$ , L<sub>2</sub> $\gamma$ , L<sub>1</sub> $\beta$ , L<sub>1</sub> $\gamma$ , L $\beta$ , L $\gamma$ , L<sub>1</sub>x, L<sub>2</sub>x and L<sub>3</sub>x x-ray production cross sections and L subshell fluorescence yields for Re, W and Ta at 59.5 keV. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2001a; 34: 2081–2088.

Ertugrul M, Kaya A, Doğan O, Turgu Ü, Şimşek Ö, Soğüt Ö, Karagoz D. Measurement of L subshell x-ray production cross-sections at energy 31.635 keV and L subshell fluorescence yields for elements  $74 \leq Z \leq 92$ . X-Ray Spectrom. 2002; 31: 53–56.

Ertugrul M, Şimşek Ö. Determination of L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> subshell fluorescence yields of some elements in the atomic number range  $22 \leq Z \leq 62$ . Radiat Phys Chem. 2002; 65: 205-209.

Fink RW, Freund HU. Bismuth L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields from Decay of Pb<sup>210</sup> (RaD). Phys. Rev. 1971; C 3: 1701.

Freund HU, Fink RW. Bismuth L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities from Decay of Pb<sup>210</sup> (RaD). Phys. Rev. 1969; 178: 1952.

Gnade BE, Braga RS, Fink RW. L<sub>2</sub>, 3-subshell x-ray fluorescence and Coster-Kronig yields at Z=64 and 67. Phys. Rev. 1980; C21: 2025.

Han I, Demir L, Agbaba M. Measurements of L X-ray production cross sections, L subshell fluorescence yields and K to L shell vacancy transfer probabilities. Radiation Phys Chem. 2007; 76: 1551–1559.



Haynes SK, Achor WT. Une étude des électrons Auger du niveau L émis dans la désintégration de  $^{199}\text{Au}$ . Phys. Radium. 1955; 16: 635-637.

Holmes CP, Kostroun VO. Bull. Am. Phys. Soc. 1970; 15: 561.

Hribar M, Kodre A, Pahor J. The Study of the L-Shell Fluorescence Yields of Xenon. Physica. 1977; 92C:143.

Jitschin W, Materlik G, Werner U, Funke P. Coster-Kronig and fluorescence yields of Au L subshells derived from photoionization measurements. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 1985; 18:1139.

Jitschin W, Stötzel R, Papp T, Sarkar M. Coster-Kronig, fluorescence, and Auger yields of the  $^{47}\text{Ag}$  L subshells measured through synchrotron photoionization. Phys. Rev. 1999; A59: 3408.

Jopson RC, Khan JM, mark H, Swift CD, Williamson MA. Fluorescence Yields of the LII and LIII Shells in Heavy Elements. Phys. Rev. 1964; A381: 133.

Kacal MR, Han I, Akman F, Durak R. Measurement of L subshell fluorescence yields for high-Z elements excited by 22.6keV photons. J Quantitative Spectros. Radiative Transfer. 2012; 113: 373–381.

Kaya A, Ertuğrul M, Doğan O, Soğüt Ö, Turgu Ü, Şimşek Ö. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross-sections at 59.54 keV and L subshell fluorescence yields for elements in the atomic range  $55 \leq Z \leq 81$ . Anal Chim Acta. 2001; 441: 317–323.

Kodre A, Hribar M, Ajlec B, Pahor J. L-subshell fluorescence yields of lead. Z. Phys. 1981; A303: 23-26.

Kolbe M, Hönicke P. Fundamental parameters of Zr and Ti for a reliable quantitative X-ray fluorescence analysis. X-Ray Spectrom. 2015.

Kolbe M, Hönicke P, Muler M, Beckhoff B. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition probabilities with a reliable uncertainty budget for selected high- and medium-Z elements. Phys. Rev. 2012; A86: 042512.

Lee PL, Salem SI. Widths and asymmetries of the  $K \alpha_1$  and  $K \alpha_2$  x-ray lines and the L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> fluorescence yields of the transition elements. Phys. Rev. 1974; A10: 2027.

Maio A, Ribeiro JP, Barroso A, Barroso, F.B. L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> subshell yields of bismuth. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 1975; 8: 1216.

Markevich D, Budick B. Fluorescence yields for the rhodium L shell. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1981; 14: 1553.

McGeorge JC, Fink RW.  $L_2$  and  $L_3$  Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields for  $Z=96$  from the Decay of  $^{249}\text{Cf}$ . *Z. Phys.* 1971; 248: 208.

McGeorge JC, Freund HU, Fink RW. Decay of  $^{159}\text{Dy}$ : L-Subshell X-Ray Fluorescence and Coster-Kronig Yields at  $Z = 65$ ; Branching Ratio, and K-Conversion of the 58 keV Transition in  $^{159}\text{Tb}$ . *Nucl. Phys.* 1970; A154: 526-538.

McGeorge JC, Mohan S, Fink RW. *Phys. Rev.* 1971; A 4: 1317.

McGeorge JC, Nix DW, Fink RW. Coster-Kronig and Fluorescence Yields for the  $L_2$  and  $L_3$  Subshells in The High-Z Region. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1973; 6: 573.

McGeorge JC, Nix DW, Fink RW. L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields at  $Z = 92$  and the Decay of  $^{235}\text{Np}$ . 1972; 255: 335.

McGhee L, Campbell JL. Measurement of Coster-Kronig and fluorescence yields of the  $L_2$  and  $L_3$  subshells of heavy atoms. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 1988; 21: 2295.

McNelles LA, Campbell JL, Geiger JS, Graham RL, Merritt JS. L Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transitions at  $Z = 70$ . *Can. J. Phys.* 1975; 53: 1349.

Mohan S, Fink RW, Wood RE, Palms JM, Rao PV. Electron Capture Decay of  $^{181}\text{W}$ : L Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Ta. *Z. Phys.* 1970a; 239: 423.

Mohan S, Freund HU, Fink RW, Rao PV. Decays of  $\text{Tm}^{170}$  and  $\text{Tm}^{171}$ :  $L_2$  and  $L_3$  Subshell-Fluorescence Yields, Coster-Kronig Transition Probabilities, and K-Shell Conversion Coefficients in Yb. *Phys. Rev.* 1970; C1: 254.

Mohan, JC. McGeorge, R.W. Fink, *Bull. Am. Phys. Soc.* 1971; 16: 579.

Mohan S, Schmidt-Ott WD, McGeorge JC, Fink RW, Manson ST, Palms JM, Rao PV. (U.S. Atomic Energy Commission, Inner Shell Ionization Phenomena and Future Applications. 1973; p: 244.

Öz E, Özdemir, Ekinçi N, Ertugrul M, Sahin Y, Erdogan H. Measurement of atomic L shell fluorescence ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) and Auger ( $a_1$ ,  $a_2$  and  $a_3$ ) yields for some elements in the atomic number range  $59 \leq Z \leq 85$ . Spectrochim Acta Part. 2000; B55: 1869-1877.

Özdemir Y, Durak R. L-subshell fluorescence yields ( $w_1$ ,  $w_2$  and  $w_3$ ) for elements in the atomic range  $55 \leq Z \leq 68$  with a Si (Li) detector. J of Quantitative Spectroscopy & Rad Transfer. 2003; 77: 95–103.

Palms JM, Wood RE, Rao PV, Kostroun VO. Fluorescence and Coster-Kronig Yields of L Subshells in Hg from the Decay of  $^{198}\text{Au}$  and  $^{204}\text{Tl}$ . Phys. Rev. 1970; C 2: 592.

Päschke R. Z Physik. 1963; 176: 143-154.

Price RE, Mark H, Swift CD. Measurements of L2 and L3 subshell fluorescence yields in heavy elements. Phys. Rev. 1968; 176: 3-10.

Rao PV. Bull. Am. Phys. Soc. 1988; 33: 943.

Rao PV, Crasemann B. L2-L3N Coster-Kronig Transition Probabilities and L-Subshell Fluorescence Yields of Hg and Ta. Phys. Rev. 1965a; A1926: 139.

Rao PV, Crasemann B. L/K X-Ray Intensity Ratio in the Decay of  $\text{Tl}^{204}$  and L-Shell Fluorescence Yields of Hg. Phys. Rev. 1965; B64: 137.

Rao PV, Wood RE, Palms, Rao PV. L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Tl. Phys. Rev. 1969; 187: 1497.

Roos CE. Private communication to B. L. Robinson, quoted in RF-60. 1959.

Ross MAS, Cochran AJ, Hughes J, Feather N. Proc. Phys. Soc. (London). 1955; A68: 612.

Şahin M, Demir L, Söğüt Ö, Ertugrul M, İçelli O. L-subshell fluorescence cross-sections and L subshell fluorescence yields in elements  $68 \leq Z \leq 92$  by 59.5 keV photons. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2000; 33: 93-98.

Söğüt Ö, Apaydın G, Şimşek Ö, Cengiz E, Saydam M. Kıp N, Tıraşoğlu E. Measurement of L subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range  $75 \leq Z \leq 92$  using photoionization. Radiation Physics and Chemistry. 2009; 78(5):307-310.

Soğüt Ö, Ertugrul M, Büyükkasap E. L-Subshell Fluorescence Yield Ratios,  $w_1/w_2$ ,  $w_1/w_3$  and  $w_2/w_3$ , for the Elements  $55 \leq Z \leq 92$ . X-ray Spectrom. 2001; 30: 427-430.

- Sorensen SL, Schaphorst SJ, Whitfield SB, Crasemann B, Carr R. Phys. Rev. 1991 ; A 44 : 350.
- Stötzel R, Werner U, Sarkar M, Jitschin W. Fluorescence, Coster-Kronig and Auger yields of the Sm L subshells measured with the synchrotron photoionization method. 1. Phys. At. Mol. Opt. Phys. ZS. 1992; 8:2295-2307.
- Tan M, Braga RA, Fink RW, Rao PV. X-Ray Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of the L1, L2 and L3 subshells of Pb. Phys. Scripta 1982; 25: 536-547.
- Tan M, Braga RA, Fink RW, Rao PV. L<sub>2,3</sub> Subshell X-Ray Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Nd and Yb. Phys. Scripta. 1988; 37: 62-65.
- Turhan MF, Durak R, Akman F. Determination of L X-ray fluorescence parameters for Ho, Lu, W, Hg and Bi. Applied Radiation and Isotopes 2014; 89: 151-158.
- Von Dincklage RD, Hay HJ. Atomic L-subshell yields from the electron capture decays of  $\{_{65}^{157}\}$  Tb and  $\{_{65}^{158}\}$  Tb. Z. Phys. 1985; A321: 375-380.
- Weksler M, de Pinho AG. X-Ray Spectra, L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Bismuth and Neptunium. Rev. Bras. Fis. 1973; 3: 291.
- Werner U, Jitschin W. L. Vacancy Decay in Heavy Elements ( $72 \leq Z \leq 82$ ) by the Synchrotron Photo-ionization Method. Phys. Rev. 1988; A38: 4009-4018.
- Winkenbach H. Z. Physik. 1958; 152: 387-396.
- Wood RE, Palms JM, Rao PV. Decay of Hg203: L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Tl. Phys. Rev. 1969; 187: 1497.
- Xu JQ. L-Subshell Fluorescence Yields for Elements with  $73 \leq Z \leq 83$ . Phys. Rev. 1991; A43: 4771-4779.
- Zimmerli T, Flammersfeld A. Z. Physik. 1963; 176: 323-328.

# Chapitre III

*Calculs empiriques des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  pour des éléments avec  $23 \leq Z \leq 96$*

### III/ Calculs empiriques des rendements de fluorescence de la sous-couche $L_3$ pour des éléments avec $23 \leq Z \leq 96$

#### III.1/ Introduction

Nous avons utilisé le logiciel « Excel » pour calculer les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ ) des éléments avec  $23 \leq Z \leq 96$  en utilisant les valeurs moyennes pondérées  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-W}$  et non-pondérées  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-UNW}$ .

Dans ce travail, nous présentons les méthodes de calculs des rendements de fluorescence  $(\bar{\omega}_{L_3})$  des éléments avec  $23 \leq Z \leq 96$  en utilisant des formules qui ont été publiées auparavant dans des importantes références (Kahoul et al, 2012), (Kahoul et al, 2014) et (Aylikci et al, 2015). Nous avons utilisé la quantité  $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3}}{1-\bar{\omega}_{L_3}}\right)^{1/4}$ , on plus des méthodes de calcul simple (directe) pour calculer  $(\bar{\omega}_{L_3})$ .

Les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ ) ont été déduites par l'interpolation des valeurs expérimentales moyennes des rendements de fluorescence pondérés et non-pondérés en utilisant des fonctions analytiques en fonction du nombre atomique  $Z$ .

Finalement, une comparaison entre nos valeurs empiriques et celles présentées par d'autres auteurs : (Krause, 1979), (Puri et al, 2002) et (Campbell, 2003) a été faite.

#### III.2/ Méthodes et résultats

Nous présentons des nouveaux paramètres pour le calcul des rendements de fluorescence de la sous-couche ( $L_3$ ) pour des éléments atomiques avec  $23 \leq Z \leq 96$ . La base de données utilisée dans ce travail se fonde sur les différentes compilations disponibles dans les publications scientifiques: Ross et al (1955), Haynes et Achor (1955), Winkenbach (1958), Burford et al (1958), Roos (1959), Zimmerli et Flammersfeld (1963), Päsche, (1963), Jopson et al (1964), Rao et Crasemann (1965a), Rao et Crasemann (1965), Price et al (1968), Wood et al (1969), Rao et al (1969), Freund et Fink (1969), McGeorge et al (1970), Holmes et al (1970), Mohan et al (1970), Mohan et al (1970a), Palms et al (1970), McGeorge et Fink (1971), McGeorge et al (1971), Mohan et al (1971), Fink et Freund (1971), Budick et Derman (1972), Douglas (1972), McGeorge et al (1972), Douglas (1973), McGeorge et al (1973), Mohan et al (1973), Weksler et al (1973), Lee et Salem (1974), Campbell et al (1974), McNelles et al (1975), Maio et al (1975), Hribar et al (1977). Gnade et al

(1980), Markevich et Budick (1981), Arora et al (1981), Kodre et al (1981), Tan et al (1982), Artamonova et al (1983), Von Dincklage et Hay (1985), Jitschin et al (1985), Auerhammer et al (1988), Tan et al (1988), Werner et Jitschin (1988), Rao (1988), McGhee et Campbell (1988), Sorensen et al (1991), Xu (1991), Stötzel and al (1992), Ertuğrul (1998), Jitschin et al (1999), Öz et al (2000), Şahin et al (2000), Söğüt and al (2001), Kaya et al (2001), Durak et Özdemir (2001), Ertuğrul (2001), Ertuğrul (2001a), Ertugrul and al (2002), Ertugrul et Şimşek (2002), Kumar et al (2002), Öz and al (2002), Barrea and al (2002), Özdemir et Durak (2003), Barrea et al (2003), Badiger et Bonzi (2006), Bonzi et Badiger (2006), Ertugrul (2006), Han et al (2007), Söğüt et al (2009), Cengiz et al (2010), Kacal and al (2012), Kolbe and al (2012), Turhan et al (2014), Aylikci et al (2015), Koble and Hönicke (2015). Nous avons à notre disposition une base de données regroupant 429 valeurs.

Le calcul des rendements de fluorescence ( $\bar{\omega}_{L_3}$ ) sont basé sur la fameuse relation proposer par plusieurs auteurs:  $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3}}{1-\bar{\omega}_{L_3}}\right)^{1/4} = \sum_{n=0}^3 a_n Z^n$ . Nous avons présenté les quantités  $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3,W}}{1-\bar{\omega}_{L_3,W}}\right)^{1/4}$  et  $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3,UNW}}{1-\bar{\omega}_{L_3,UNW}}\right)^{1/4}$  en fonction du nombre atomique Z séparément. Les données expérimentales réduites  $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3,W}}{1-\bar{\omega}_{L_3,W}}\right)^{1/4}$  et  $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3,UNW}}{1-\bar{\omega}_{L_3,UNW}}\right)^{1/4}$  sont présentées sur les figures (III.1, III.2) en fonction du nombre atomique Z. La fonction analytique utilisée pour l'interpolation est le polynôme de degré trois:

$$\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3,W}}{1-\bar{\omega}_{L_3,W}}\right)^{1/4} = \sum_{n=0}^3 a_n Z^n \dots \dots \dots \text{Eq (III.1)}$$

et

$$\left(\frac{\bar{\omega}_{L_3,UNW}}{1-\bar{\omega}_{L_3,UNW}}\right)^{1/4} = \sum_{n=0}^3 b_n Z^n \dots \dots \dots \text{Eq (III.2)}$$

Les figures (III.1) et (III.2) montres les résultats selon l'équation (Eq.III.1) et (Eq.III.2) respectivement. Pour déduire les rendements moyens empiriques de fluorescence de la sous-couche ( $L_3$ ) des éléments dans la gamme  $23 \leq Z \leq 96$  pour les deux méthodes (Eq III.1) et (Eq III.2) on utilise les formules suivantes:

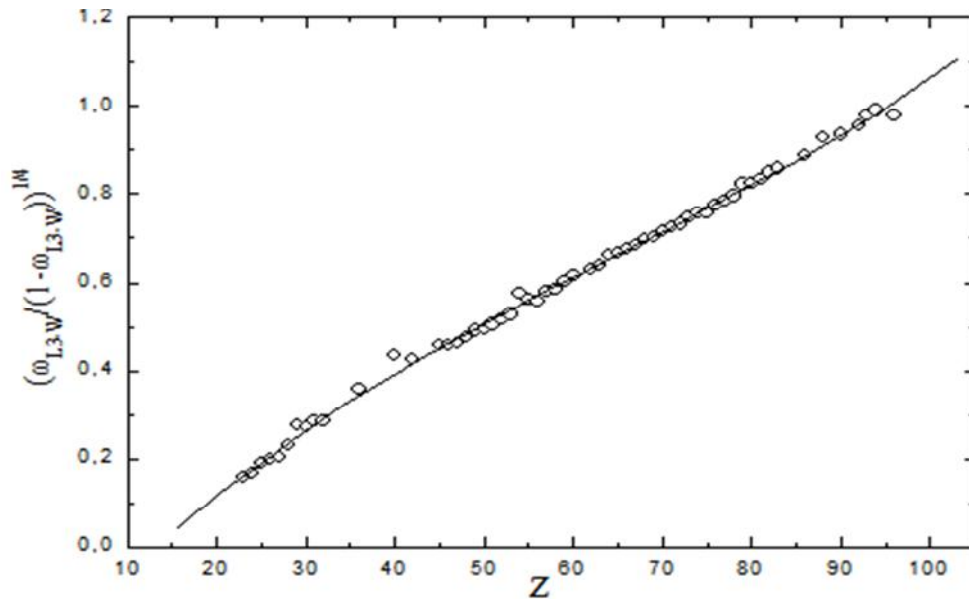
$$(\bar{\omega}_{L_3})_{emI-W} = \left(\frac{f^4(Z)}{1+f^4(Z)}\right) \quad \text{pour} \quad 23 \leq Z \leq 96 \dots \dots \dots \text{Eq (III.3)}$$

$$(\bar{\omega}_{L_3})_{emI-UNW} = \left(\frac{g^4(Z)}{1+g^4(Z)}\right) \quad \text{pour} \quad 23 \leq Z \leq 96 \dots \dots \dots \text{Eq (III.4)}$$

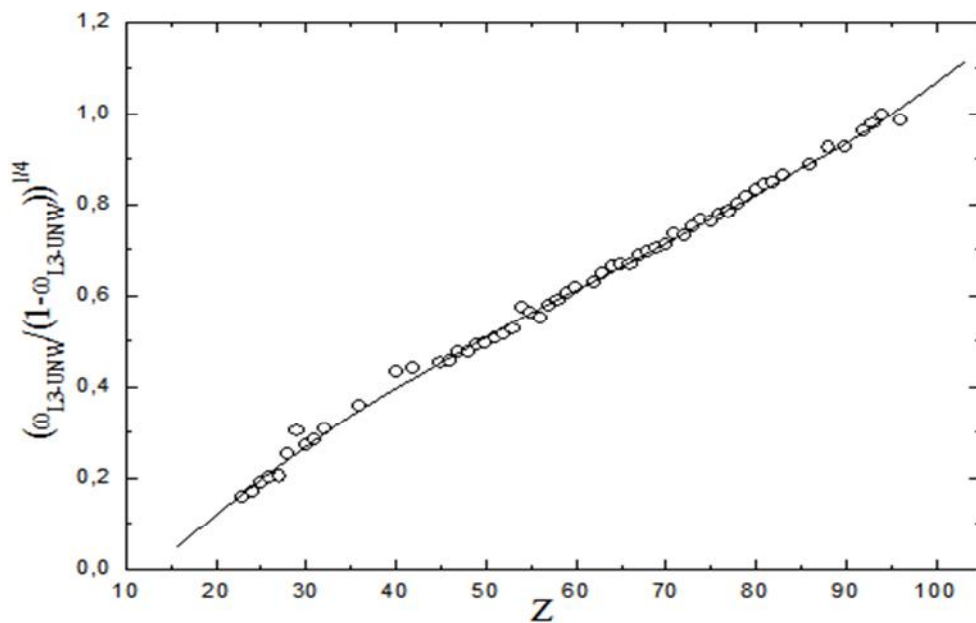
avec:

$$f(Z) = -0,26653 + 0,02243 Z - 1,86809 \times 10^{-4} Z^2 + 9,54496 \times 10^{-7} Z^3 \dots \dots \dots \text{Eq (III.5)}$$

$$g(Z) = -0,25953 + 0,02247 Z - 1,91576 \times 10^{-4} Z^2 + 9,964 \times 10^{-7} Z^3 \dots \dots \dots \text{Eq (III.6)}$$



**Figure III.1-** La distribution des rendements de fluorescence  $\left(\frac{\bar{I}_{L_3,W}}{1-\bar{I}_{L_3,W}}\right)^{1/4}$  en fonction des numéros atomiques  $Z$  tel que  $23 \leq Z \leq 96$ . Le fit est représenté en trait plein selon Eq (III.1).



**Figure III.2-** La distribution des rendements de fluorescence  $\left(\frac{\bar{I}_{L_3,UNW}}{1-\bar{I}_{L_3,UNW}}\right)^{1/4}$  en fonction du nombre atomique  $Z$  tel que  $23 \leq Z \leq 96$ . Le fit est représenté en trait plein à partir Eq (III.2).

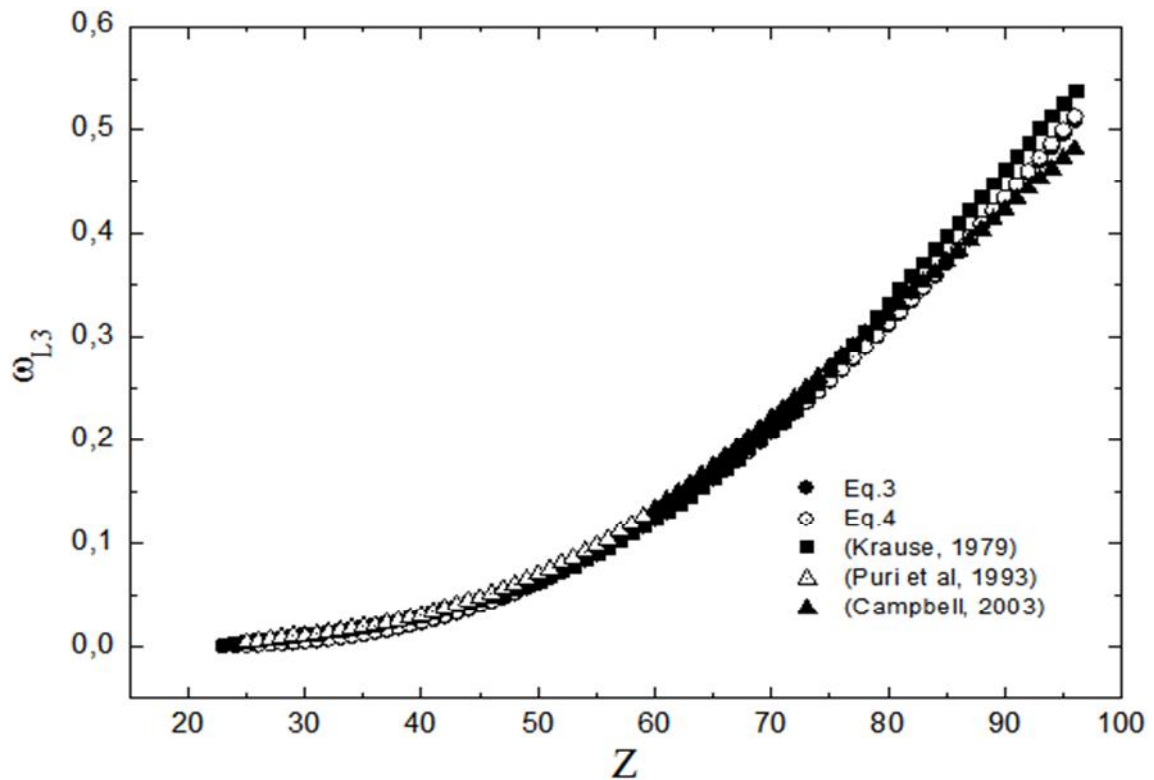
Nos valeurs des rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ ) pour les éléments atomiques de  $23 \leq Z \leq 96$  sont tabulées dans Tableau III.1.



**Table III.1-** rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ ) pour les éléments atomiques de 23  $Z$  96.

Z	Empirique (ce travail)		Autre calcul		
	Eq.III.3	Eq.III.4	(Krause, 1979)	(Puri and al, 1993)	(Campbell, 2003)
23	0.0007	0.0008	0.0026	--	--
24	0.0010	0.0011	0.0037	--	--
25	0.0014	0.0015	0.0050	0.0039	--
26	0.0018	0.0020	0.0063	0.0054	--
27	0.0024	0.0027	0.0077	0.0071	--
28	0.0031	0.0034	0.0093	0.0088	--
29	0.0039	0.0042	0.0110	0.0106	--
30	0.0048	0.0052	0.0120	0.0101	--
31	0.0059	0.0063	0.0130	0.0118	--
32	0.0071	0.0076	0.0150	0.0136	--
33	0.0085	0.0091	0.0160	0.0155	--
34	0.0101	0.0107	0.0180	0.0175	--
35	0.0118	0.0124	0.0200	0.0194	--
36	0.0137	0.0144	0.0220	0.0202	--
37	0.0158	0.0165	0.0240	0.0226	--
38	0.0181	0.0189	0.0260	0.0251	--
39	0.0206	0.0214	0.0280	0.0279	--
40	0.0233	0.0241	0.0310	0.0304	--
41	0.0262	0.0271	0.0340	0.0339	--
42	0.0293	0.0302	0.0370	0.0375	--
43	0.0326	0.0336	0.0400	0.0410	--
44	0.0361	0.0371	0.0430	0.0450	--
45	0.0399	0.0409	0.0460	0.0470	--
46	0.0439	0.0449	0.0490	0.0520	--
47	0.0481	0.0491	0.0520	0.0560	--
48	0.0525	0.0536	0.0560	0.0600	--
49	0.0572	0.0583	0.0600	0.0650	--
50	0.0621	0.0632	0.0640	0.0700	--
51	0.0672	0.0683	0.0690	0.0750	--
52	0.0726	0.0736	0.0740	0.0810	--
53	0.0782	0.0792	0.0790	0.0860	--
54	0.0840	0.0850	0.0850	0.0920	--
55	0.0900	0.0910	0.0910	0.0980	--
56	0.0963	0.0973	0.0970	0.1040	--
57	0.1028	0.1038	0.1040	0.1120	--
58	0.1095	0.1105	0.1110	0.1190	--
59	0.1165	0.1174	0.1180	0.1260	--
60	0.1237	0.1246	0.1250	0.1340	0.1340
61	0.1311	0.1320	0.1320	0.1420	0.1420
62	0.1387	0.1396	0.1390	0.1500	0.1500
63	0.1466	0.1474	0.1470	0.1580	0.1580
64	0.1547	0.1555	0.1550	0.1670	0.1670
65	0.1630	0.1638	0.1640	0.1750	0.1750

66	0.1715	0.1723	0.1740	0.1840	0.1840
67	0.1802	0.1810	0.1820	0.1930	0.1930
68	0.1892	0.1900	0.1920	0.2030	0.2030
69	0.1984	0.1991	0.2010	0.2120	0.2120
70	0.2077	0.2085	0.2100	0.2220	0.2220
71	0.2173	0.2181	0.2200	0.2310	0.2310
72	0.2271	0.2279	0.2310	0.2410	0.2410
73	0.2371	0.2379	0.2430	0.2510	0.2510
74	0.2473	0.2481	0.2550	0.2610	0.2610
75	0.2577	0.2586	0.2680	0.2710	0.2710
76	0.2683	0.2692	0.2810	0.2820	0.2820
77	0.2790	0.2800	0.2940	0.2920	0.2920
78	0.2900	0.2910	0.3060	0.3030	0.3030
79	0.3011	0.3022	0.3200	0.3130	0.3130
80	0.3124	0.3136	0.3330	0.3220	0.3220
81	0.3238	0.3251	0.3470	0.3320	0.3320
82	0.3355	0.3369	0.3600	0.3430	0.3430
83	0.3472	0.3487	0.3730	0.3530	0.3530
84	0.3591	0.3608	0.3860	0.3630	0.3630
85	0.3712	0.3730	0.3990	0.3740	0.3740
86	0.3833	0.3853	0.4110	0.3840	0.3840
87	0.3956	0.3977	0.4240	0.3940	0.3940
88	0.4080	0.4103	0.4370	0.4040	0.4040
89	0.4205	0.4229	0.4500	0.4140	0.4140
90	0.4330	0.4357	0.4630	0.4240	0.4240
91	0.4457	0.4485	0.4760	0.4340	0.4340
92	0.4584	0.4614	0.4890	0.4440	0.4440
93	0.4711	0.4744	0.5020	0.4540	0.4540
94	0.4839	0.4874	0.5140	0.4630	0.4630
95	0.4967	0.5004	0.5260	0.4730	0.4730
96	0.5095	0.5135	0.5390	0.4820	0.4820



**Figure III.3-** Les rendements de fluorescence empiriques pondéré et non-pondéré de la sous-couche ( $L_3$ ) en fonction du nombre atomique  $Z$  avec  $23 \leq Z \leq 96$ , selon divers auteurs: (Krause, 1979), (Puri and al, 2002) et (Campbell, 2003).

### III.3/ Discussion

A partir des formules analytiques (Eq.III.3) et (Eq.III.4) nous avons obtenu tous les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche ( $L_3$ ) pour les éléments atomiques de  $23 \leq Z \leq 96$ . Nous avons observé en générale dans le tableau (III.1) et la figure (III.3) des petites déviations entre nos valeurs des rendements de fluorescence et ceux des auteurs: (Krause, 1979), (Puri and al, 2002) et (Campbell, 2003).

Pour l'intervalle  $23 \leq Z \leq 76$ , on observe que les rendements de fluorescence tirées de la formule III.3 sont en bon accord avec les valeurs de (Krause, 1979) et à un degré moins avec les valeurs de (Puri and al, 2002) et (Campbell, 2003). Dans le même intervalle, on observe que les rendements de fluorescence de la formule III.4 sont en bon accord avec les valeurs de (Krause, 1979), (Puri and al, 2002) et (Campbell, 2003).

Dans l'intervalle  $77 \leq Z \leq 93$ , on observe que les rendements de fluorescence de la formule III.3 calculés dans notre travail sont en bon accord avec (Puri and al, 2002), (Campbell, 2003) et de degré moins avec (Krause, 1979). On peut tirer la même remarque pour les valeurs empiriques de la formule III.4.

Pour l'intervalle  $94 \leq Z \leq 96$ , on observe qu'il y a une déviation entre nos résultats empirique (formule III.3, III.4) et ceux de (Krause, 1979), (Puri and al, 2002) et (Campbell, 2003).

Notre résultats (formule III.3, III.4) sont supérieures aux valeurs de (Puri et Campbell); et inférieur à les données de (Krause, 1979).

**Bibliographies**

Aylikci V, Kahoul A, Aylikci NK, Tiraşoğlu E, Karahan IH, Abassi A, Dogan M. Empirical and semi-empirical interpolation of L X-rayfluorescence parameters for elements in the atomic range  $50 \leq Z \leq 92$ . *Radiation Phys Chem.* 2015; 106: 99–125.

Arora SK, Allawadhi KL, Sood BS. Measurement of  $L_{III}$  Subshell Fluorescence Yields in Pb, Th and U. *J. Phys. Soc. Jap.* 1981; 50: 251-254.

Artamonova KP, Valiev FF, Grigorev EP, Zolotavin AV, Sergeev VO, Tulina TA. Fluorescence and Auger Electron Yields for L-Subshell following  $^{151}\text{Gd}$  Decay. *Ukr. Fiz. Zh. USSR.* 1983; 28: 1447.

Auerhammer J, Genz H, Richter A. Measurements of L-Subshell Fluorescence Yields for Light and Medium Heavy Elements  $28 \leq Z \leq 47$ . *Z. Phys.* 1988; D7: 301.

Badiger NM, Bonzi EV. Experimental determination of L subshell fluorescence yields of Ba, La and Pr using synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Phys Research.* 2006; B 243: 34–37.

Barrea RA, Pérez CA, Sanchez HJ. Determination of L-subshell Coster–Kronig and fluorescence yields of lanthanum and praseodymium by synchrotron radiation photoionization. *Spectrochimica Acta Part.* 2003; B58: 51–62.

Barrea RA, Pérez CA, Sánchez HJ. Erbium L-subshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 2002; 35: 3167.

Bonzi EV, Badiger NM. Measurement of L subshell fluorescence yields of elements in the range  $45 \leq Z \leq 50$  using synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Phys Research.* 2006; B248: 242–246.

Budick B, Derman S. L-Subshell Fluorescence Yields for Silver and Tellurium. *Phys. Rev. Lett.* 1972; 29: 1055.

Burford AO, Haynes SK. L Auger and Coster-Kronig Transition Yields for  $\text{Cs}^{137}$ - $\text{Ba}^{137}$ . *Bull. Am. Phys. Soc.* 1958; 3: 208.

Campbell JL. Fluorescence yields and Coster–Kronig probabilities for the atomic L subshells. *Atomic Data and Nuclear Data Tables.* 2003; 85: 291–315.

- Campbell JL, McNelles LA, Geiger JS, Graham RL, Merritt JS. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition rates at  $Z=88$  and  $94$ . *Can. J. Phys.* 1974 ; 52 : 488-498.
- Cengiz E, Tirasoglu E, Aylikci V, Apaydin G, Aylikci AK. Investigation on L-shell X-ray fluorescence parameters for heavy elements and compounds. *Chem Phys Lett.* 2010; 498: 107–112.
- Douglas DG, *Can. J. Phys.* 1972; 50: 1697.
- Douglas DG. *Can. J. Phys.* 1973; 5: 1519.
- Durak R, Ozdemir Y. Experimental determination of L-subshell fluorescence yields for heavy elements at 59.54 keV. *J ANAL ATOM SPECTROM.* 2001; 16: 1167-1171.
- Ertuğrul M. Measurement of L-subshell X-ray fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields for the elements in the atomic  $73 \leq Z \leq 92$  at 60 KeV. *Instrumentation Science & Technology.* 2001; 29: 215-222.
- Ertuğrul M. Measurement of L-subshell X-ray fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields for the elements in the atomic  $73 \leq Z \leq 92$  at 60 KeV. *J Radioanalytical Nucl Chem.* 1998; 237: 139-142.
- Ertuğrul M. Measurements of  $L_{31}$ ,  $L_{3\alpha}$ ,  $L_{3\beta}$ ,  $L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}$ ,  $L_{1\beta}$ ,  $L_{1\gamma}$ ,  $L_{\beta}$ ,  $L_{\gamma}$ ,  $L_{1x}$ ,  $L_{2x}$  and  $L_{3x}$  x-ray production cross sections and L subshell fluorescence yields for Re, W and Ta at 59.5 keV. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 2001a; 34: 2081–2088.
- Ertugrul M, Kaya A, Doğan O, Turgu Ü, Şimşek Ö, Soğüt Ö, Karagoz D. Measurement of L subshell x-ray production cross-sections at energy 31.635 keV and L subshell fluorescence yields for elements  $74 \leq Z \leq 92$ . *X-Ray Spectrom.* 2002; 31: 53–56.
- Ertugrul M, Şimşek Ö. Determination of  $L_2$  and  $L_3$  subshell fluorescence yields of some elements in the atomic number range  $22 \leq Z \leq 62$ . *Radiat Phys Chem.* 2002; 65: 205-209.
- Fink RW, Freund HU. Bismuth L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields from Decay of  $Pb^{210}$  (RaD). *Phys. Rev.* 1971; C 3: 1701.
- Freund HU, Fink RW. Bismuth L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities from Decay of  $Pb^{210}$  (RaD). *Phys. Rev.* 1969; 178: 1952.
- Gnade BE, Braga RS, Fink RW.  $L_2$ , 3-subshell x-ray fluorescence and Coster-Kronig yields at  $Z=64$  and  $67$ . *Phys. Rev.* 1980; C21: 2025.

- Han I, Demir L, Agbaba M. Measurements of L X-ray production cross sections, L subshell fluorescence yields and K to L shell vacancy transfer probabilities. *Radiation Phys Chem.* 2007; 76: 1551–1559.
- Haynes SK, Achor WT. Une étude des électrons Auger du niveau L émis dans la désintégration de  $^{199}\text{Au}$ . *Phys. Radium.* 1955; 16: 635-637.
- Holmes CP, Kostroun VO. *Bull. Am. Phys. Soc.* 1970; 15: 561.
- Hribar M, Kodre A, Pahor J. The Study of the L-Shell Fluorescence Yields of Xenon. *Physica.* 1977; 92C:143.
- Jitschin W, Materlik G, Werner U, Funke P. Coster-Kronig and fluorescence yields of Au L subshells derived from photoionization measurements. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1985; 18:1139.
- Jitschin W, Stötzel R, Papp T, Sarkar M. Coster-Kronig, fluorescence, and Auger yields of the  $^{47}\text{Ag}$  L subshells measured through synchrotron photoionization. *Phys. Rev.* 1999; A59: 3408.
- Jopson RC, Khan JM, mark H, Swift CD, Williamson MA. Fluorescence Yields of the LII and LIII Shells in Heavy Elements. *Phys. Rev.* 1964; A381: 133.
- Kacal MR, Han I, Akman F, Durak R. Measurement of L subshell fluorescence yields for high-Z elements excited by 22.6keV photons. *J Quantitative Spectros. Radiative Transfer.* 2012; 113: 373–381.
- Kahoul A, Aylikci V, Deghfel B, Kup Aylikci N, Nekkab M. New empirical formulae for calculation of average M-shell fluorescence yields. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer.* 2014; 145: 205-213.
- Kahoul A, Aylikci V, Kup Aylikci N, Cengiz E, Apaydin G. Updated database and new empirical values for K-shell fluorescence yields. *Rad Phys Chem.* 2012; 81: 713-727.
- Kaya A, Ertuğrul M, Doğan O, Soğüt Ö, Turgu Ü, Şimşek Ö. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross-sections at 59.54 keV and L subshell fluorescence yields for elements in the atomic range  $55 \leq Z \leq 81$ . *Anal Chim Acta.* 2001; 441: 317–323.
- Kodre A, Hribar M, Ajlec B, Pahor J. L-subshell fluorescence yields of lead. *Z. Phys.* 1981; A303: 23-26.
- Kolbe M, Hönicke P. Fundamental parameters of Zr and Ti for a reliable quantitative X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrom.* 2015.

Kolbe M, Hönicke P, Muler M, Beckhoff B. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition probabilities with a reliable uncertainty budget for selected high- and medium-Z elements. *Phys. Rev.* 2012; A86: 042512.

Krause MO. Atomic radiative and radiationless yields for K and L shells. *J of Phys and Chem Ref Data.* 1979; 8: 307-327.

Lee PL, Salem SI. Widths and asymmetries of the K  $\alpha_1$  and K  $\alpha_2$  x-ray lines and the L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> fluorescence yields of the transition elements. *Phys. Rev.* 1974; A10: 2027.

Maio A, Ribeiro JP, Barroso A, Barroso, F.B. L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> subshell yields of bismuth. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1975; 8: 1216.

Markevich D, Budick B. Fluorescence yields for the rhodium L shell. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1981; 14: 1553.

McGeorge JC, Fink RW. L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields for Z=96 from the Decay of <sup>249</sup>Cf. *Z. Phys.* 1971; 248: 208.

McGeorge JC, Freund HU, Fink RW. Decay of <sup>159</sup>Dy: L-Subshell X-Ray Fluorescence and Coster-Kronig Yields at Z = 65; Branching Ratio, and K-Conversion of the 58 keV Transition in <sup>159</sup>Tb. *Nucl. Phys.* 1970; A154: 526-538.

McGeorge JC, Mohan S, Fink RW. *Phys. Rev.* 1971; A 4: 1317.

McGeorge JC, Nix DW, Fink RW. Coster-Kronig and Fluorescence Yields for the L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> Subshells in The High-Z Region. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1973; 6: 573.

McGeorge JC, Nix DW, Fink RW. L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields at Z = 92 and the Decay of <sup>235</sup>Np. 1972; 255: 335.

McGhee L, Campbell JL. Measurement of Coster-Kronig and fluorescence yields of the L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> subshells of heavy atoms. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 1988; 21: 2295.

McNelles LA, Campbell JL, Geiger JS, Graham RL, Merritt JS. L Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transitions at Z = 70. *Can. J. Phys.* 1975; 53: 1349.

Mohan S, Fink RW, Wood RE, Palms JM, Rao PV. Electron Capture Decay of <sup>181</sup>W: L Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Ta. *Z. Phys.* 1970a; 239: 423.



Mohan S, Freund HU, Fink RW, Rao PV. Decays of  $Tm^{170}$  and  $Tm^{171}$ :  $L_2$  and  $L_3$  Subshell-Fluorescence Yields, Coster-Kronig Transition Probabilities, and K-Shell Conversion Coefficients in Yb. Phys. Rev. 1970; C1: 254.

Mohan, JC. McGeorge, R.W. Fink, Bull. Am. Phys. Soc. 1971; 16: 579.

Mohan S, Schmidt-Ott WD, McGeorge JC, Fink RW, Manson ST, Palms JM, Rao PV. (U.S. Atomic Energy Commission, Inner Shell Ionization Phenomena and Future Applications. 1973; p: 244.

Öz E, Özdemir, Ekinçi N, Ertugrul M, Sahin Y, Erdogan H. Measurement of atomic L shell fluorescence ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) and Auger ( $a_1$ ,  $a_2$  and  $a_3$ ) yields for some elements in the atomic number range  $59 \leq Z \leq 85$ . Spectrochim Acta Part. 2000; B55: 1869-1877.

Özdemir Y, Durak R. L-subshell fluorescence yields ( $w_1$ ,  $w_2$  and  $w_3$ ) for elements in the atomic range  $55 \leq Z \leq 68$  with a Si (Li) detector. J of Quantitative Spectroscopy & Rad Transfer. 2003; 77: 95–103.

Palms JM, Wood RE, Rao PV, Kostroun VO. Fluorescence and Coster-Kronig Yields of L Subshells in Hg from the Decay of  $^{198}Au$  and  $^{204}Tl$ . Phys. Rev. 1970; C 2: 592.

Päschke R. Z Physik. 1963; 176: 143-154.

Price RE, Mark H, Swift CD. Measurements of  $L_2$  and  $L_3$  subshell fluorescence yields in heavy elements. Phys. Rev. 1968; 176: 3-10.

Puri S, Mehta D, Chand B, Singh N, Trehan PN. L shells fluorescence yields and Coster–Kronig transition probabilities for the elements with  $25 \leq Z \leq 96$ . X-ray spectrometry. 1993; 22: 358-361.

Rao PV. Bull. Am. Phys. Soc. 1988; 33: 943.

Rao PV, Crasemann B.  $L_2$ - $L_3$ N Coster-Kronig Transition Probabilities and L-Subshell Fluorescence Yields of Hg and Ta. Phys. Rev. 1965a; A1926: 139.

Rao PV, Crasemann B. L/K X-Ray Intensity Ratio in the Decay of  $Tl^{204}$  and L-Shell Fluorescence Yields of Hg. Phys. Rev. 1965; B64: 137.

Rao PV, Wood RE, Palms, Rao PV. L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Tl. Phys. Rev. 1969; 187: 1497.

Roos CE. Private communication to B. L. Robinson, quoted in RF-60. 1959.

- Ross MAS, Cochran AJ, Hughes J, Feather N. Proc. Phys. Soc. (London). 1955; A68: 612.
- Şahin M, Demir L, Söğüt Ö, Ertuğrul M, İçelli O. L-subshell fluorescence cross-sections and L subshell fluorescence yields in elements  $68 \leq Z \leq 92$  by 59.5 keV photons. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2000; 33: 93-98.
- Söğüt Ö, Apaydın G, Şimşek Ö, Cengiz E, Saydam M. Küp N, Tıraşoğlu E. Measurement of L subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range  $75 \leq Z \leq 92$  using photoionization. Radiation Physics and Chemistry. 2009; 78(5):307-310.
- Soğüt Ö, Ertuğrul M, Büyükkasap E. L-Subshell Fluorescence Yield Ratios,  $w_1/w_2$ ,  $w_1/w_3$  and  $w_2/w_3$ , for the Elements  $55 \leq Z \leq 92$ . X-ray Spectrom. 2001; 30: 427-430.
- Sorensen SL, Schaphorst SJ, Whitfield SB, Crasemann B, Carr R. Phys. Rev. 1991 ; A 44 : 350.
- Stötzel R, Werner U, Sarkar M, Jitschin W. Fluorescence, Coster-Kronig and Auger yields of the, Sm L subshells measured with the synchrotron photoionization method. 1. Phys. At. Mol. Opt. Phys. ZS. 1992: 8:2295-2307.
- Tan M, Braga RA, Fink RW, Rao PV. X-Ray Fluorescence Yields and Coster- Kronig Transition Probabilities of the L1, L2 and L3 subshells of Pb. Phys. Scripta 1982; 25: 536-547.
- Tan M, Braga RA, Fink RW, Rao PV.  $L_{2,3}$  Subshell X-Ray Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Nd and Yb. Phys. Scripta. 1988; 37: 62-65.
- Turhan MF, Durak R, Akman F. Determination of L X-ray fluorescence parameters for Ho, Lu, W, Hg and Bi. Applied Radiation and Isotopes 2014; 89: 151-158.
- Von Dincklage RD, Hay HJ. Atomic L-subshell yields from the electron capture decays of  $\{_{65}^{157}\}$  Tb and  $\{_{65}^{158}\}$  Tb. Z. Phys. 1985; A321: 375-380.
- Weksler M, de Pinho AG. X-Ray Spectra, L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Bismuth and Neptunium. Rev. Bras. Fis. 1973; 3: 291.
- Werner U, Jitschin W. L. Vacancy Decay in Heavy Elements ( $72 \leq Z \leq 82$ ) by the Synchrotron Photo-ionization Method. Phys. Rev. 1988; A38: 4009-4018.
- Winkenbach H. Z. Physik. 1958; 152: 387-396.
- Wood RE, Palms JM, Rao PV. Decay of Hg203: L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Tl. Phys. Rev. 1969; 187: 1497.

Xu JQ. L-Subshell Fluorescence Yields for Elements with  $73 \leq Z \leq 83$ . Phys. Rev. 1991; A43: 4771-4779.

Zimmerli T, Flammersfeld A. Z. Physik. 1963; 176: 323-328.

# Conclusion générale

### Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté les résultats des Calculs empiriques des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  des éléments de numéros atomique  $23 \leq Z \leq 96$ , on utilisant le logiciel de calcul Excel pour calculer les valeurs moyennes: pondéré ( $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-W}$ ) et non-pondéré ( $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-UNW}$ ), l'écart type non pondéré ( $USD(\ )$ ), l'écart-type pondéré ( $WSD(\ )$ ) et les erreurs standard non pondéré ( $USE(\ )$ ).

On utilisé les valeurs expérimentales moyenne pondéré  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-W}$  et non-pondéré  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-UNW}$  à partir des fonctions analytiques simple proposés par d'autre auteurs, on a calculé les rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  des éléments de numéros atomique  $23 \leq Z \leq 96$ . Les résultats obtenus sont comparés avec les valeurs d'autres auteurs.

Enfin, Après la comparaison entre nos valeurs et les résultats des autres auteurs, on peut dire que l'utilisation de la méthode pondéré  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-W}$  et non-pondéré  $(\bar{\omega}_{L_3})_{emf-UNW}$  permet d'obtenir des résultats fiable des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$ .

## Résumé

Dans ce travail on a construite une nouvelle base de donnée des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  publiée durant la période 1955-2015 pour des éléments de numéros atomique  $23 \leq Z \leq 96$ . Nous avons présenté aussi une nouvelle méthode de calcul empirique des rendements de fluorescence de la sous-couche  $L_3$  basée sur cette base de donnée. Une comparaison a été faite entre nos valeurs et celles des autres auteurs.

## Abstract

In this work we build new database fluorescence yields of  $L_3$  sub-shell published during the period 1955-2015 for  $23 \leq Z \leq 96$  atomic numbers of elements. We present also a new method for calculation of the empirical fluorescence yields of  $L_3$  sub-shell based on this database. A comparison is made between our work and others reported by many authors.

## ملخص

في هذا العمل نبني الاساس الذي تقوم عليه قاعدة البيانات للقيم التجريبية لمردود الفلورة للمدار الفرعي  $L_3$  التي نشرت في الفترة الممتدة من 1955 إلى 2015 من اجل عناصر العدد الذري المحصورة بين  $23 \leq Z \leq 96$ . قدمنا ايضا طريقة جديدة لحساب مردود الفلورة للمدار الفرعي  $L_3$  بناء على قاعدة البيانات هذه. و اجریت مقارنة بين قيمنا التي تحصلنا عليها مع النتائج لمختلف باحثين آخرين.