

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 Ibrahimy – Bordj Bou Arreridj  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences de la Matière

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



# Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE : Master

Filière : Physique  
Option : Physique des matériaux

## THÈME

Calcul semi empirique des rendements de fluorescence de la  
sous couche  $L_2$  des éléments  $40 \leq Z \leq 96$

Préparé par :  
Naidji Hasna

Soutenu le : .....

Devant le jury :

Président : Kahoul Abdelhalim  
Rapporteur : Sahnoune Yassine  
Examineur : Daoudi Salim

Année Universitaire 2020-2021

# *Remerciements*

*Je tiens avant tout à adresser notre reconnaissance à notre Dieu  
de m'avoir donné la force et la volonté d'arriver là.*

*J'exprime ensuite toute mon gratitude et mes remerciements les  
plus sincères :*

*Mon encadreur Sahnoune Yassine pour m'avoir guidé grâce à ses  
précieus conseils et ses encouragements lors de la réalisation de ce  
mémoire.*

*Le professeur Kahoul Abdelhalim qui m'avoir aidé tout au long  
de ce travail et ses conseils.*

*Aux membres de jury qui ont accepté de juger mon  
Travail.*

## *Dédicace*

*En premier lieu je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents (mon père Naidji Saleh et ma mère bouchibane Naima), qui m'ont toujours encouragé et soutenu dans mes études, que Dieu vous donne longue vie.*

*Mes adorables sœurs : Ismahene, Ilhem, Imane, Bouboune et Sofia.*

*Ensuite que deux personnes chères : Ritale et Taym.*

*Mes amies surtout : Amina et Imane.*

*Tous ceux qui me sont chères et proches.*

*Naidji Hasna*

## Table des matières

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

### *Chapitre I: Rappel théorique*

Introduction.....	5
I.2.Rayonnement .....	5
I.2.1. Les différents types des rayonnements .....	6
I.3.Le spectre électromagnétique .....	7
I.4. Interaction matière-rayons X .....	7
I.4.1.La diffusion Rayleigh .....	7
I.4.2. L'effet photoélectrique .....	8
I.4.3. La diffusion Compton.....	9
I.4.4.Effet de production de paire.....	10
I.4.5. Importance relative des effets photoélectrique, Compton, et de création de paires.....	11
I.5.Loi d'atténuation :.....	12
I.6.Excitation :.....	13
I.7.Désexcitation : .....	14
I.8.Couches électroniques.....	14
I.9. Transitions électroniques et règles de sélection.....	16
I.10.Fluorescence X.....	17
I.10.1.Principe de la fluorescence X.....	18
I.11.Effet Auger .....	19
I.12.Rendement de fluorescence .....	20
I.13.Transitions de Coster-Kronig.....	22
I.13.1.Le rendement de fluorescence en absence et en présence de transitions de Coster-Kronig.....	22
I.14.Section efficace d'interaction rayonnement matière.....	25
I.14.1.Section efficace d'ionisation par des particules chargées.....	27

I.14.2.La section efficace de production de rayons X .....	27
I.14.2.1. Section efficace de la couche K .....	27
I.14.2.2.Section efficace de la couche L.....	28
Références bibliographiques.....	30
<i>Chapitre II: Base de données des rendements de fluorescence de la sous couche <math>L_2</math> pour les éléments de numéro atomique <math>40 \leq Z \leq 96</math></i>	
II.1. Introduction .....	32
II.2. la distribution de différentes valeurs mesurées et les erreurs correspondantes ....	32
II.3. Distribution des données expérimentales .....	33
II.4.Analyse des données .....	34
Références bibliographiques.....	46
<i>Chapitre III : Calcul semi empirique des rendements de fluorescence de la sous-couche <math>L_2</math> pour les éléments avec <math>40 \leq Z \leq 96</math></i>	
III.1. Introduction .....	55
III.2. Méthodes de calcul et résultats.....	55
III.4.Comparaison des résultats.....	61
Références bibliographiques.....	63
Conclusion générale .....	64

## Liste des figures

<b>Figure I. 1:</b> classifications des rayonnements.....	6
<b>Figure I. 2:</b> Le spectre électromagnétique.....	7
<b>Figure I. 3:</b> L'effet Rayleigh (diffusion élastique).....	8
<b>Figure I. 4:</b> L'effet photoélectrique.....	8
<b>Figure I. 5:</b> L'effet Compton (diffusion inélastique).....	9
<b>Figure I. 6:</b> Effet production de paire.....	10
<b>Figure I. 7:</b> l'importance relative des trois effets en fonction de l'énergie $h\nu$ du photon et du numéro atomique $Z$ .....	11
<b>Figure I. 8:</b> Calcul de l'atténuation du faisceau dans l'objet.....	12
<b>Figure I. 9:</b> Ionisation par effet photoélectrique.....	13
<b>Figure I. 10:</b> Transitions permises entre les couches électroniques.....	17
<b>Figure I. 11:</b> Excitation et désexcitation d'atome.....	18
<b>Figure I. 12:</b> Émissions X et émission Auger (noir : l'état électronique est occupé ; blanc : l'état électronique est vide).....	19
<b>Figure I. 13:</b> Rendement de fluorescence $\omega$ en fonction du numéro atomique $Z$ de la couche K.....	20
<b>Figure I. 14:</b> Transition de Coster-Kronig.....	25
<b>Figure I. 15:</b> Diffusion à une direction $2\theta$ .....	27
<b>Figure II. 1:</b> la distribution du nombre de données expérimentales du rendement de fluorescence de la sous couche $L_2$ en fonction du numéro atomique $Z$ des éléments entre Na ( $Z=11$ ) et Cm ( $Z=96$ ).....	34
<b>Figure II. 2:</b> Un histogramme du nombre de données expérimentales du rendement de fluorescence de la sous couche $L_2$ en fonction de l'année de publication du travail original entre 1965 et 2016.....	35
<b>Figure III. 1:</b> le rapport $R$ en fonction de numéro atomique $Z$ .....	57
<b>Figure III. 2:</b> La distribution des rendements de fluorescence $\frac{(\bar{\omega}_{L_2})_{WR}}{(1-(\bar{\omega}_{L_2})_{WR})^{\frac{1}{4}}}$ de la sous-couche ( $L_2$ ) en fonction du numéro atomique $Z$ , pour les éléments avec $40 \leq Z \leq 96$ . .....	58

**Figure III. 3:** Nos valeurs semi empirique des rendements de fluorescence de la sous-couche ( $L_2$ ) comparé aux autres valeurs d'autres auteurs (Sahnoune et al. (2016), Krause et al. (1979), Puri et al. (1993) et Cambple et al. (2003)) en fonction des éléments de nombre atomique  $40 \leq Z \leq 96$ . ..... 61

### Liste des Tableaux

**Tableau I. 1:** Configuration électronique et moment angulaire total. .... 15

**Tableau II .1:** Résumé des rendements de fluorescence expérimentaux de la sous-couche  $L_2$  pour les éléments de  ${}_{40}\text{Zr}$  à  ${}_{96}\text{Cm}$  et la valeur moyenne pondérée ( $\omega_{L_2-W}$ ) avec les paramètres d'incertitudes ..... 36

**Tableau III. 1:** illustre les valeurs théoriques et les résultats de calcul semi-empirique pour tous les éléments de la zone atomique compris entre 40 jusqu'à 96. .... 59

# **INTRODUCTION**

## **GÉNÉRALE**

# *Introduction générale*

Au cours des dernières décennies, afin de mieux comprendre les aspects théoriques et expérimentaux des collisions ion-atome, les recherches sur l'ionisation de la couche atomique interne ont reçu beaucoup d'attention. Dans divers problèmes de physique atomique, il est nécessaire de connaître avec précision plusieurs constantes atomiques, telles que le rendement de fluorescence ; cette dernière est l'émission de fluorescence causée par l'irradiation de la cible avec un rayonnement électromagnétique et d'autres processus simultanés. Le mode de réarrangement des processus électroniques dépend du nombre atomique des atomes, et chaque processus est caractérisé par la probabilité. La probabilité que l'espace créé dans la couche soit comblé par la transition de rayonnement est appelée rendement de fluorescence  $\omega$  de la couche considérée. Un atome excité peut revenir à son état fondamental en éjectant lui-même un électron d'un état lié plus faible. Cette transition non radiative est appelée effet Auger et électrons éjectés, c'est-à-dire électron-Augé. Une conséquence importante de l'effet Auger est que la quantité réelle de rayons X produite est inférieure à celle attendue.

L'analyse du rendement de fluorescence donne accès à diverses informations sur le matériau irradié. En fait, l'énergie des raies X émises est liée aux niveaux d'énergie des électrons impliqués. C'est donc une caractéristique des éléments ionisés.

Dans ce travail, nous avons rassemblés les données expérimentales des rendements de fluorescences de la sous couche  $L_2$  compilées par différents auteurs publiées durant la période 1955 jusqu'à 2016 pour les éléments de numéro atomique  $40 \leq Z \leq 96$ .

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre : Rappel théorique sur les phénomènes liés à l'interaction entre les rayons de matière et la fluorescence X. dans le même chapitre, nous avons expliqué également la notion sur les transitions radiatives et non radiatives.

Le deuxième chapitre est réservé pour la construction d'une nouvelle base de données ; Celle-ci couvre toutes les valeurs expérimentales des rendements de fluorescence moyenne de la sous couche  $L_2$  publiées durant la période 1955 jusqu'à 2016.

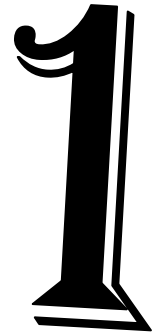
- Le troisième chapitre : est consacré à la détermination des rendements de fluorescence semi empirique des de la sous couche  $L_2$  des éléments atomique :  $40 \leq Z \leq 96$ . Le calcul est basé sur les valeurs moyennes pondérées réduites de données expérimentales. Et on à comparé nos résultats avec des autre valeurs publiées par des autre auteurs.

En fin une conclusion générale achève ce travail.

# Chapitre | 1

## *RAPPEL THÉORIQUE*

# Chapitre I : Rappel théorique



## I.1 Introduction

Le 28 décembre 1895, Roentgen publie un article intitulé « A propos d'un nouveau rayon » dans le Bulletin de la Société de chimie physique de Würzburg. Il a tiré quatre conclusions dans l'article :

1. Les rayons X sont absorbés par la matière et leur absorption est fonction de la masse atomique de l'atome absorbé.
2. Les rayons X sont diffusés par la matière, qui est un rayonnement fluorescent.
3. Les rayons X impressionnent la plaque photographique.
4. Les rayons X déchargent des objets chargés.

En minéralogie, la diffraction des rayons X peut être utilisée pour identifier divers cristaux. Les rayons X caractéristiques sont produits par la transition des électrons atomiques de leur état initial à un autre état plus lié de l'atome. Les rayons X sont un rayonnement électromagnétique de haute énergie avec une longueur d'onde d'environ 5 picomètres à 10 nanomètres. L'énergie de ces photons varie de quelques à plusieurs dizaines de KeV. Ces rayonnements sont utilisés dans de nombreuses applications, dont l'imagerie médicale et la cristallographie. Les rayons X ont été découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen, qui a remporté le premier prix Nobel de physique pour cette raison ; il les a nommés ainsi car leurs propriétés sont inconnues (la lettre X représente l'inconnu en mathématiques).

## I.2. Rayonnement

On peut définir un rayonnement ou radiation comme un mode de propagation de l'énergie dans l'espace, sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules. Les rayonnements ne peuvent être détectés et caractérisés que grâce à leurs interactions avec la

matière dans laquelle ils se propagent. Ils peuvent céder au milieu qu'ils traversent, la totalité ou une partie de leur énergie au cours de ces interactions.

### I.2.1. Les différents types des rayonnements

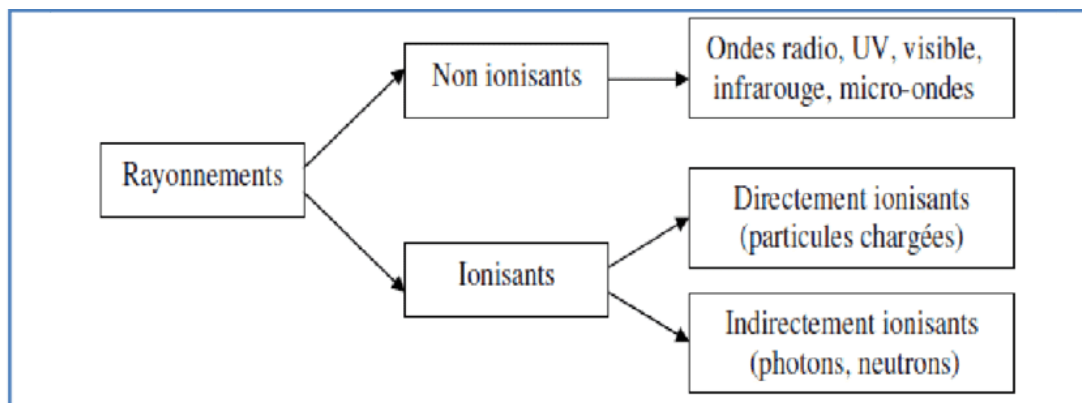
Le rayonnement peut être classé selon ses propriétés propres, quelle que soit la substance dans laquelle il se propage et libère de l'énergie. Cette classification est basée sur la charge des particules qui composent le rayonnement. On peut donc distinguer deux types, le premier est neutre (photons, neutrons), et le second est chargé (électrons, ions).

Une autre classification possible du rayonnement prend en compte son effet sur le milieu. Par conséquent, notre définition du rayonnement ionisant ou non ionisant comme suit:

Si le rayonnement a suffisamment d'énergie pour arracher un électron aux atomes du milieu qu'il rencontre, les convertissant ainsi en ions positifs, le rayonnement est dit ionisant. Sinon, il est non ionisant.

En effet, seules les ondes électromagnétiques de longueurs d'onde supérieures à 100 nm (ondes radio, micro-ondes, infrarouge, lumière visible et proche ultraviolet) sont non ionisantes. D'autre part, l'énergie des rayons gamma et du rayonnement électronique utilisée pour l'irradiation du verre a des énergies importantes de l'ordre du MeV, elles sont donc ionisées.

Les rayonnements ionisants sont de 2 types avec les caractéristiques suivantes :



**Figure I. 1:** classifications des rayonnements.

### I.3. Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique représente la distribution des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence et même de leur énergie (photo ci-dessous).

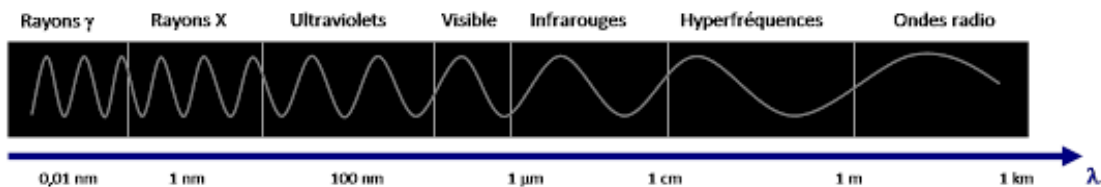


Figure I. 2: Le spectre électromagnétique.

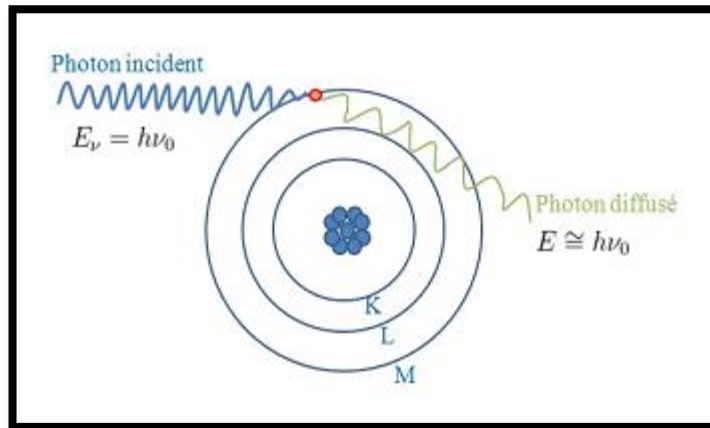
### I.4. Interaction matière-rayons X

L'interaction entre les photons et la matière est un phénomène complexe impliquant de nombreux processus. La plupart du temps, l'importance de ces processus dépend de l'énergie du photon incident. Comme les photons existent dans une large gamme de longueurs d'onde, il est difficile de traiter complètement leur interaction avec la matière.

Lorsque le faisceau de rayons X interagit avec la matière, il se désintègre après avoir été excité par le processus d'ionisation ou d'excitation du rayonnement électromagnétique, d'énergie  $E_0$  du rayonnement incident, quelle que soit sa nature, peut être absorbée pour faire passer les atomes du matériau de leur état fondamental à un état excité en émettant des électrons. Un tel état excité (ou ionisé) a une durée de vie très courte (pour les atomes isolés, environ  $10^{-16}$  secondes). L'atome retourne à son état fondamental par une cascade de transitions électroniques, où chaque transition correspond à l'émission d'une raie caractéristique.

#### I.4.1. La diffusion Rayleigh

Ce processus correspond à la diffusion élastique d'un photon sur l'atome (figure I.3), donc l'énergie transférée à l'atome est négligeable. Le photon incident ne perd pas d'énergie, mais dévie de sa trajectoire d'origine. Ce type d'interaction est commun pour les éléments à numéro atomique élevé et les photons de faible énergie.



**Figure I. 3:** L'effet Rayleigh (diffusion élastique).

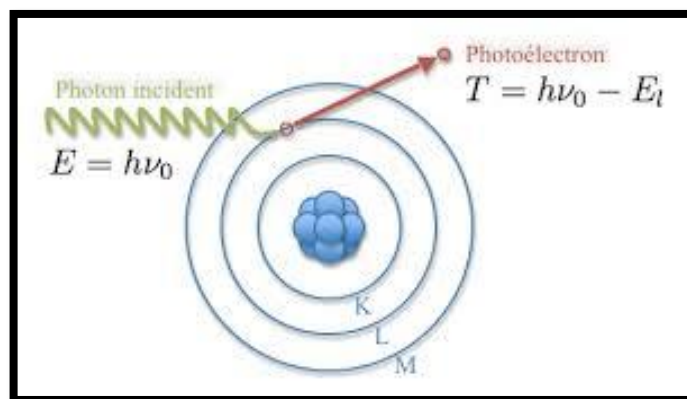
#### I.4.2. L'effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est un processus d'absorption dans lequel l'énergie  $E_\gamma$  Une partie des photons incidents est entièrement transférée aux électrons atomiques (photoélectrons) (Figure I.4). Le photoélectron est éjecté de l'atome avec l'énergie cinétique  $E_{cin}$ , et son énergie cinétique est :

$$E_{cin} = h\nu_0 - E_L \quad (I.1)$$

Lorsque la constante de Planck de  $h = 60625 \times 10^{-34} J.s$ ,  $\nu_0$  la fréquence du rayonnement électromagnétique et  $E_L$  est l'énergie de liaison des électrons dans l'atome.

L'effet photoélectrique ne se produit que lorsque l'énergie du photon incident est supérieure à l'énergie de liaison de l'électron.



**Figure I. 4:** L'effet photoélectrique.

### I.4.3. La diffusion Compton

L'effet Compton correspond à la diffusion inélastique (c'est-à-dire la perte d'énergie des photons incidents), et il décrit le transfert d'énergie lorsque le photon entre en collision avec des électrons libres ou se lie très faiblement aux atomes (figure I.5). La perte d'énergie fait augmenter la longueur d'onde du photon (diminution de la fréquence). Dans cette interaction, le photon incident diffuse dans une direction à un angle  $\theta$  par rapport à sa direction d'incidence et fournit une partie de son énergie à l'électron.

La variation de longueur d'onde  $\lambda$  entre les photons avant et après la collision est donnée par:

$$\lambda_f - \lambda_i = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (\text{I.2})$$

Ou

$\lambda_i$ : Longueur d'onde du photon incident (m)

$\lambda_f$ : Longueur d'onde du photon diffusé (m)

$\theta$ : L'angle de déviation du photon initial

$h$  : Constante de Planck

$m_e$ : La masse des électrons ( $9.11 \times 10^{-31} \text{Kg}$ )

$c$ : Vitesse de la lumière ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

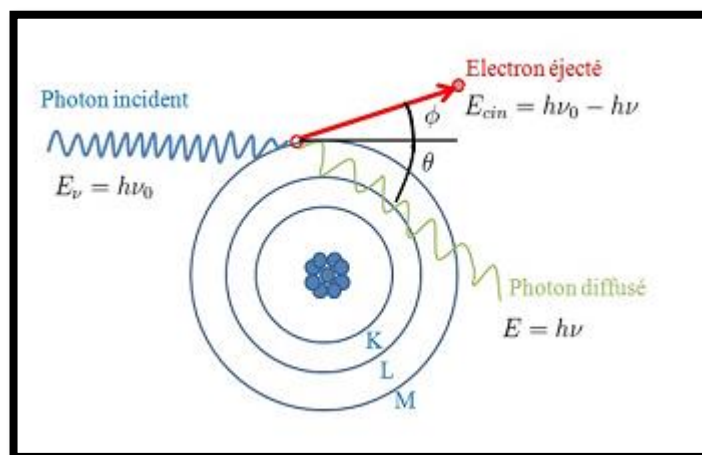


Figure I. 5: L'effet Compton (diffusion inélastique).

#### I.4.4.Effet de production de paire

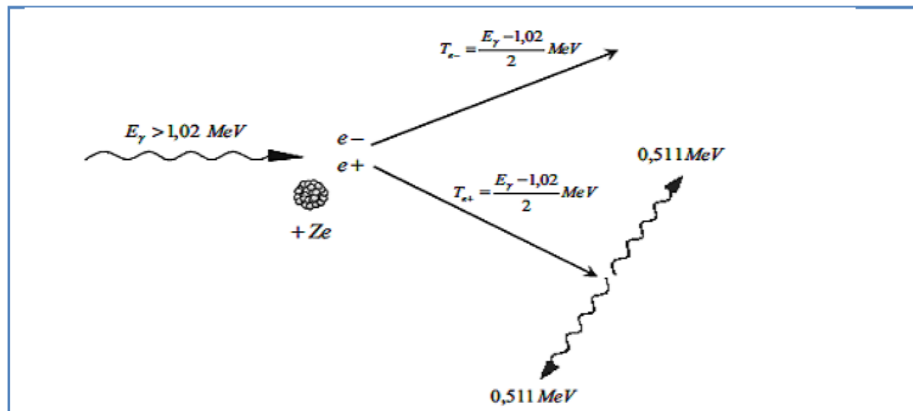
L'effet de production de paire ou matérialisation consiste en la création d'une paire électron-positron lorsqu'un photon pénètre dans le champ coulombien d'un noyau. Le photon disparaît et donne naissance à un positon et un électron (négaton). L'énergie nécessaire pour obtenir la matérialisation de cette paire est égale à 1,022 MeV. Au-dessous de cette valeur, la réalisation de cet effet est énergétiquement impossible.

On aura donc :

$$h\nu = 2m_e c^2 + T_1 + T_2 = 1.022 \text{ MeV} + T_1 + T_2 \quad (\text{I. 3})$$

L'électron et le positon emportent l'énergie excédentaire à leur production sous forme d'énergie cinétique ( $T_1, T_2$ ), soit :

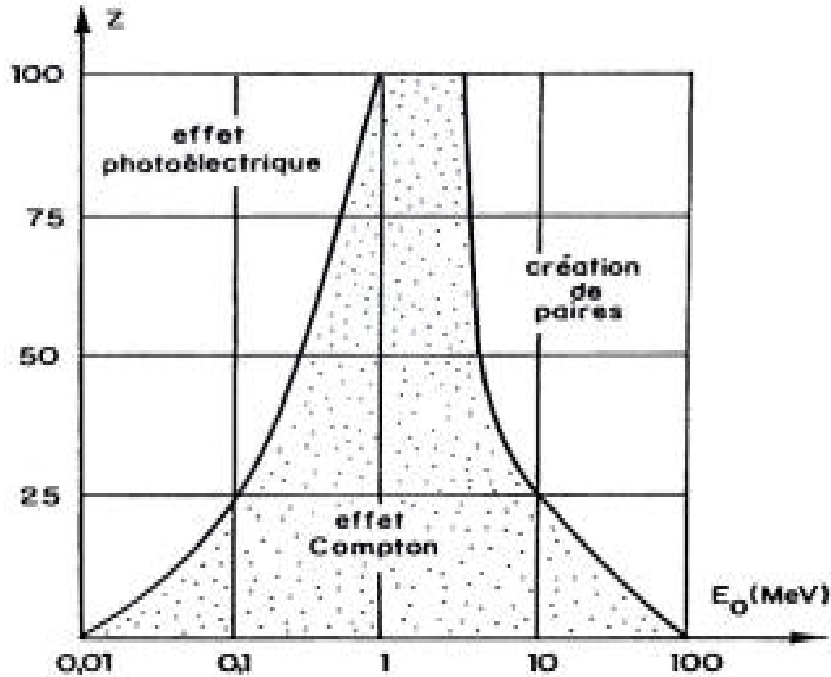
$$E_{e^+} = E_{e^-} = \frac{1}{2}(h\nu - 2m_e c^2) \quad (\text{I. 4})$$



**Figure I. 6:** Effet production de paire.

### I.4.5. Importance relative des effets photoélectrique, Compton, et de création de paires

On peut définir trois zones de prépondérance en fonction du numéro atomique  $Z$  et de l'énergie du rayonnement électromagnétique pour chacune des trois interactions fondamentales.



**Figure I. 7:** l'importance relative des trois effets en fonction de l'énergie  $h\nu$  du photon et du numéro atomique  $Z$ .

L'effet photoélectrique est dominant à basse énergie. Dans les matériaux lourds, il cesse de l'être à partir de 500 KeV.

A haute énergie, c'est l'effet de production de paire qui est prédominant, il commence à le devenir à partir de 5 MeV dans les matériaux de  $Z$  élevé.

Entre les deux, se situe un domaine où c'est l'effet Compton qui domine.

Pour les milieux de faible  $Z$  (carbone, air, eau, tissus humains), ce domaine est extrêmement large (de  $\approx 20\text{KeV}$  à  $\approx 3\text{MeV}$ ).

### I.5.Loi d'atténuation :

L'interaction du rayonnement électromagnétique et de la matière provoque l'atténuation du faisceau incident. Ainsi, dans le cas d'un faisceau mono-énergie parallèle, l'intensité du faisceau  $I$  qui n'est pas atténuée par le milieu d'épaisseur  $x$  est liée au faisceau incident  $I_0$  par le type de loi exponentielle suivant :

$$I(x) = I_0 \times e^{-\mu x} \quad (I.5)$$

$I_0$  : Le flux de photons du faisceau incident.

$I(x)$ : Le flux de photons sortant du milieu absorbant d'épaisseur  $x$ .

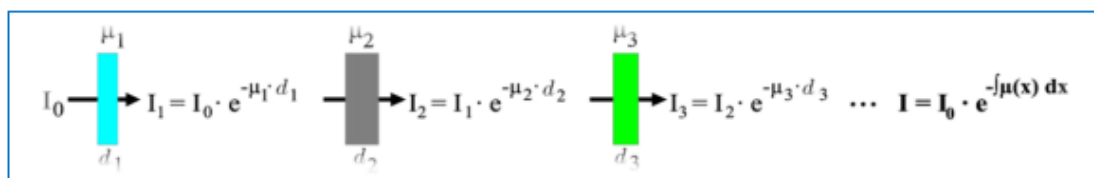
$e^{-\mu x}$ : Représente la fraction de photons qui n'interagissent pas. Les membres de cette équation sont aussi appelés facteurs de transmission. Où  $\mu$  est le coefficient d'atténuation linéaire, et sa valeur dépend de l'énergie rayonnée et des propriétés du milieu traversant.

En cas d'imagerie inégale de l'objet, le faisceau transmis est lié à l'intégrale le long de la trajectoire linéaire du faisceau  $D$  (Fig. I.8).

L'équation (1) devient :

$$I = I_0 \times e^{-\int \mu(x) dx} \quad (I.6)$$

Le faisceau parcourt en continu une distance  $d_i$  dans un matériau avec un coefficient d'atténuation  $\mu_i$ .



**Figure I. 8:** Calcul de l'atténuation du faisceau dans l'objet.

$I_0$  Est l'intensité du faisceau incident, et  $d_i$  correspond à la distance parcourue par le faisceau dans un matériau de coefficient d'atténuation linéaire  $\mu_i$ .

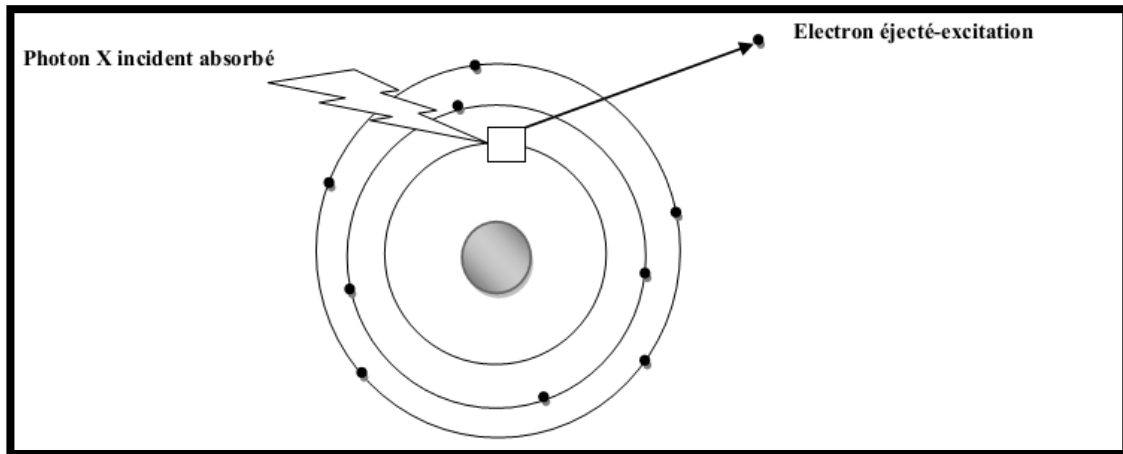
### I.6.Excitation :

C'est le mode d'ionisation utilisé dans l'analyse par fluorescence X (XRF). La cible est bombardée de photons provenant de sources radioactives, de tubes à rayons X et même de rayonnement synchrotron. Dans les atomes, les électrons sont répartis en couches. Plus la couche est proche du noyau, plus l'énergie de liaison nucléaire-électron  $w_x$  est forte. En raison de leur haute énergie, les photons X vont arracher les électrons situés près du noyau atomique avec l'énergie cinétique initiale  $E_c$ , et les atomes s'avèrent ionisés. Ensuite nous avons:

$$E_c \leq E_0 - w_x \quad \text{Avec} \quad E_0 \geq w_x \quad (I.7)$$

Où  $E_0$  est l'énergie du rayonnement incident.

L'ionisation de la matière par les photons est appelée « effet photoélectrique » et a été découverte en 1887 par Heinrich Hertz.



**Figure I. 9:** Ionisation par effet photoélectrique.

### I.7. Désexcitation :

L'état excité est instable et la durée de vie est très courte, de l'ordre de  $10^{-16}$  s. Les atomes ont tendance à revenir à l'état fondamental par une transition électronique de type Y-X, où l'électron passe du niveau d'énergie Y, Plus externe, à un autre niveau X ; libérée donc de l'énergie  $\Delta W = W_x - W_y$ . Dans le domaine de moyenne énergie étudié ici, l'ionisation se produit à un niveau profond.

L'énergie libérée  $\Delta W$  est émise sous forme de rayonnement caractéristique, et il existe deux modes possibles :

- Énergie de rayonnement électromagnétique : rayonnement X caractéristique.
- Énergie cinétique : électron Auger.

### I.8. Couches électroniques

Pour l'atome  ${}^A_ZX$ , nous l'utiliserons pour décrire le comportement de l'électron considéré, dont la fonction est similaire à celle obtenue dans le cas d'un atome d'hydrogène (fonction de type hydrogénoïde). A partir de ces fonctions (la charge  $Ze$  du noyau), on construit la fonction d'onde totale de l'atome à travers le produit tensoriel. Ces fonctions ne sont pas les mêmes parce que le noyau est différent, il est nécessaire de considérer l'existence d'autres électrons.

Afin de distinguer ces fonctions de l'état de l'atome d'hydrogène, nous les appelons orbitales atomiques. Chaque orbite est caractérisée par un ensemble de trois nombres quantiques: principal  $n$ , azimut  $l$  et magnétique  $m$ . Elle est également liée à l'énergie caractéristique. Cet ensemble d'orbitales sera utilisé pour décrire les électrons atomiques.

Selon la définition, un groupe d'électrons d'atomes décrits par le même nombre quantique principal  $n$  constitue une couche électronique. La façon dont les électrons d'un atome sont répartis dans les différentes couches de l'atome est appelée configuration électronique. Le nombre maximum d'électrons que peut contenir la couche  $n$  est donné par  $2n^2$  (Tableau I.1), le 2 vient du principe de Pauli.

- La couche **K**, contient deux électrons au maximum, subdivisée à une seule sous-couche **K**.
- La couche **L**, contient huit électrons au maximum, subdivisée à trois sous-couches **L<sub>1</sub>**, **L<sub>2</sub>** et **L<sub>3</sub>**.
- La couche **M**, contient dix-huit électrons au maximum, subdivisée à cinq sous-couches **M<sub>1</sub>**, **M<sub>2</sub>**, **M<sub>3</sub>**, **M<sub>4</sub>** et **M<sub>5</sub>**.
- La couche **N**, contient trente-deux électrons au maximum, subdivisée à sept sous-couches **N<sub>1</sub>**, **N<sub>2</sub>**, **N<sub>3</sub>**, **N<sub>4</sub>**, **N<sub>5</sub>**, **N<sub>6</sub>** et **N<sub>7</sub>**.

**Tableau I. 1:** Configuration électronique et moment angulaire total.

Couche	Sous-couche	Caractéristique de l'électron
K	K	1s ( $j=1/2$ )
L	L1	2s ( $j=1/2$ )
	L2	2p ( $j=1/2$ )
	L3	2p ( $j=3/2$ )
M	M1	3s ( $j=1/2$ )
	M2	3p ( $j=1/2$ )
	M3	3p ( $j=3/2$ )
	M4	3d ( $j=3/2$ )
	M5	3d ( $j=5/2$ )
N	N1	4s ( $j=1/2$ )
	N2	4p ( $j=1/2$ )
	N3	4p ( $j=3/2$ )
	N4	4d ( $j=3/2$ )
	N5	4d ( $j=5/2$ )
	N6	4f ( $j=5/2$ )
	N7	4f ( $j=7/2$ )

## I.9. Transitions électroniques et règles de sélection

Pour faire passer un électron de son état fondamental à un autre état excité, il faut lui fournir une énergie égale, au minimum, à la différence entre les deux niveaux d'énergie impliqués dans cette transition. Cependant toutes les transitions ne sont pas possibles. Celles qui sont possibles peuvent être résumées par les règles de sélection basées sur les variations des nombres quantiques des états électroniques (bien que pour certains éléments, des raies interdites soient observées).

Les règles de sélection de ces conversions sont données par :

$$\Delta n = 1$$

$$\Delta l = \pm 1 \quad (\text{I.8})$$

$$\Delta j = \pm 1, 0$$

Où  $l$  et  $j$  sont les nombres quantiques liés à l'orbite et au moment angulaire total de l'électron dans la transition, respectivement. La figure (I.10) illustre certaines des conversions autorisées.

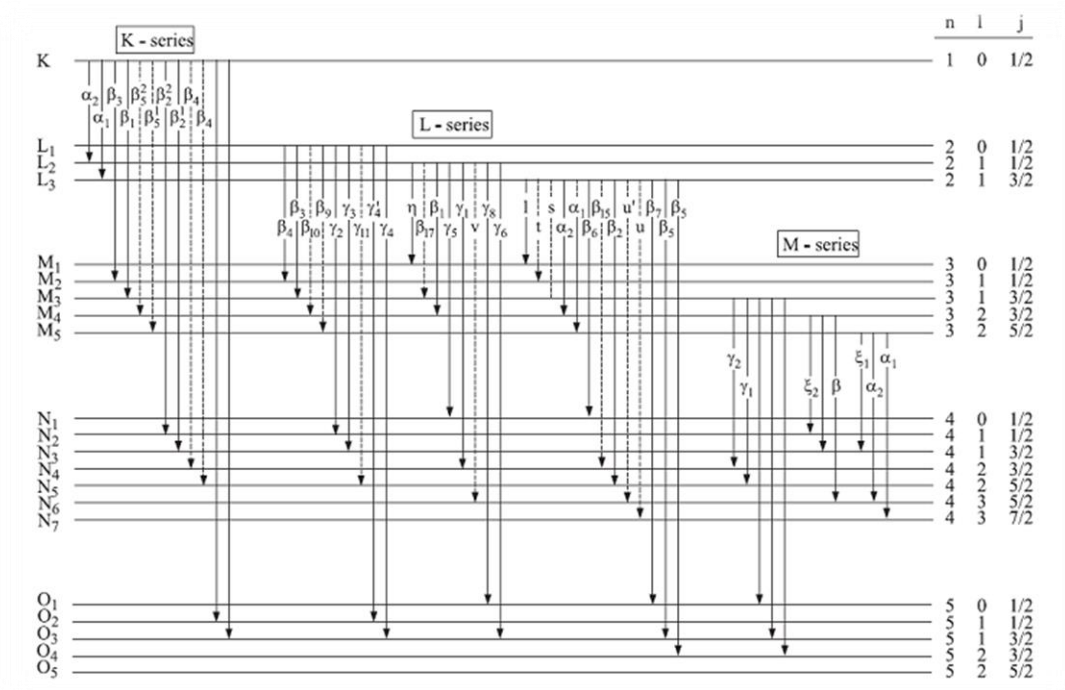


Figure I. 10: Transitions permises entre les couches électroniques.

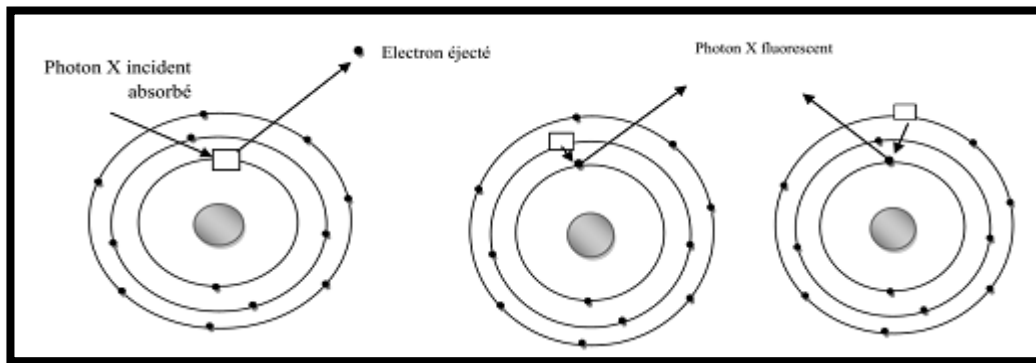
Si un électron de la couche K est arraché et remplacé par un électron de la couche L, une raie appelée  $K_{\alpha}$  est émise, et les électrons qui atteignent la couche K proviennent de la couche M, et la raie correspondante est appelé  $K_{\beta}$  et  $K_{\gamma}$  etc.

Si la vacance se trouve sur la couche L, Les électrons des couches M, N et O généreront respectivement les raies  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ ,  $L_{\gamma}$ . Par conséquent, afin de distinguer les rayons X de ces sous-couches, ces raies sont nommées  $K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\alpha 2}$ ,  $K_{\beta 1}$ ,  $K_{\beta 2}$ ,  $L_{\alpha 1}$ ,  $L_{\alpha 2}$  ...

### I.10.Fluorescence X

La fluorescence, ou l'émission de rayonnement des atomes, se produit après que les particules interagissent avec les atomes, provoquant leur excitation. Cela peut se produire pendant l'interaction où l'atome reçoit une quantité d'énergie suffisante pour déplacer l'électron de son état fondamental à l'état excité. Dans ce cas, l'atome excité retrouvera son état stable en revenant à sa configuration électronique initial. Les électrons de la couche supérieure tomberont pour remplir l'espace vide laissé par les électrons éjectés en émettant un rayonnement électromagnétique d'énergie équivalente pour convertir la différence d'énergie entre les deux niveaux d'énergie impliqués dans la transition. Ces rayonnements

sont appelés rayons X, et leur énergie est  $E_X = E_i - E_f$ , où  $E_i$  et  $E_f$  sont le niveau d'énergie initial et le niveau d'énergie final de la transition (Figure I.11). Il existe plusieurs transitions électroniques possibles, et afin de préciser ces différents types de transitions, nous utilisons le symbole généré par Siegbahn en 1927. On note donc du photon  $K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\alpha 2}$ ,  $K_{\beta 1}$ ,  $K_{\beta 2}$ ,  $L_{\alpha 1}$  ...



**Figure I. 11:** Excitation et désexcitation d'atome.

### I.10.1.Principe de la fluorescence X

Dans un analyseur FRX, l'échantillon est bombardé de rayons X, ce qui produit l'émission d'électrons, de rayons X et de raies de rayons X caractéristiques. Certains rayons X peuvent interférer avec les électrons de la couche Y interne de l'échantillon. Cela a conduit à leur expulsion. Les trous générés dans la couche interne Y sont immédiatement remplis d'électrons tombant de la couche externe X, où Y est un niveau plus haut que la couche externe X.

Chaque transition électronique émet des rayons X caractéristiques (photons fluorescents) dont l'énergie est égale à la différence d'énergie entre les deux couches électroniques :

$$\Delta E = E_x - E_y \quad (I. 9)$$

Par exemple, le passage d'un électron de sa couche initiale  $L_2$  à une couche plus profonde K implique une modification de son énergie de liaison, ce qui se traduit par l'émission d'un rayonnement X d'égale énergie :

$$\Delta E = E_k - E_{L2} \quad (I. 10)$$

Appelez alors cette transformation radiative.

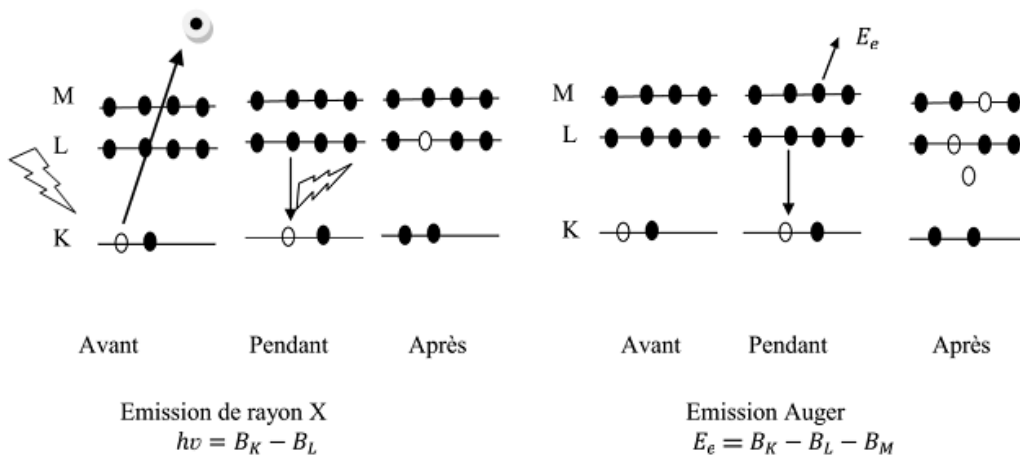
### I.11.Effet Auger

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

- Remplissage de la lacune en W par un électron d'un niveau moins énergétique X ; ce temps de relaxation est de  $10^{-14}$  à  $10^{-17}$  secondes.

- Transfert de l'énergie  $E_w - E_x$  à un électron d'un niveau Y tel que  $E_Y \leq E_w - E_x$ , qui sera éjecté dans le continuum. Cet électron, que nous appellerons électron Auger aura en première approximation une énergie :

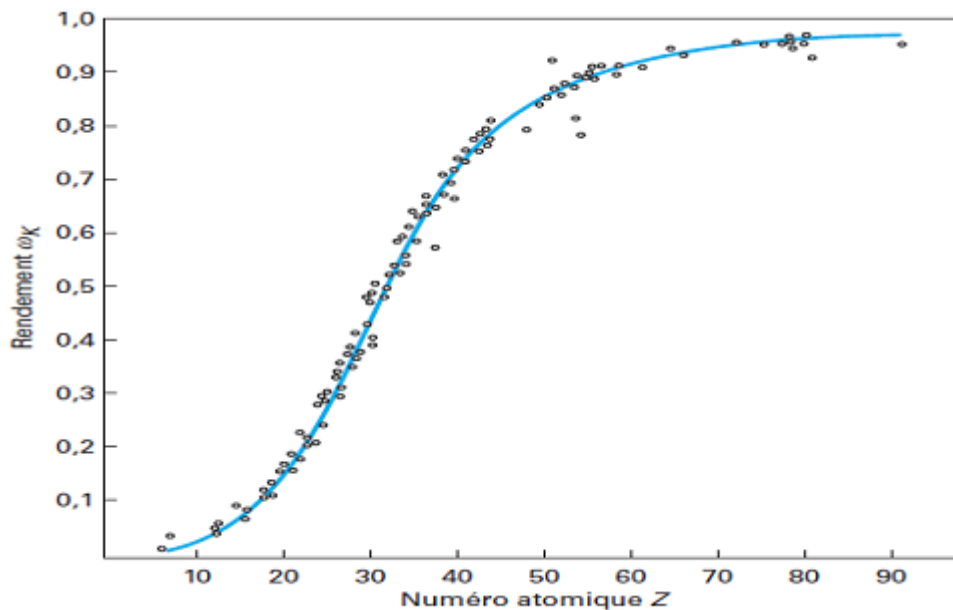
$$E_A = E_Y - E_W - E_A \quad (I. 11)$$



**Figure I. 12:** Émissions X et émission Auger (noir : l'état électronique est occupé ; blanc : l'état électronique est vide).

## I.12. Rendement de fluorescence

Les valeurs précises disponibles du rendement de fluorescence sont importantes pour différentes recherches dans des domaines tels que la physique atomique, la physique nucléaire, la science des matériaux et la physique appliquée. Cette énergie peut alors être dissipée directement par émission X, que l'on appelle émission radiative, Soit il est transféré à un électron périphérique, il est éjecté, puis on dit émission Auger, qui est un processus non radiatif qui entre en compétition avec l'émission X. La contribution relative de ces deux phénomènes est généralement caractérisée par le rendement de fluorescence  $\omega$  pour une couche donnée d'éléments Z. Ce paramètre représente la probabilité pour qu'une lacune créée sur la couche provoque l'émission de photons X (ou le rapport entre le nombre de photons émis et le nombre de lacunes créées dans la couche). Par exemple, la Figure I.13 illustre l'évolution du rendement de la couche K ( $\omega_K$ ) en fonction du numéro atomique Z. De toute évidence, l'émission Auger domine dans les faibles numéros atomiques, tandis que l'émission radiative domine dans les atomes lourds.



**Figure I. 13:** Rendement de fluorescence  $\omega$  en fonction du numéro atomique Z de la couche K.

Il est plus compliqué de définir le rendement de fluorescence de la couche atomique supérieure pour les deux raisons suivantes :

1. La couche au-dessus de la couche K se compose de plusieurs sous couche; le rendement moyen de fluorescence dépend de la façon dont la couche est ionisée.
2. Les transitions de Coster Kronig qui se produisent : ce sont des transitions non radiatives entre les sous-couches de la couche atomique avec le même nombre quantique principal.

Nous définissons le rendement de fluorescence  $\omega_K$  de la couche X comme étant la probabilité pour qu'une lacune électronique créée dans la couche X soit remplie par un électron, provoquant une transition radiative, qui est donnée par la formule suivante :

$$\omega_K = \frac{N}{N_x} = \frac{N_x}{N_x + N_A} \quad (\text{I. 12})$$

Où N est le nombre initial de lacunes d'électrons,  $N_x$  et  $N_A$  sont les nombres de transition radiative et non radiative d'Auger, respectivement ; cependant, cette définition ne s'applique qu'à la couche K.

Nous pouvons utiliser une autre relation liée à la section efficace pour écrire le rendement de fluorescence sous la forme :

$$\omega_K = \frac{\sigma_K^x}{\sigma_K^I} \quad (\text{I. 13})$$

Où  $\sigma_K^x$  est la section efficace de production du photon émis, et  $\sigma_K^I$  est la section efficace d'ionisation.

En 1955, prenant en compte l'effet de relativité, Burhop proposa cette expression empirique de ce rendement :

$$\left( \frac{\omega_K}{1-\omega_K} \right)^{1/4} = A + BZ + CZ^3 = P(Z) \quad (\text{I. 14})$$

Parmi eux,  $Z$  est le numéro atomique et  $A$ ,  $B$  et  $C$  sont des constantes.

Un aperçu des formules approximatives possibles pour l'ajustement semi-empirique de rendement de fluorescence de la couche  $K$  peut être trouvé dans Bambynek et al.

$$\omega_K = \frac{p^4(Z)}{1+p^4(Z)} \quad (\text{I. 15})$$

Avec :

$$P(Z) = A + BZ + CZ^3 \quad \text{Et} \left\{ \begin{array}{l} A = 0.015 \pm 0.01 \\ B = 0.0332 \pm 0.0005 \\ C = -(0.64 \pm 0.07) \times 10^{-6} \end{array} \right\}$$

La formule pour le rendement de fluorescence pour les orbites supérieures est plus compliquée.

### I.13. Transitions de Coster-Kronig

Pour  $L$ ,  $M$ , etc. La définition précédente de rendement de fluorescence n'est plus valide, car ces couches ont plusieurs niveaux d'énergie, et lacune électronique du niveau d'énergie le plus interne peut être transféré à un niveau d'énergie plus externe dans la même couche avant la transition radiative. La transition entre deux niveaux d'énergie dans la même couche est appelée "transitions Coster-Kronig".

La transition Coster-Kronig (inter-niveaux) est généralement plus rapide que la transition inter-couches (radiative ou non radiative). On peut voir à partir de ce phénomène qu'une grande proportion de lacunes produite sur les niveaux interne peut être trouvée dans les niveaux le plus externe de la couche.

#### I.13.1. Le rendement de fluorescence en absence et en présence de transitions de Coster-Kronig

Le terme de rendement de fluorescence de la couche supérieure est plus compliqué en raison de la transition Coster-kronig. Ces transitions sont non radiatives et se développent entre les sous-couches de la couche de même nombre quantique principal. En effet, la

transition Coster-Kronig modifie la répartition de la couche ionique en transférant l'ionisation d'une sous-couche à une autre avec une énergie plus faible.

Le rendement de fluorescence de la sous-couche  $i$  de la couche  $j$  ( $j = K, L, M, \dots$ ) est égal à :

$$\omega_{ji} = \frac{\sigma_{ji}^x}{\sigma_{ji}^I} \quad (\text{I. 16})$$

Par conséquent, la sortie totale de la couche  $j$  est égale à :

$$\omega_j = \sum_{i=1}^K N_{ji} \omega_{ji} \quad (\text{I. 17})$$

Où  $N_{ji}$  est la section efficace d'ionisation relative de la couche  $j$  de la sous-couche  $i$  :

$$N_{ji} = \frac{\sigma_{ji}^x}{\sum_i \sigma_{ji}^I} \quad (\text{I. 18})$$

Où  $\sum_i N_{ji}$  est égal à 1. Cependant, en présence de la transition de Coster Kronig, le rendement de fluorescence est donné par :

$$\omega_j = \sum_{i=1}^K V_{ji} \omega_{ji} \quad (\text{I. 19})$$

Où les  $V_{ji}$  est la section efficace d'ionisation relative de la sous-couche  $i$  de la couche  $j$ , y compris l'ionisation dérivée de la transition de Coster-Kronig ; leur somme à la couche  $l$  pour les sous-couches est supérieure à 1, et ils sont égaux à :

$$V_{j1} = N_{j1}$$

$$V_{j2} = N_{j2} + f_{12}^j N_{j1} \quad (\text{I. 20})$$

$$V_{j3} = N_{j3} + f_{23}^j N_{j2} + (f_{13}^j + f_{12}^j + f_{23}^j) N_{j1}$$

Où  $f_{ii}^j$  est la probabilité que la transition Coster-Kronig déplace l'ionisation de la sous-couche  $i$  à la sous-couche  $l$ .

Par conséquent, pour une couche L contenant trois niveaux d'énergie  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$ , par exemple, l'ionisation initiale dans  $L_1$  est transférée à  $L_2$  ou  $L_3$  et l'énergie disponible correspondante peut être utilisée pour libérer des électrons liés plus faibles. La transition entre ces trois niveaux d'énergie est appelée transition de Coster-Kronig, et leur relation est la suivante :

$$V_{L1} = N_{L1}$$

$$V_{L2} = N_{L2} + f_{12}^L N_{L1} \quad (\text{I. 21})$$

$$V_{L3} = N_{L3} + f_{23}^L N_{L2} + (f_{13}^L + f_{12}^L + f_{23}^L) N_{L1}$$

Parmi eux  $f_{12}$ ,  $f_{13}$ ,  $f_{23}$  sont les probabilités de la transition de Coster-Kronig entre  $L_1L_2$ ,  $L_1L_3$  et  $L_2L_3$ , comme le montre la figure I .14.

De plus, la largeur totale  $\Gamma_{Ti}$  d'un niveau d'énergie (atomes avec des lacunes dans un état excité) est la somme de la largeur de rayonnement (radiative)  $\Gamma_{Xi}$ , de la largeur non radiative  $\Gamma_{ai}$  et de la largeur de Coster –Kronig  $\Gamma_{Ki}$ . Le rendement de fluorescence est donc donné par :

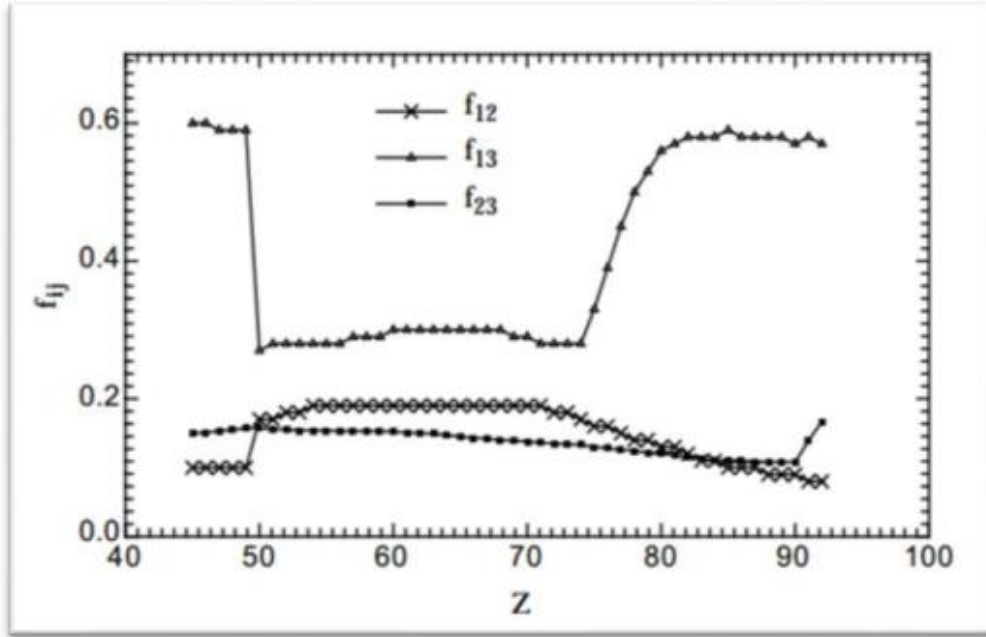
$$\omega_i = \frac{\Gamma_{Xi}}{\Gamma_{Ti}} \quad (\text{I. 22})$$

Le rendement Auger est :

$$a_i = \frac{\Gamma_{ai}}{\Gamma_{Ti}} \quad (\text{I. 23})$$

Et la probabilité de transition Coster-Kronig est donnée par la formule suivante :

$$F_{iK} = \frac{\Gamma_{Ki}}{\Gamma_{Ti}} \quad (\text{I. 24})$$



**Figure I. 14:** Transition de Coster-Kronig.

La probabilité totale  $\omega$  est définie comme la relation entre les trois probabilités de paramètres, à savoir le rendement de fluorescence, l'effet Auger et la transition Coster-Kronig :

$$\omega = \omega_i^K + a_i^K + \sum_{j=i+1}^K f_{ij}^K = 1 \quad (\text{I. 25})$$

$\omega_i^K$  Est le rendement de fluorescence,  $a_i^K$  est le rendement d'émission Auger,  $f_{ij}^K$  est le rendement Coster-Kronig.

### I.14. Section efficace d'interaction rayonnement matière

Pour l'étude de l'interaction rayonnement-matière, le concept de « section efficace d'interaction » sera très utile. Considérons une particule matérielle avec un rayon d'action  $r_0$ , il y a donc une section efficace  $s = \pi r_0^2$  dans la direction du rayonnement. De manière générale, chaque rayon passant par la section efficace ne produira pas une interaction donnée. Ensuite, nous avons parlé de collision rapide ou directe. Les partenaires en collision peuvent être considérés comme des charges ponctuelles.

Pour un mode d'interaction rayonnement-matière donné, nous pouvons définir la section efficace équivalente  $\sigma$ , de sorte que tout rayon traversant la section efficace subira cette interaction ;  $\sigma$  est appelée la section efficace de l'interaction.

La section efficace est inférieure ou égale à la section réelle  $s$ . La section efficace du volume de matière est égale à la somme des sections efficaces des particules dans le volume. Dans le cas particulier de la diffusion, on définit :

Différentiel de diffusion de section efficace  $\sigma(2\theta)$ , en ne considérant que l'angle  $2\theta$  avec la direction incidente Dans la direction de la diffusion (Figure I.15).

Considérons la section efficace de diffusion totale de tout l'espace :

$$\sigma_{\text{tot}} = \int_0^\pi \sigma(2\theta) d(2\theta) \quad (\text{I.26})$$

Si  $I_0$  est l'intensité du rayonnement incident et  $I(2\theta)$  est l'intensité du rayonnement diffusé dans la direction  $2\theta$ , nous avons la relation suivante:

$$\frac{I(2\theta)}{I_0} = \frac{\sigma(2\theta)}{s_0} \quad (\text{I.27})$$

Où  $s_0$  est l'unité de surface. De même, en considérant l'intensité de diffusion  $I_{\text{tot}}$  dans tout l'espace (angle solide  $4\pi$ ) :

$$\frac{I_{\text{tot}}}{I_0} = \frac{\sigma_{\text{tot}}}{s_0} \quad (\text{I.28})$$

La section efficace a la dimension de la surface ; La valeur mesurée est égale au rapport de l'intensité de diffusion sur l'intensité incidente.

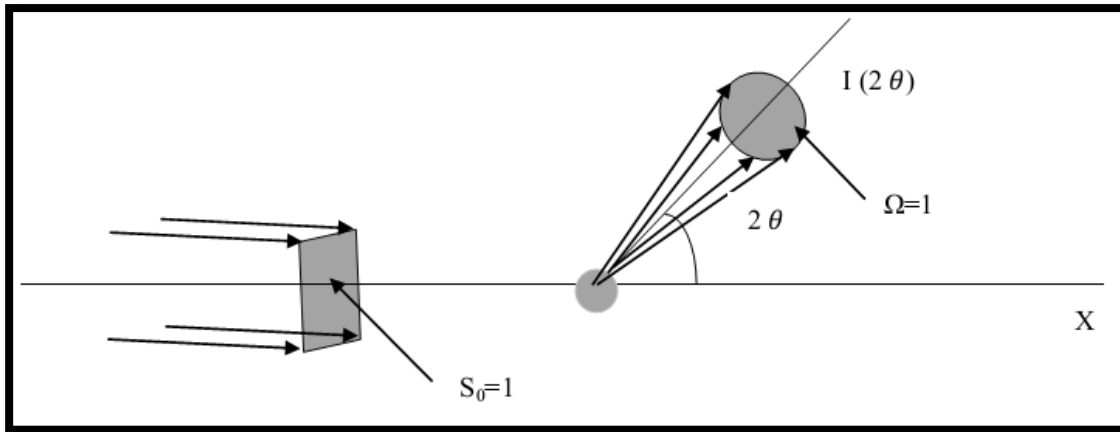


Figure I. 15: Diffusion à une direction  $2\theta$ .

### I.14.1. Section efficace d'ionisation par des particules chargées

Les particules faiblement chargées (proton ou alpha) sont le plus souvent utilisées comme projectiles. Dans la gamme d'énergie considérée, chaque noyau va de 0,5 à 5 MeV. Le modèle théorique fait l'explication de l'ionisation de la couche atomique profonde Basé sur l'interaction de Coulomb entre l'électron lié à l'atome et le noyau de la particule chargée incidente.

### I.14.2. La section efficace de production de rayons X

La section efficace d'une production de rayons X donnée est égale au produit de la section efficace d'ionisation de la couche considérée  $\sigma_I$  pour le rendement de fluorescence  $\omega$  comme suit :

$$\sigma_X = \sigma_I \omega \quad (I.29)$$

#### I.14.2.1. Section efficace de la couche K

Il existe une relation simple de rendement de fluorescence entre la section efficace de production de rayons X de la couche K et la section efficace d'ionisation de la même couche ( $\omega_K$ ), et l'émissivité des rayons X des différentes transitions vers la couche K ( $F_{K\alpha}$  et  $F_{K\beta}$ ). La section de production des raies K sera calculée par l'expression suivante :

$$\sigma_{K\alpha}^X = F_{K\alpha} \omega_K \sigma_K^I \quad (I.30)$$

$$\sigma_{K\beta}^X = F_{K\beta} \omega_K \sigma_K^I \quad (\text{I.31})$$

Avec le rapport d'intensité :  $F_{K\alpha} = \frac{1}{1 + \left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right)}$  et  $F_{K\beta} = \frac{1}{1 + \left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right)^{-1}}$

#### I.14.2.2. Section efficace de la couche L

La section efficace de production de la raie L et la section efficace d'ionisation sont reliées par une relation simple, qui implique les rendements de fluorescence des sous-couches :  $L_1, L_2, L_3$  et la probabilité Coster-Kronig et l'émission des rayons X de différents transitions.

Les sections de production des raies principales  $L_\alpha, L_\beta, L_\gamma$  seront calculées par les expressions suivantes :

$$\begin{aligned} \sigma_{L\alpha} &= [(f_{13} + f_{12}f_{23})\sigma_{L1} + f_{23}\sigma_{L2} + \sigma_{L3}]\omega_3 F_{3\alpha} \\ \sigma_{L\beta} &= [\omega_1 F_{1\beta} + f_{12}\omega_2 F_{2\beta}(f_{13} + f_{12}f_{23})\omega_3 F_{3\alpha}]\sigma_{L1} + (\omega_2 F_{2\beta} + f_{23}\omega_3 F_{3\beta})\sigma_{L2} + \\ &\quad \omega_3 F_{3\alpha}\sigma_{L3} \end{aligned} \quad (\text{I.32})$$

$$\sigma_{L\gamma} = (\omega_1 F_{1\gamma} + f_{12}\omega_2 F_{2\gamma})\sigma_{L1} + \omega_2 F_{2\gamma}\sigma_{L2}$$

Parmi eux :  $f_{ij}$  ( $i = 1,2$  et  $j = 2,3$ ) est la probabilité de transition Coster-Kronig.

$F_{iy}$  ( $y = \alpha, \beta, \gamma$ ) Est le taux d'émission de rayons X :

$$F_{iy} = \frac{\Gamma_{iy}}{\Gamma_i} \quad (\text{I.33})$$

Où  $\Gamma_i$  est la probabilité que l'électron passe au niveau d'énergie  $L_i$ , et  $\Gamma_{iy}$  est la probabilité d'émission du rayon  $L_y$  ( $y = \alpha, \beta, \gamma$ ):

Pour  $F_{3\alpha} = \frac{\Gamma_{3\alpha}}{\Gamma_3}$ ,  $\Gamma_3$  est la probabilité qu'un électron passe au niveau d'énergie  $L_3$  qui provoque l'émission de rayons X,  $F_{3\alpha}$  est la probabilité d'émettre des rayons  $X_{L\alpha}$ , c'est-à-dire les transitions  $\Gamma_3 \rightarrow M_5$  et  $\Gamma_3 \rightarrow M_4$ , résultant en les raies d'émission  $L_{\alpha 1}$  et  $L_{\alpha 2}$  étant respectivement.

Nous aurons également :

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

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

$$\Gamma_{2\beta} = \Gamma_2(M_4 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(M_3 \rightarrow L_2) \quad (I.34)$$

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

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

$$\Gamma_{3\beta} = \Gamma_3(N_1 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(N_4 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(N_5 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(O_1 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(O_4, O_5 \rightarrow L_3)$$

Avec:

$\Gamma_{1\beta}$  et  $\Gamma_{1\gamma}$  sont la probabilité que  $(M_2, M_3, M_4, M_5)$ ,  $(N_2, N_3)$  et  $(O_2, O_3)$  transmettent X à  $L_1$ .

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

$\Gamma_{3\alpha}$  et  $\Gamma_{3\beta}$  sont  $(M_4, M_5)$ ,  $(N_1, N_4, N_5)$  et  $(O_1, O_4, O_5)$  la probabilité d'émettre X vers  $L_3$ .

## Références bibliographiques

Benali Abdel-Hai, Année universitaire (2016/ 2017), Interaction rayonnement matière, El-Oued Université.

Bendjedi Ahlam., 2018. Etude des paramètres d'interaction des rayonnements ionisants avec la matière en vue des applications analytiques, Thèse de Doctorat de Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

Cours.univ-paris1., 2008. Eléments de physique du rayonnement / Le rayonnement-électromagnétique– UVED.

Dechoucha Samiya., 2013. Section efficaces semi-empiriques de production des couches M des éléments de numéro atomique  $60 \leq Z \leq 90$  par des protons en vue des applications analytique. Mémoire de Master Université de M'sila.

Deghfel Bahri., 2009. Détermination des sections efficaces d'ionisation et de production des raies M des éléments lourds. Thèse de Doctorat d'université Ferhat abbas – Sétif.

Hamid Ouamara., 2013. Comparaison de la micro-tomodensitométrie par comptage de photons et par intégration de charges avec le dispositif d'irradiation PIXSCAN. Aix-Marseille université, faculté des sciences163, avenue de Luminy13288 Marseille Cedex 09.

Kahoul Abedhalim., Année universitaire (2020/ 2021). Calcul de structure Atomique, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi-BBA.

Khaled Farah., 2010. Études spectroscopique des verres irradiés : application en dosimetrie nucléaire. Thèse de doctorat Université de Monastrie , Faculté des sciences de monastir.

Chapitre

2

*BASE DE DONNÉES DES RENDEMENTS  
DE FLUORESCENCE DE LA SOUS  
COUCHE L<sub>2</sub> POUR LES ÉLÉMENTS DE  
NUMÉRO ATOMIQUE  $40 \leq Z \leq 96$*

# Chapitre II : *BASE DE DONNÉES*

# 2

## II.1. Introduction

Le bagage important pour notre travail c'est l'ensemble des valeurs expérimentales des rendements de fluorescence de la sous couches L<sub>2</sub> publiées par les chercheurs dans les différentes revues scientifiques.

La collection de ces mesures expérimentale du rendement de fluorescence de la sous-couche L<sub>2</sub> forme ce qu'on appelé base de données.

Les données expérimentales que nous avons les collectées sont utilisées pour dériver des nouvelles valeurs empiriques et semi empiriques du rendement moyen de fluorescence de la sous-couche L<sub>2</sub> (Chapitre 3).

## II.2. la distribution de différente valeurs mesurées et les erreurs correspondantes

- La valeur moyenne est :

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i}{N} \quad (\text{II.1})$$

$\omega_i$ : Les rendements de fluorescence expérimentaux.

$N$ : Le nombre de données expérimentales.

- la valeur moyenne pondérée :

$$(\bar{\omega}_{L_2})_W = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{(\omega_{L_2})_{exp}}{(\Delta((\omega_{L_2}))_{exp})^2} \right)}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{(\Delta((\omega_{L_2}))_{exp})^2} \right)} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$(\omega_{L_2})_{exp}$  : est la valeur expérimentale

$\Delta((\omega_{L_2}))_{exp}$  : représente l'incertitude de la valeur expérimentale

N : est le nombre des valeurs expérimentales.

Avec aussi (L'erreur) :

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta(\omega_{L2})_i)^{-2}}} \quad (\text{II.3})$$

Et le rapport représente comme suit :

$$R = \frac{(\omega_{L2})_{\text{exp}}}{(\omega_{L2})_W} \quad (\text{II.4})$$

### II.3. Distribution des données expérimentales

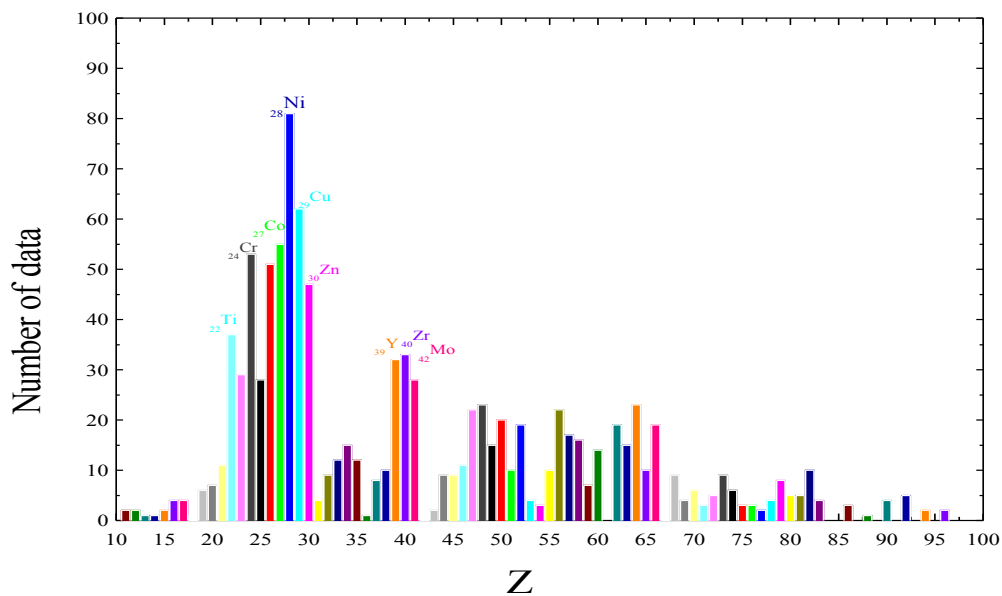
Notre base de données pour les rendements de fluorescence de la sous couche L<sub>2</sub> se fonde sur différentes publication :

(Haynes et Achor, 1955) , (Ross et al., 1955) , (Roos, 1959) , (Sujkowski et al., 1961) , (Salgueiro et al., 1961) , (Päschke et Physik, 1963) , (Jopson et al., 1964) , (Rao et Crasemann, 1965) , (Lazzaro et al., 1965), (Rao et Crasemann, 1965b), (Byrne et al., 1968), (Rao et al., 1969), (Freund et Fink, 1969), (Wood et al., 1969), (Palms et al., 1970), (McGeorge et al., 1970), (Mohan et al., 1970), (Mohan et al., 1970a), (Holmes et al., 1970), (McGeorge et al., 1971), (Budick et Derman, 1972), (Douglas et Can, 1972), (McGeorge et al., 1972), (Douglas et Can, 1973), (Weksler et al., 1973), (McGeorge et al., 1973), (Campbell et al., 1974), (McNelles et al., 1975), (Maio et al., 1975), (Budick et Derman, 1976), (Gnade et al., 1980), (Markevich et Budick, 1981), (Gnade et al., 1981), (Kodre et al., 1981), (Tan et al., 1982), (Jitschin et al., 1985), (Tan et al., 1988), (Werner et Jitschin, 1988), (McGhee et Campbell, 1988), (Stotzel et al., 1992), (Xu et Xu, 1994), (Sánchez et al., 1994), (Xu et al., 1994), (Ertuğrul, 1998), (Jitschin et al., 1999), (Öz et al., 2000), (Şahin et al., 2000), (Söğüt et al., 2001), (Kaya et al., 2001), (Ertuğrul, 2001), (Ertuğrul, 2001a), (Durak et Özdemir, 2001), (Barrea et al., 2002), (Barrea et al., 2002a), (Ertuğrul et al., 2002), (Kumar et al., 2002), (Özdemir et Durak, 2003), (Kaya and Ertuğrul, 2003), (Barrea et al., 2003), (Barrea et al., 2004), (Bonzi et Badiger, 2006), (Badiger et Edgardo, 2006), (Han et al., 2007), (Chauhan et al., 2008), (Söğüt et al., 2009), (Kumar et Puri, 2010), (Kolbe et al., 2012), (Kacal et al., 2012), (Turhan et al., 2014), (Kolbe et

Hönicke , 2015), (Aylikci et al., 2015), (Krishnananda et al., 2016), (Ménesguen et al., 2016).

#### II.4. Analyse des données

La distribution des valeurs expérimentales des rendements de fluorescence de la sous couche  $L_2$  utilisées dans ce travail en fonction du numéro atomique  $Z$  tel que ( $40 \leq Z \leq 96$ ) est présentée dans la figure II.1.



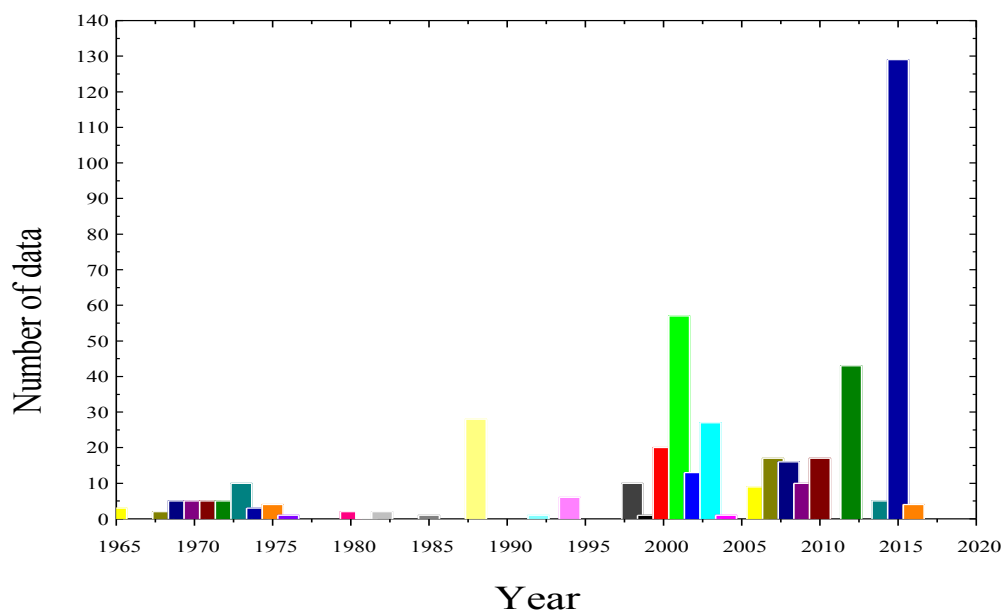
**Figure II. 1:** la distribution du nombre de données expérimentales du rendement de fluorescence de la sous couche  $L_2$  en fonction du numéro atomique  $Z$  des éléments entre Na ( $Z=11$ ) et Cm ( $Z=96$ ).

L'analyse de la distribution montre :

- Presque tous les éléments de  $_{11}\text{Na}$  à  $_{96}\text{Cm}$  sont couverts, à l'exception de 8 éléments tels que  $_{61}\text{Pm}$ ,  $_{84}\text{Po}$ ,  $_{85}\text{At}$ ,  $_{87}\text{Fr}$ ,  $_{89}\text{Np}$ ,  $_{91}\text{Am}$ , ne sont pas encore disponibles dus au fait qu'ils sont difficiles à manipuler et ne sont pas facilement disponibles.
- Il existe des cas particuliers où les données sont inférieures à deux valeurs ( $_{11}\text{Na}$ ,  $_{12}\text{Mg}$ ,  $_{13}\text{Al}$ ,  $_{14}\text{Si}$ ,  $_{15}\text{P}$ ,  $_{18}\text{Ar}$ ,  $_{36}\text{Kr}$ ,  $_{43}\text{Te}$ ,  $_{77}\text{Ir}$ ,  $_{88}\text{Ra}$ ,  $_{94}\text{Pu}$  et  $_{96}\text{Cm}$ ).

- Éléments applicables  $^{16}\text{S}$ ,  $^{17}\text{Cl}$ ,  $^{19}\text{K}$ ,  $^{20}\text{Ca}$ ,  $^{31}\text{Ga}$ ,  $^{32}\text{Ge}$ ,  $^{37}\text{Rb}$ ,  $^{44}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Rh}$ ,  $^{53}\text{I}$ ,  $^{54}\text{Xe}$ ,  $^{59}\text{Pr}$ ,  $^{68}\text{Er}$ ,  $^{69}\text{Tm}$ ,  $^{70}\text{Yb}$ ,  $^{71}\text{Lu}$ ,  $^{72}\text{Hf}$ ,  $^{73}\text{Ta}$ ,  $^{74}\text{W}$ ,  $^{75}\text{Re}$ ,  $^{76}\text{Os}$ ,  $^{78}\text{Pt}$ ,  $^{79}\text{Au}$ ,  $^{80}\text{Hg}$ ,  $^{81}\text{Tl}$ ,  $^{83}\text{Bi}$ ,  $^{86}\text{Rn}$ ,  $^{90}\text{Th}$  et  $^{92}\text{U}$ , le rendement de fluorescence de chaque élément est mesuré plus de 2 fois, moins de 10 mesures.
- Pour les éléments  $60 \leq Z \leq 67$ , présentent des valeurs expérimentales importantes dans lesquelles le nombre de données varie entre dix et vingt.
- Les cibles métalliques sont bien exploitée et comporte les plus grands nombres de données comme le nickel  $^{28}\text{Ni}$  et le cuivre  $^{29}\text{Cu}$ .

On conclue que les données des rendements de fluorescence sont assez bien couvertes pour le reste des numéros atomiques cibles. On a donc obtenu une énorme base de données regroupant 487 valeurs pour les rendements de fluorescence  $\omega$  de la sous-couche  $L_2$ .



**Figure II. 2:** Un histogramme du nombre de données expérimentales du rendement de fluorescence de la sous couche  $L_2$  en fonction de l'année de publication du travail original entre 1965 et 2016.

Nous avons présenté dans la figure II.2 l'histogramme du nombre de données expérimentales en fonction des années entre 1965 et 2016

- Absence de données expérimentales pour les années suivantes : 1956, 1957, 1958, 1960, 1962, 1966, 1967, 1977, 1978, 1979, 1983, 1984, 1986, 1987, 1989, 1990, 1991, 1993, 1995, 1996, 1997, 2005, 2011 et 2013.
- La présence de données expérimentales à un faible pourcentage, ne dépassant pas 10 valeurs pour les années suivantes : 1955, 1959, 1961, 1963, 1965, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1980, 1981, 1982, 1985, 1992, 1994, 1999, 2004, 2006 et 2016.
- Les données expérimentales existent dans un pourcentage moyen allant de 10 à 30 valeurs dans les années suivantes : 1964, 1973, 1988, 1998, 2000, 2002, 2003, 2017, 2008, 2009 et 2010.
- La présente base de données expérimentales à un taux élevé de sorte que : en 2001 on a 57 valeurs publiées, et 43 valeurs publiées en 2012 mais pour l'année 2014 nous avons collecté 85 valeurs. Le pourcentage le plus élevé pour les 129 valeurs publiées en 2015.

**Tableau II .1:** Résumé des rendements de fluorescence expérimentaux de la sous-couche  $L_2$  pour les éléments de  ${}_{40}\text{Zr}$  à  ${}_{96}\text{Cm}$  et la valeur moyenne pondérée  $(\omega_{L_2-W})$  avec les paramètres d'incertitudes

Z, Element	$(\omega_{L_2})_{\text{exp}} \pm \Delta((\omega_{L_2})_{\text{exp}})$	$R = \frac{(\omega_{L_2})_{\text{exp}}}{(\omega_{L_2})_W}$	References	$(\omega_{L_2})_W \pm \varepsilon$
40, Zr	0.0290±0.0020	1	(Kolbe et Hönicke , 2015)	0.0290±0.0020
42, Mo	0.0320±0.0010	1	(Kolbe et al., 2012)	0.0320±0.0010
45, Rh	0.0360±0.0040 0.0480±0.0070	0.9242 1.2322	(Markevich et Budick, 1981) (Bonzi et Badiger, 2006)	0.0390±0.0035
46, Pd	0.0500±0.0080 0.0460±0.0020	1.0814 0.9949	(Bonzi et Badiger, 2006) (Kolbe et al., 2012)	0.0462±0.0019
47, Ag	0.0510±0.0050 0.0670±0.0090 0.0550±0.0040	0.929 1.2205 1.0019	(Budick et Derman, 1976) (Jitschin et al., 1999) (Bonzi et Badiger, 2006)	0.0549±0.0030
48,Cd	0.0470±0.0040	1	(Bonzi et Badige, 2006)	0.0470±0.0040

49,In	0.0560±0.0050	1	(Bonzi et Badiger, 2006)	0.0560±0.0050
50,Sn	0.0710±0.0050 0.0669±0.0034 0.0597±0.0030 0.0646±0.0033 0.0655±0.0033	1.0993 1.0359 0.9244 1.0003 1.0142	(Bonzi et Badiger, 2006) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015)	0,0646±0,0015
51,Sb	0.0691±0.0035 0.0664±0.0034 0.0692±0.0035 0.0673±0.0034	1.0167 0.9769 1.0181 0.9902	(Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015)	0.0680±0.0017
52, Te	0.0710±0.0070 0.0698±0.0036 0.0730±0.0037 0.0745±0.0038 0.0720±0.0037	0.9837 0.967 1.0114 1.0322 0.9975	(Budick et Derman, 1972) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015)	0.0722±0.0018
53,I	0.0775±0.0040 0.0777±0.0040 0.0771±0.0039 0.0784±0.0040	0.9978 1.0004 0.9927 1.0094	(Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015)	0.0777±0.0020
55, Cs	0.1470±0.0150 0.0940±0.0090 0.1380±0.0110 0.0820±0.0060	1.4844 0.9492 1.3935 0.828	(Söğüt et al., 2001) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.0990±0.0044
56, Ba	0.0890±0.0070 0.0820±0.0050 0.0953±0.0049 0.0827±0.0042 0.0897±0.0046 0.1018±0.0052 0.0960±0.0100 0.0380±0.0060 0.1180±0.0010 0.1200±0.0010 0.1260±0.0010 0.1200±0.0100 0.1120±0.0080	0.7531 0.6939 0.8065 0.6998 0.7591 0.8615 0.8124 0.3216 0.9985 1.0155 1.0662 1.0155 0.9478	(Söğüt et al., 2001) (Badiger et Edgardo, 2006) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Barrea et al., 2004) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1182±0.0005
57, La	0.1120±0.0090 0.1130±0.0090 0.0820±0.0860 0.1100±0.0110 0.1240±0.0080 0.0971±0.0050 0.0919±0.0047 0.0947±0.0048 0.1146±0.0058 0.0970±0.0110 0.0770±0.0060 0.1180±0.0100 0.1030±0.0009 0.1040±0.0009 0.1020±0.0009 0.0750±0.0060	1.0915 1.1012 0.7991 1.072 1.2084 0.9463 0.8956 0.9229 1.1168 0.9453 0.7504 1.1499 1.0038 1.0135 0.994 0.7309	(Douglas et Can, 1973) (Douglas et Can, 1973) (Söğüt et al., 2001) (Xu et Xu, 1994) (Badiger et Edgardo, 2006) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Barrea et al., 2003) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1026±0.0005

58, Ce	0.0640±0.0060 0.0995±0.0051 0.0995±0.0051 0.0996±0.0051 0.1211±0.0062 0.1080±0.0110 0.0650±0.0050 0.0740±0.0050	0.7206 1.1203 1.1203 1.1214 1.3635 1.216 0.7319 0.8332	(Söğüt et al., 2001) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.0888±0.0020
59, Pr	0.0680±0.0070 0.1550±0.0090 0.1102±0.0056 0.1165±0.0059 0.1103±0.0056 0.1292±0.0066 0.1160±0.0130 0.0620±0.0040 0.1450±0.0100 0.1190±0.0030	0.6401 1.4591 1.0374 1.0967 1.0383 1.2162 1.092 0.5836 1.3649 1.1202	(Söğüt et al., 2001) (Badiger et Edgardo, 2006) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Barrea et al., 2003) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1062±0.0017
60, Nd	0.1280±0.0180 0.1210±0.0180 0.1050±0.0100 0.1214±0.0062 0.1237±0.0063 0.1205±0.0060 0.1396±0.0071 0.1180±0.0140 0.0990±0.0060 0.1250±0.0080 0.1190±0.0010 0.1220±0.0010 0.0980±0.0070	1.0649 1.0066 0.8735 1.0099 1.0291 1.0025 1.1614 0.9817 0.8236 1.0399 0.99 1.0149 0.8153	(Tan et al., 1988) (Tan et al., 1988) (Söğüt et al., 2001) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Öz et al., 2000) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1202±0.0007
62, Sm	0.1730±0.0140 0.1417±0.0100 0.1424±0.0073 0.1394±0.0071 0.1318±0.0067 0.1492±0.0076 0.1360±0.0130 0.1860±0.0100 0.1460±0.0100 0.1340±0.0011 0.1380±0.0011 0.1560±0.0120	1.0649 1.0066 0.8735 1.0099 1.0291 1.0025 1.1614 0.9817 0.8236 1.0399 0.99 1.0149	(Söğüt et al., 2001) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Stotzel et al., 1992) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1367±0.0007
63, Eu	0.1437±0.0100 0.1504±0.0077 0.1486±0.0076 0.1423±0.0073 0.1601±0.0082 0.1670±0.0014 0.1710±0.0014	0.8575 0.8975 0.8867 0.8491 0.9553 0.9965 1.0204	(Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008)	0.1676±0.0010
64, Gd	0.1820±0.0080 0.1990±0.0080 0.1650±0.0130 0.1690±0.0130 0.1740±0.0130 0.1650±0.0220	1.0793 1.1801 0.9785 1.0022 1.0319 0.9785	(Douglas et Can, 1972) (Douglas et Can, 1972) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Gnade et al., 1980)	0.1686±0.0025

	0.1590±0.0220 0.1597±0.0120 0.1596±0.0081 0.1639±0.0084 0.1569±0.0080 0.1699±0.0087 0.1560±0.0060 0.1760±0.0080	0.9429 0.9471 0.9465 0.972 0.9305 1.0075 0.9251 1.0437	(Gnade et al., 1981) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Öz et al., 2000) (Krishnananda et al., 2016)	
65, Tb	0.1650±0.0180 0.1510±0.0180 0.1940±0.0270 0.2020±0.0190 0.1820±0.0140 0.1870±0.0140 0.1890±0.0140 0.1793±0.0091 0.1753±0.0089 0.1651±0.0084 0.1806±0.0092 0.1680±0.0130 0.1870±0.0130 0.1740±0.0050 0.1860±0.0080 0.1570±0.0120	0.9364 0.8569 1.101 1.1464 1.0329 1.0612 1.0726 1.0175 0.9948 0.937 1.0249 0.9534 1.0612 0.9875 1.0556 0.891	(McGeorge et al., 1970) (McGeorge et al., 1971) (Sánchez et al., 1994) (Söğüt et al., 2001) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Öz et al., 2000) (Krishnananda et al., 2016) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1762±0.0026
66, Dy	0.1900±0.0190 0.1930±0.0150 0.1960±0.0150 0.1880±0.0140 0.1837±0.0140 0.1817±0.0093 0.1867±0.0095 0.1773±0.0090 0.1934±0.0099 0.1710±0.0190 0.1820±0.0110	1.026 1.0422 1.0584 1.0152 0.992 0.9812 1.0082 0.9574 1.0443 0.9234 0.9828	(Xu et al., 1994) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Öz et al., 2000)	0.1852±0.0036
67, Ho	0.1700±0.0550 0.1860±0.0230 0.1760±0.0230 0.2260±0.0320 0.1710±0.0170 0.2100±0.0170 0.2150±0.0170 0.2040±0.0170 0.2200±0.0400 0.1857±0.0150 0.1885±0.0096 0.1953±0.0100 0.1882±0.0096 0.2068±0.0105 0.1940±0.0200 0.1670±0.0110 0.1890±0.0150 0.1990±0.0210 0.2090±0.0090 0.1530±0.0120	0.8894 0.9731 0.9208 1.1824 0.8946 1.0987 1.1248 1.0673 1.151 0.9715 0.9862 1.0218 0.9846 1.0819 1.015 0.8737 0.9888 1.0411 1.0934 0.8005	(Holmes et al., 1970) (Gnade et al., 1980) (Gnade et al., 1981) (Sánchez et al., 1994) (Söğüt et al., 2001) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Jopson et al., 1964) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Öz et al., 2000) (Turhan et al., 2014) (Krishnananda et al., 2016) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.1911±0.0031
68, Er	0.2090±0.0400	0.918	(Şahin et al., 2000)	0.2277±0.0010

	0.2200±0.0220 0.2200±0.0100 0.2040±0.0170 0.2050±0.0170 0.2100±0.0170 0.2130±0.0170 0.2280±0.0180 0.1980±0.0160 0.2100±0.0400 0.1987±0.0160 0.1976±0.0101 0.2031±0.0104 0.1961±0.0100 0.2187±0.0112 0.1940±0.0190 0.2110±0.0120 0.2020±0.0100 0.2110±0.0190 0.2100±0.0190 0.2240±0.0200 0.2280±0.0018 0.2270±0.0018 0.2370±0.0019 0.1640±0.0130	0.9663 0.9663 0.896 0.9004 0.9224 0.9355 1.0014 0.8696 0.9224 0.8727 0.8679 0.892 0.8613 0.9606 0.8521 0.9267 0.8872 0.9267 0.9224 0.9838 1.0014 0.997 1.0409 0.7203	(Söğüt et al., 2001) (Barrea et al., 2002) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Kumar et Puri, 2010) (Chauhan et al., 2008) (Han et al., 2007) (Jopson et al., 1964) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Özdemir et Durak, 2003) (Kaya et al., 2001) (Öz et al., 2000) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Chauhan et al., 2008) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	
69, Tm	0.2188±0.0112 0.2198±0.0112 0.2386±0.0122 0.2232±0.0114	0.9743 0.9788 1.0625 0.9939	(Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015)	0.2246±0.0057
70, Yb	0.1880±0.0110 0.2390±0.0070 0.2360±0.0070 0.2170±0.0300 0.2630±0.0370 0.2470±0.0230 0.2580±0.0230 0.2490±0.0230 0.2400±0.0240 0.2160±0.0250 0.3150±0.0290 0.3400±0.0500 0.3180±0.0250 0.2170±0.0190 0.2160±0.0190 0.2290±0.0200 0.1650±0.0130	0.8216 1.0445 1.0314 0.9484 1.1494 1.0795 1.1276 1.0882 1.0489 0.944 1.3767 1.4859 1.3898 0.9484 0.944 1.0008 0.7211	(Mohan et al., 1970) (McNelles et al., 1975) (McNelles et al., 1975) (Tan et al., 1988) (Sánchez et al., 1994) (Söğüt et al., 2001) (Kumar et Puri, 2010) (Söğüt et al., 2001) (Xu et al., 1994) (Durak et Özdemir, 2001) (Söğüt et al., 2001) (Jopson et al., 1964) (Kaya et al., 2001) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.2288±0.0036
71, Lu	0.3300±0.0600 0.2380±0.0250 0.2360±0.0120 0.2374±0.0121 0.2332±0.0119 0.2502±0.0128 0.2550±0.0280 0.2350±0.0200 0.2340±0.0200 0.2480±0.0210	1.375 0.9916 0.9833 0.9891 0.9716 1.0425 1.0625 0.9791 0.975 1.0333	(Jopson et al., 1964) (Durak et Özdemir, 2001) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Turhan et al., 2014) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012)	0.2400±0.0052
72, Hf	0.2430±0.0150	0.925	(Werner et Jitschin, 1988)	0.2627±0.0040

	0.2650±0.0100 0.3700±0.0600 0.2539±0.0129 0.2527±0.0129 0.2573±0.0131 0.2703±0.0138 0.2650±0.0080 0.2730±0.0100	1.0088 1.4085 0.9665 0.962 0.9795 1.029 1.0088 1.0392	(Werner et Jitschin, 1988) (Jopson et al., 1964) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Öz et al., 2000) (Barrea et al., 2002a)	
73, Ta	0.2570±0.0130 0.2560±0.0130 0.2620±0.0150 0.2830±0.0100 0.2750±0.0500 0.2760±0.0280 0.2550±0.0200 0.2300±0.0400 0.2500±0.0200 0.3700±0.0600 0.2564±0.0131 0.2567±0.0131 0.2508±0.0128 0.2789±0.0142 0.2550±0.0200 0.2250±0.0190 0.2260±0.0190 0.2370±0.0200 0.2550±0.0200	0.9927 0.9889 1.0121 1.0932 1.0623 1.0661 0.985 0.8884 0.9657 1.4292 0.9904 0.9916 0.9688 1.0773 0.985 0.8691 0.873 0.9155 0.985	(Mohan et al., 1970a) (McGeorge et al., 1971) (Werner et Jitschin, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Ertuğrul, 2001) (Roos, 1959) (Rao et Crasemann, 1965b) (Jopson et al., 1964) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Ertuğrul, 2001a) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Ertuğrul, 1998)	0.2589±0.0038
74, W	0.2740±0.0160 0.2930±0.0110 0.3210±0.0500 0.2650±0.0290 0.2600±0.0200 0.2708±0.0138 0.2723±0.0139 0.2320±0.0118 0.2949±0.0150 0.3210±0.0250 0.2750±0.0190 0.2550±0.0260 0.2590±0.0180 0.0850±0.0060 0.2210±0.0170 0.2240±0.0170 0.2330±0.0180 0.2590±0.0180 0.2340±0.0180	1.3162 1.4074 1.5419 1.2729 1.2489 1.3008 1.308 1.1144 1.4166 1.5419 1.321 1.2249 1.2441 0.4083 1.0616 1.0760 1.1192 1.2441 1.1241	(Werner et Jitschin, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Ertuğrul, 2001a) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Kaya et al., 2001) (Öz et al., 2000) (Turhan et al., 2014) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Ertuğrul, 1998) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.2082±0.0033
75, Re	0.2680±0.0140 0.2861±0.0146 0.3684±0.0188 0.2687±0.0137 0.3127±0.0159 0.2720±0.0180 0.2570±0.0180 0.2570±0.0180	0.9442 1.0079 1.2979 0.9466 1.1016 0.9583 0.9054 0.9054	(Söğüt et al., 2009) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Ertuğrul, 2001a) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul, 1998)	0.2838±0.0057
76, Os	0.2730±0.0130 0.3150±0.0210	0.9031 1.042	(Söğüt et al., 2009) (Durak et Özdemir, 2001)	0.3023±0.0060

	0.3053±0.0156 0.3519±0.0179 0.3026±0.0154 0.3211±0.0164 0.2890±0.0220 0.2730±0.0210	1.0099 1.1641 1.001 1.0622 0.956 0.9031	(Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012)	
77, Ir	0.3230±0.0120 0.3350±0.0120 0.2870±0.0150 0.3173±0.0162 0.3548±0.0181 0.3146±0.0160 0.3286±0.0168	1.0014 1.0386 0.8898 0.9837 1.0999 0.9753 1.0187	(Werner et Jitschin, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Söğüt et al., 2009) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015)	0.3226±0.0055
78, Pt	0.3310±0.0290 0.3420±0.0340 0.3360±0.0340 0.3490±0.0210 0.3600±0.0130 0.3100±0.0400 0.4600±0.0700 0.2940±0.0150 0.3317±0.0290 0.3203±0.0163 0.3671±0.0187 0.3136±0.0160 0.3468±0.0177 0.3490±0.0260 0.3300±0.0250 0.3480±0.0260	0.9858 1.0185 1.0006 1.0394 1.0721 0.9232 1.3699 0.8756 0.9878 0.9539 1.0933 0.9339 1.0328 1.0394 0.9828 1.0364	(Han et al., 2007) (McGhee et Campbell, 1988) (McGhee et Campbell, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Roos, 1959) (Jopson et al., 1964) (Söğüt et al., 2009) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012)	0.3358±0.0053
79, Au	0.2600±0.0300 0.3430±0.0070 0.3290±0.0300 0.2700±0.0400 0.5000±0.0800 0.4010±0.0200 0.4030±0.0130 0.3940±0.0060 0.3530±0.0350 0.3060±0.0160 0.3297±0.0300 0.3384±0.0173 0.3822±0.0195 0.3393±0.0173 0.3521±0.0180 0.3950±0.0310 0.2940±0.0170 0.2570±0.0200 0.3590±0.0130 0.3740±0.0280 0.3940±0.0200 0.3590±0.0130 0.2940±0.0170 0.4010±0.0320	0.7247 0.9561 0.917 0.7526 1.3937 1.1177 1.1233 1.0982 0.9839 0.8529 0.919 0.9432 1.0653 0.9458 0.9814 1.101 0.8195 0.7164 1.0007 1.0425 1.0982 1.0007 0.8195 1.1177	(Päsche et Physik, 1963) (Lazzaro et al., 1965) (Han et al., 2007) (Roos, 1959) (Jopson et al., 1964) (Jitschin et al., 1985) (Werner et Jitschin, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Söğüt et al., 2009) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Kaya et al., 2001) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kolbe et al., 2012) (Ertuğrul, 1998) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.3588±0.0031
80, Hg	0.3190±0.0100 0.3350±0.0100 0.3520±0.0250	0.9296 0.9762 1.0257	(Palms et al., 1970) (McGeorge et al., 1971) (Durak et Özdemir, 2001)	0.3432±0.0042

	0.3710±0.0180 0.3690±0.0180 0.4230±0.0500 0.3980±0.0390 0.4330±0.0900 0.3900±0.0300 0.5800±0.1000 0.3440±0.0170 0.3514±0.0179 0.3885±0.0198 0.3445±0.0176 0.3650±0.0186 0.3320±0.0320 0.3370±0.0210 0.2790±0.0220 0.3380±0.0250 0.3230±0.0240 0.3380±0.0250 0.3370±0.0210	1.0811 1.0753 1.2326 1.1598 1.2618 1.1365 1.6902 1.0024 1.024 1.1321 1.0039 1.0636 0.9675 0.982 0.813 0.985 0.9412 0.985 0.982	(McGhee et Campbell, 1988) (McGhee et Campbell, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Haynes et Achor, 1955) (Rao et Crasemann, 1965) (Jopson et al., 1964) (Söğüt et al., 2009) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Turhan et al., 2014) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Ertuğrul, 1998)	
81, Tl	0.3190±0.0100 0.3310±0.0100 0.3580±0.0290 0.3530±0.0320 0.3910±0.0240 0.3890±0.0240 0.4200±0.0700 0.3950±0.0380 0.3200±0.0500 0.5700±0.1000 0.3630±0.0180 0.3537±0.0320 0.3563±0.0182 0.3994±0.0204 0.3496±0.0178 0.3772±0.0167 0.4240±0.0330 0.3620±0.0110 0.3330±0.3330 0.3670±0.0290 0.3830±0.0270 0.3630±0.0260 0.3790±0.0270 0.3330±0.0250 0.2430±0.0190	0.7456 0.9836 0.9434 0.7742 0.9147 0.9492 1.0266 1.0122 1.1212 1.1155 1.2044 1.1327 0.9176 1.6345 1.0409 1.0142 1.0217 1.1453 1.0025 1.0816 1.2158 1.038 0.9549 1.0524 1.0983	(Wood et al., 1969) (Wood et al., 1969) (Durak et Özdemir, 2001) (Han et al., 2007) (McGhee et Campbell, 1988) (McGhee et Campbell, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Sujkowski et al., 1961) (Jopson et al., 1964) (Söğüt et al., 2009) (Han et al., 2007) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Kaya et al., 2001) (Öz et al., 2000) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Ertuğrul, 1998) (Kaya and Ertuğrul, 2003)	0.3487±0.0036
82, Pb	0.3630±0.0150 0.3760±0.0150 0.4070±0.0100 0.3660±0.0260 0.3640±0.0260 0.3980±0.0200 0.3960±0.0200 0.4080±0.0240 0.4050±0.0140 0.4220±0.0700 0.3840±0.0380 0.2400±0.0400 0.3660±0.0080 0.5000±0.0800	0.9252 0.9583 1.0373 0.9328 0.9277 1.0144 1.0093 1.0398 1.0322 1.0755 0.9787 0.6117 0.9328 1.2743	(Rao et al., 1969) (Rao et al., 1969) (Kodre et al., 1981) (Tan et al., 1982) (Tan et al., 1982) (McGhee et Campbell, 1988) (McGhee et Campbell, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Werner et Jitschin, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Roos, 1959) (Durak et Özdemir, 2001) (Jopson et al., 1964)	0.3924±0.0035

	0.3670±0.0350 0.3970±0.0190 0.3677±0.0350 0.3780±0.0193 0.4169±0.0213 0.3831±0.0195 0.3891±0.0198 0.3850±0.0230 0.3990±0.0230 0.5130±0.0180 0.3640±0.0250 0.3480±0.0240 0.3620±0.0250 0.5130± 0.0180 0.3850±0.0230	0.9354 1.0118 0.9371 0.9634 1.0625 0.9764 0.9917 0.9812 1.0169 1.3075 0.9277 0.8869 0.9226 1.3075 0.9812	(Han et al., 2007) (Söğüt et al., 2009) (Han et al., 2007) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (kolbe et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kolbe et al., 2012) (Ertuğrul, 1998)	
83, Bi	0.3800±0.0200 0.3640±0.0270 0.3500±0.0300 0.3690±0.0230 0.3980±0.0500 0.4120±0.0400 0.5100±0.0800 0.3200±0.0400 0.3620±0.0350 0.4050±0.0210 0.3627±0.0350 0.3862±0.0197 0.4279±0.0218 0.3808±0.0194 0.3976±0.0203 0.3860±0.0120 0.3650±0.0360 0.3960±0.0290 0.3360±0.0260 0.4040±0.0270 0.3890±0.0260 0.4020±0.0270 0.3960±0.0290 0.4370±0.0220	0.9794 0.9382 0.9021 0.9511 1.0258 1.0619 1.3145 0.8248 0.933 1.0439 0.9349 0.9954 1.1029 0.9815 1.0248 0.9949 0.9408 1.0207 0.866 1.0413 1.0026 1.0361 1.0207 1.1264	(Freund et Fink, 1969) (Weksler et al., 1973) (Maio et al., 1975) (Maio et al., 1975) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Jopson et al., 1964) (Ross et al., 1955) (Han et al., 2007) (Söğüt et al., 2009) (Han et al., 2007) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Öz et al., 2000) (Turhan et al., 2014) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Ertuğrul, 1998) (Mènesguen et al., 2016)	0.3880±0.0050
86, Rn	0.4590±0.0250 0.4550±0.0250	1.0044 0.9956	(McGeorge et al., 1973) (McGeorge et al., 1973)	0.4570±0.0177
88, Ra	0.4930±0.0300 0.5000±0.0300 0.4980±0.0270	0.9918 1.0059 1.0019	(McGeorge et al., 1973) (McGeorge et al., 1973) (Campbell et al., 1974)	0.4971±0.0167
90, Th	0.4720±0.0800 0.5840±0.0470 0.5000±0.0300 0.4570±0.0260 0.4190±0.0210 0.4731±0.0241 0.5009±0.0255 0.4765±0.0243 0.4914±0.0251 0.4700±0.0340 0.5260± 0.0420 0.5220±0.0330	0.978 1.2101 1.036 0.9469 0.8682 0.9803 1.0379 0.9873 1.0182 0.9739 1.0899 1.0816	(Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Kumar et al., 2002) (Durak et Özdemir, 2001) (Söğüt et al., 2009) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Aylıkci et al., 2015) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Kacal et al., 2012)	0.4826±0.0076

	0.5130±0.0320 0.5202±0.0330 0.4700±0.0340	1.063 1.0779 0.9739	(Kacal et al., 2012) (Kacal et al., 2012) (Ertuğrul, 1998)	
92, U	0.5350±0.0420 0.5600±0.0330 0.5680±0.0330 0.4570±0.0280 0.4510±0.0280 0.4420±0.0600 0.5050±0.0500 0.4900±0.0300 0.5090±0.0320 0.4470±0.0220 0.4713±0.0240 0.4982±0.0254 0.4776±0.0244 0.5075±0.0259 0.4390±0.0330 0.2890±0.0230 0.4390±0.0330	1.1502 1.2039 1.2211 0.9825 0.9696 0.9502 1.0857 1.0534 1.0943 0.961 1.0132 1.071 1.0268 1.091 0.9438 0.6213 0.9438	(Byrne et al., 1968) (McGeorge et al., 1972) (McGeorge et al., 1972) (McGhee et Campbell, 1988) (McGhee et Campbell, 1988) (Şahin et al., 2000) (Söğüt et al., 2001) (Kumar et al., 2002) (Durak et Özdemir, 2001) (Söğüt et al., 2009) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Aylikci et al., 2015) (Ertuğrul, 2001) (Ertuğrul et al., 2002) (Ertuğrul, 1998)	0.4652±0.0017
93, Np	0.4930±0.0420	1	(Weksler et al., 1973)	0.4930±0.0420
94, Pu	0.5230±0.0230 0.5130±0.0220 0.5200±0.0220 0.4850±0.0260 0.4890±0.0260 0.4130±0.0200	1.073 1.0525 1.0668 0.995 1.0032 0.8473	(Byrne et al., 1968) (McGeorge et al., 1973) (McGeorge et al., 1973) (Campbell et al., 1974) (Campbell et al., 1974) (Salgueiro et al., 1961)	0.4874±0.0093
96, Cm	0.5520±0.0320 0.5470±0.0320 0.4830±0.0540 0.4810±0.0540	1.0377 1.0283 0.908 0.9042	(McGeorge et al., 1971) (McGeorge et al., 1971) (McGhee et Campbell, 1988) (McGhee et Campbell, 1988)	0.5320±0.0195

## Références bibliographiques

Aylikci, V., Kahoul, A., Aylikci, N.K., Tıraşoğlu, E., Karahan, I.H., Abassi, A., Dogan, M., 2015. Empirical and semi-empirical interpolation of L X-ray fluorescence parameters for elements in the atomic range  $50 \leq Z \leq 92$ . *Radiat. Phys. Chem.*, 106, 99-125.

Badiger, N.M., Bonzi, E.V., 2006. Experimental determination of L subshell fluorescence yields of Ba, La and Pr using synchrotron radiation. *Nucl. Instr. Meth. B* 243: 34-37.

Barrea, R.A., Pérez, C.A., Sánchez, H.J., 2004. Barium L subshells Coster–Kronig and fluorescence yields by the subshell selective photoionization method. *Nucl. Instr. Meth. B* 215, 308–316.

Barrea, R.A., Pérez, C.A., Sánchez, H.J., 2002. Erbium L-subshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 35: 3167-3178.

Barrea, R.A., Pérez, C.A., Sánchez, H.J., 2002a. Hafnium L-subshell Coster–Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron photoionization. *Spectro. chimica Acta B* 57, 999–1008.

Barrea, R.A., Pérez, C.A., Sánchez, H.J., 2003. Determination of L-subshell Coster–Kronig and fluorescence yields of lanthanum and praseodymium by synchrotron radiation photoionization. *Spectro. chimica Acta B*, 58, 51-52.

Bonzi, E.V., Badiger, N.M., 2006. Measurement of L subshell fluorescence yields of elements in the range  $45 \leq Z \leq 50$  using synchrotron radiation. *Nucl. Instr. Meth. B* 248, 242-246.

Budick, B., Derman, S., 1972. L-Subshell Fluorescence Yields for Silver and Tellurium. *Phys. Rev. Lett.* 29, 1055-1058.

Byrne, J., Gelletly, W., Ross, M.A.S., Shaikh, F., 1968. *L<sub>2</sub>-Subshell Yield Measurements in Pu<sup>240</sup>, U<sup>236</sup>, and U<sup>234</sup>*. Phys. Rev. 170, 80-90.

Chauhan, Y., Tiwari, M.K., Puri, S., 2008. L<sub>i</sub>(i= 1-3) subshell X-ray production cross sections and fluorescence yields for some elements with  $56 \leq Z \leq 68$  at 22.6 keV. Nucl. Instr. Meth. B 266, 30-36.

Campbell, J.L., McNelles, L.A., Geiger, J.S., Graham, R.L., Merritt, J.S., 1974. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition rates at Z=88 and 94. Can. J. Phys. 52, 488-498.

Durak. R., Ozdemir. Y., 2001. Experimental determination of L subshell fluorescence yields for heavy elements at 59.54 keV. J. Analy. At. Spectrom. 16; 1167-1171.

Douglas, D.G., 1973. Measurement of L Subshell Yields of La by Means of Coincidence and Critical Absorption. Can J. Phys. 51, 1519-1523.

Douglas, D.G., 1972. Use of <sup>155</sup>Eu in the Measurement of Gd L Subshell Yields . Can. J. Phys. 50, 1697-1704.

Ertuğrul, M., 1998. 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. Rad. Nucl. Chem. 237, 139-142.

Ertuğrul, M., 2001. 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. Instr. Science Tech. 29, 215-222.

Ertuğrul, M., 2001a. Measurements of L<sub>3</sub>l, L<sub>3</sub>α, L<sub>3</sub>β, L<sub>2</sub>β, L<sub>2</sub>γ, L<sub>1</sub>β, L<sub>1</sub>γ, Lβ, Lγ, 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. 34, 2081–2088.

Ertuğrul, M., Kaya, A., Doğan, O., Turgu, Ü., Şimşek, Ö., Soğüt, Ö., Karagoz, D., 2002. 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. 31, 53–56.

Ertuğrul, M., 2002. *Measurement of  $L_3$  subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range  $57 \leq Z \leq 68$  using photoionisation*. App. Rad. Isot. 57, 57-61.

Freund, H.U., Fink, R.W., 1969. Bismuth L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities from Decay of  $Pb^{210}$  (RaD). Phys. Rev. 178, 1952-1961.

Jitschin, W., Materlik, G., Werner, U., Funke, P., 1985. Coster-Kronig and fluorescence yields of Au L subshells derived from photoionization measurements. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 18, 1139-1154.

Jitschin, W., Stötzel, R., Papp, T., Sarkar, M., 1999. Coster-Kronig, fluorescence, and Auger yields of the  $_{47}Ag$  L subshells measured through synchrotron photoionization. Phys. Rev. A 59, 3408-3414.

Jopson, R.C., Khan, J.M., Hark H., Swift, C.D., Williamson, M.A., 1964. Fluorescence Yields of the LII and LIII Shells in Heavy Elements. Phys. Rev. 133, A381-385.

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

Haynes, S.K., Achor, W.T. 1955. Une étude des électrons Auger du niveau L émis dans la désintégration de  $^{199}Au$  J. Phys. Radium 16, 635-63.

Holmes, C.P., Kostroun, V.O., 1970. Bull. Am. Phys. 15, 561.

Gnade, B.E., Braga, R.S., Fink, R.W., 1980. L<sub>2, 3</sub>-subshell x-ray fluorescence and Coster-Kronig yields at  $Z=64$  and  $67$ , Phys. Rev C 21, 2025-2033.

*Gnade, B.E., Braga., R.S., Fink, R.W, 1981. L2, 3-subshell x-ray fluorescence and Coster-Kronig yields, Erratum. Phys. Rev. C 23, 580-580.*

Kacal, M.R., Han, I., Akman, F., Durak, R., 2012. Measurement of L subshell fluorescence yields for high-Z elements excited by 22.6 keV photons. *J. Quant. Spectr. Rad. Transf* 113, 373–381.

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

Kaya, A., Ertugrul., M., 2003. Measurement of L X-ray production cross sections and  $L_i$  subshell fluorescence yields. *J. Elec. Spectr. Relat. Phen.* 130, 111–118.

Kodre, A., Hribar, M., Ajlec, B., Pahor., J., 1981. L-subshell fluorescence yields of lead. *Z. Phys. A* 303, 23-26.

Kolbe, M., Hönicke, P., 2015. Fundamental parameters of Zr and Ti for a reliable quantitative X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrom.* 44, 217-220.

Kolbe, M., Hönicke, P., Muler, M., Beckhoff, B., 2012. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition probabilities with a reliable uncertainty budget for selected high- and medium-Z elements. *Phys. Rev. A* 86, 042512.

Krishnananda, Mirji, S., Badiger, N.M., Tiwari, M.K., 2016. Effect of chemical environment on L subshell fluorescence yields using synchrotron radiation. *J. Alloy. Comp.* 656, 357-361.

Kumar, A., Puri, S., 2010. L1 and L2 subshell fluorescence yields for elements with  $64 < Z < 70$ . *Nucl. Instr. Meth. B* 268, 1546-1550.

Kumar, A., Puri, S., Mehta, D., Garg, M.L., Singh, N., 2002. L1–L3 Coster–Kronig and  $L_i$  ( $i = 1,2,3$ ) subshell fluorescence yields for Th and U, *X-Ray Spectrom.* 31, 103-108.

Lazzaro, M.A.D., Missoni, G., 1965. Istituto di Superiore di Sanita, Laboratori di Fisica Report (in English) ISS-65/11, Rome, Italy (unpublished).

Markevich, D., Budick, B., 1981. Fluorescence yields for the rhodium L shell. J. Phys. B: At. Mol. Phys, 14, 1553-1564.

Maio, A., Ribeiro, J.P., Barroso, A., Barroso, F.B., 1975. L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> subshell yields of bismuth. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 8, 1216-1219.

McGeorge, J.C., Freund, H.U., Fink, R.W., 1970. 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. A 154, 526-538.

McGeorge, J.C., Mohan, S., Fink, R.W., 1971. Reevaluation of L<sub>2</sub>-Subshell Coster-Kronig Transition Probability and Fluorescence Yield below Z=81. Phys. Rev. A 4, 1317-1319.

McGeorge, J.C., Nix, D.W., Fink, R.W., 1973. 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. 6, 573-583.

McGhee, L., Campbell, J.L., 1988. 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. 21, 2295-2310.

McNelles, L.A., Campbell, J.L., Geiger, J.S., Graham, R.L., Merritt, J.S., 1975. L Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transitions at Z = 70. Can. J. Phys. 53, 1349-1359.

Mohan, S., Fink, R.W., Wood, R.E., Palms, J.M., Rao, P.V., 1970a. Electron Capture Decay of <sup>181</sup>W: L Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Ta. Z. Phys. 239, 423-428.

Mohan, S., Freund, H.U., Fink, R.W., Rao, P.V., 1970. Decays of Tm<sup>170</sup> and Tm<sup>171</sup>: L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> Subshell-Fluorescence Yields, Coster-Kronig Transition Probabilities, and K-Shell Conversion Coefficients in Yb. Phys. Rev. C 1, 254-259.

Özdemir, Y., Durak, R., 2003. 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. Quant. Spectr. Rad. Transf* 77, 95–103.

Öz, E., Özdemir, Y., Ekinçi, N., Ertugrul, M., Sahin, Y., Erdogan, H., 2000. 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  $59 \leq Z \leq 85$ . *Spectroch. Acta Part B* 55, 1869-1877.

Palms, J.M., Wood, R.E., Rao, P.V., Kostroun, V.O., 1970. Fluorescence and Coster-Kronig Yields of L Subshells in Hg from the Decay of  $^{198}\text{Au}$  and  $^{204}\text{Tl}$ . *Phys. Rev. C* 2, 592-595.

Päschke, R., 1963. Messung der L-Auger, Fluoreszenz- und Coster-Kronig-Ausbeuten von Gold. *Z Physik*. 176, 143-154.

Rao, P.V., Crasemann, B., 1965. L/K X-Ray Intensity Ratio in the Decay of  $\text{Tl}204$  and L-Shell Fluorescence Yields of Hg. *Phys. Rev.* 137, 64-71.

Rao, P.V., Wood, R.E., Palms, J.M., Fink, R.W., 1969. Electron-Capture Decay of  $\text{Bi}207$ : L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Pb. *Phys. Rev.* 178, 1997-2006.

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

Ross, M.A.S., Cochran, A.J., Hughes, J., Feather, N., 1955. *Proc. Phys. Soc. (London)*. A68, 612.

Şahin, M., Demir, L., Söğüt, Ö., Ertuğrul, M., İçelli, O., 2000. 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.* 33, 93-98.

Salgueiro, L., Ferreira, J.G., Park, J.J.H., Ross, M.A.S., 1961. Fluorescence and Other yields of the  $L_{II}$  Shell in Pu. *Proc. Phys. Soc. (London)* 77, 657-664.

Sanchez, H.J., Rubio, M., Perez, R.D., 1994. Emilio Burattini. L-Subshell Fluorescence Yields Measured with Synchrotron Radiation. X-Ray Spectrom. 23, 267-271.

Söğüt, Ö., Apaydın, G., Şimşek, Ö., Cengiz, E., Saydam, M., Aylıkçı, N.K., Tıraşoğlu, E., 2009. Measurement of L subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range  $75 \leq Z \leq 92$  using photoionization. Radiat. Phys. Chem. 78, 307-310.

Soğüt, Ö., Ertuğrul, M., Büyükkasap, E., 2001. L-Subshell Fluorescence Yield Ratios,  $\omega_1/\omega_2$ ,  $\omega_1/\omega_3$  and  $\omega_2/\omega_3$ , for the Elements  $55 \leq Z \leq 92$ . X-ray Spectrom. 30, 427-430.

Stötzel, R., Werner, U., Sarkar, M., Jitschin, W., 1992. Fluorescence, Coster-Kronig and Auger yields of the, Sm L subshells measured with the synchrotron photoionization method. 1. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 8, 2295-2307.

Sujkowski, Z., Melin, O., 1961. Arkiv Fys., Phys. 20, 193.

Tan, M., Braga, R.A., Fink, R.W., Rao, P.V., 1988.  $L_{2,3}$  Subshell X-Ray Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Nd and Yb. Phys. Scripta. 37, 62-65.

Tan, M., Braga, R.A., Fink, R.W., Venugopala, R., 1982. X-Ray Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of the L1, L2 and L3 subshells of Pb, Phys. Scrip. 25, 536-547.

Turhan, M.F., Durak, R., Akman F., 2014. Determination of L X-ray fluorescence parameters for Ho, Lu, W, Hg and Bi. Appl. Rad. Isot. 89, 151-158.

Weksler, M., de Pinho, A.G., 1973. X-Ray Spectra, L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Bismuth and Neptunium. Rev. Bras. Fis. 3, 291-309.

Werner, U., Jitschin, W.L., 1988. Vacancy Decay in Heavy Elements ( $72 \leq Z \leq 82$ ) by the Synchrotron Photo-ionization Method. Phys. Rev. A 38, 4009-4018.

Xu, J.Q., Xu, X.J., 1994. L (1)-Subshell and L (2)-Subshell Fluorescence Yields of Lanthanides. Phys. Rev. A 49, 2191-2194.

Yves Ménesguen, Y., Boyer, B., Rodrigues, M., Lépy, M.C., 2016. Measurement of partial L fluorescence yields of bismuth using synchrotron radiation. *App. Rad. Isot.* 190, 133-138.

Chapitre

3

*CALCUL SEMI EMPIRIQUE DES  
RENDEMENTS DE FLUORESCENCE DE  
LA SOUS-COUCHE L<sub>2</sub> POUR LES  
ÉLÉMENTS AVEC  $40 \leq Z \leq 96$*

# Chapitre III : *CALCUL SEMI EMPIRIQUE*



## III.1. Introduction

L'approximation semi-empirique (méthode) consiste à s'inspirer du processus d'ajustement de la valeur expérimentale de la fonction pour construire une courbe dite « universelle ». Ils ont été choisis de manière à pouvoir s'adapter à la plupart des données expérimentales et sont généralement cohérents avec les prédictions théoriques ; certains d'entre eux se limitent à l'ionisation des protons vers la couche K, tandis que d'autres se limitent à l'ionisation des protons vers la sous-couche Li.

Dans ce chapitre nous avons montré les résultats de calcul semi empirique des rendements de fluorescence de la sous couche  $L_2$ , les résultats obtenus sont comparés avec des autres valeurs théoriques, expérimentales et semi-empiriques publiés par des autres auteurs.

## III.2. Méthodes de calcul et résultats

Nous présentons des nouveaux paramètres pour le calcul du rendement de fluorescence de la sous-couche ( $L_2$ ) pour les cibles de  $_{40}\text{Zr}$  à  $_{96}\text{Cm}$ . Les valeurs moyennes pondérées ont été utilisées pour le calcul de rendement de fluorescence semi empirique de la sous couche  $L_2$  (tableau II.1-chapitre II-). En tenant compte l'approximation d'ordre trois.

On a utilisé logiciel l'origine version 6.0 pour déterminer l'approximation polynomiale sous la forme suivante :

$$Y(X) = aX^3 + bX^2 + cX + d$$

- D'abord pour le rapport  $R(X)$ :

Le rapport R est présenté comme fonction de Z. La fonction est tracée dans la figure III.1 en fonction du nombre atomique Z.

$$R(Z) = 2,5895421839 - 0,074383225 Z + 0,0011212967Z^2 - 5,4353590535 \times 10^{-6} Z^3$$

Sachant que :  $a = -5,4353590535 \times 10^{-6}$

$$b = 0,0011212967$$

$$c = -0,074383225$$

$$d = 2,5895421839$$

- Ensuite pour La valeur moyenne pondérée réduite  $\left(\frac{(\overline{\omega_{L_2}})_W}{1-(\overline{\omega_{L_2}})_W}\right)^{\frac{1}{4}}$  :

La valeur moyenne pondérée réduite est présentée aussi comme fonction de Z. La fonction est tracée dans la figure III.2 en fonction du nombre atomique Z.

$$\left(\frac{(\overline{\omega_{L_2}})_W}{1-(\overline{\omega_{L_2}})_W}\right)^{\frac{1}{4}} = 0,5265051629 - 0,0158491229 Z + 4,0540043813 \times 10^{-4} Z^2 - 1,9377290537 \times 10^{-6} Z^3$$

Sachant que :  $a = -1,9377290537 \times 10^{-6}$

$$b = 4,0540043813 \times 10^{-4}$$

$$c = -0,0158491229$$

$$d = 0,5265051629$$

Depuis la distribution linéaire des valeurs expérimentales, afin de déterminer le rendement de fluorescence de la sous couche L<sub>2</sub>, Nous avons utilisé l'expression empirique de chapitre I (I.14) :

$$\left(\frac{\omega_{L_2}}{1-\omega_{L_2}}\right)^{\frac{1}{4}} = f(Z) \quad (III.1)$$

$$\left(\frac{\omega_{L_2}}{1-\omega_{L_2}}\right) = f(Z)^4$$

$$\omega_{L_2} = (1 - \omega_{L_2})f(Z)^4$$

$$\omega_{L_2} = f(Z)^4 - \omega_{L_2}f(Z)^4$$

$$\omega_{L_2} + \omega_{L_2}f(Z)^4 = f(Z)^4$$

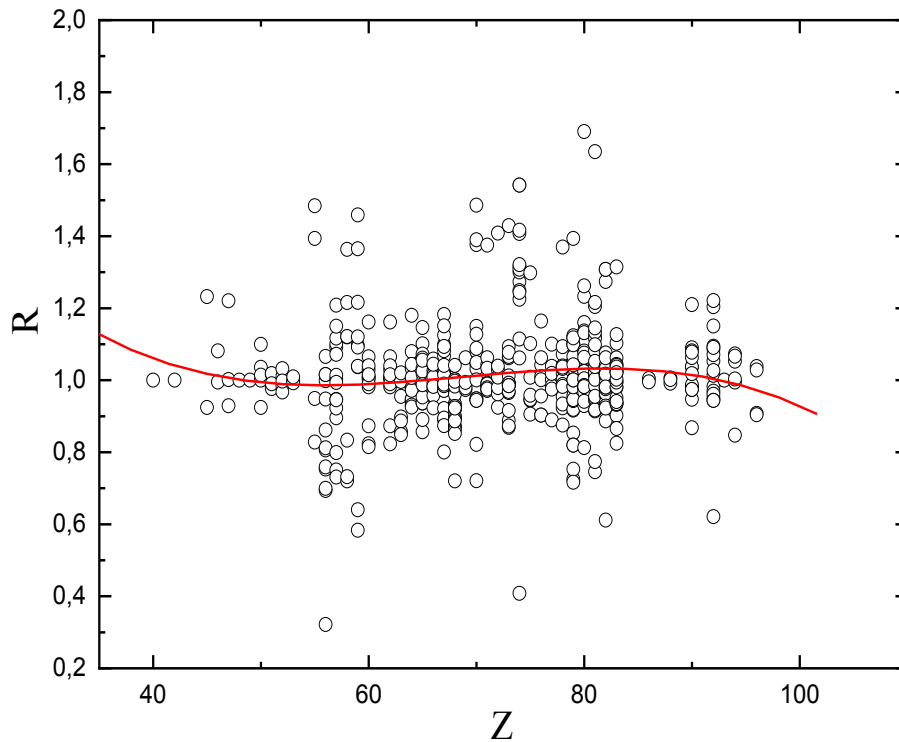
$$\omega_{L_2} (1 + f(Z)^4) = f(Z)^4$$

D'après la démonstration pour déterminé le rendement de fluorescence moyen empirique est écrit comme suit :

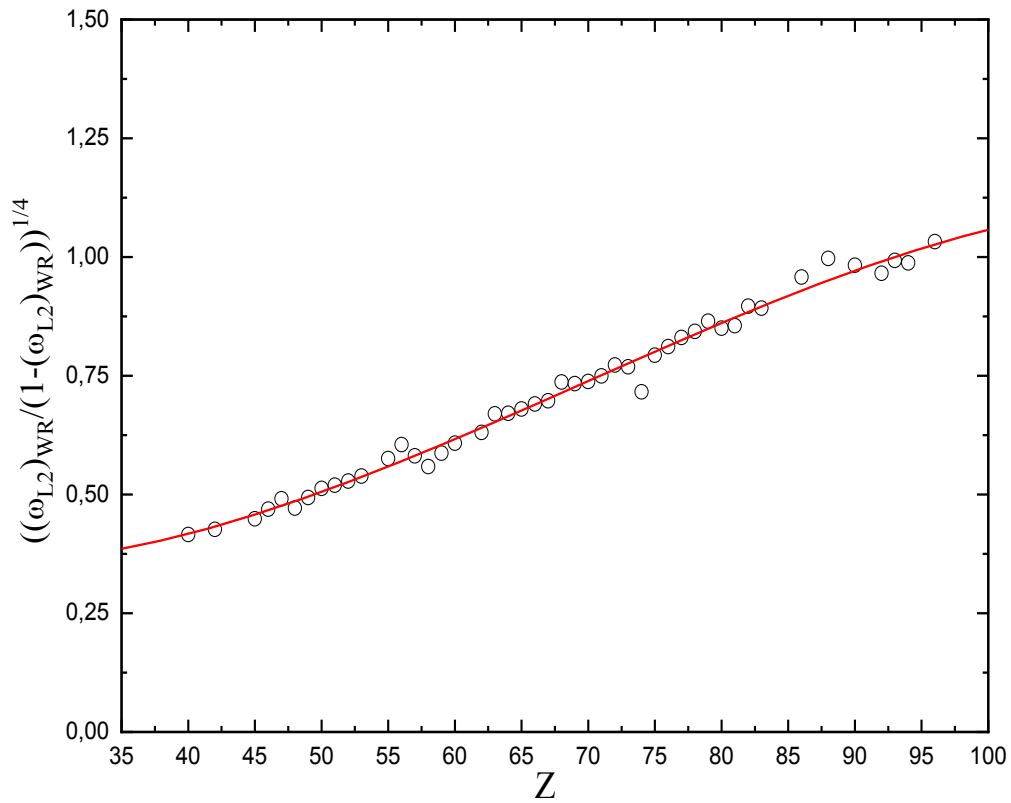
$$\omega_{L_2} = \frac{f(Z)^4}{(1 + f(Z)^4)} \quad (\text{III. 2})$$

Donc le calcul semi-empirique pour la sous-couche ( $L_2$ ) est déduit par la relation suivante :

$$(\omega_{L_2})_{s\_emp} = R(Z) \times \frac{f(Z)^4}{(1 + f(Z)^4)} \quad (\text{III.3})$$



**Figure III. 1:** le rapport R en fonction de numéro atomique Z.



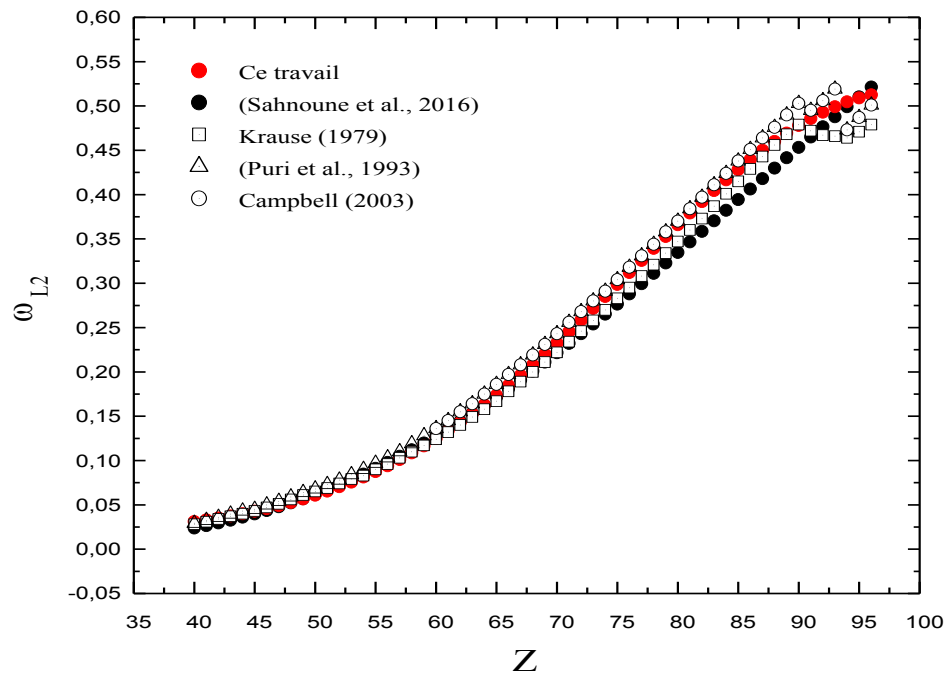
**Figure III. 2:** La distribution des rendements de fluorescence  $\frac{(\bar{\omega}_{L_2})_{WR}}{(1 - (\bar{\omega}_{L_2})_{WR})^{1/4}}$  de la sous-couche ( $L_2$ ) en fonction du numéro atomique Z, pour les éléments avec  $40 \leq Z \leq 96$ .

**Tableau III. 1:** illustre les valeurs théoriques et les résultats de calcul semi-empirique pour tous les éléments de la zone atomique compris entre 40 jusqu'à 96.

Z	Ce travail	D'autres travaux			
	$(\omega_{L2})_{s-emp}$	Sahnoune(2016)	Krause(1979)	Puri(1993)	Campbell(2003)
40	0.0312	0.0238	0.028	0.0292	--
41	0.0331	0.0265	0.031	0.0325	--
42	0.0352	0.0295	0.034	0.036	--
43	0.0375	0.0327	0.037	0.0396	--
44	0.04	0.0361	0.04	0.043	--
45	0.0428	0.0397	0.043	0.045	--
46	0.0458	0.0436	0.047	0.05	--
47	0.0491	0.0478	0.051	0.054	--
48	0.0527	0.0522	0.056	0.059	--
49	0.0566	0.0569	0.061	0.064	--
50	0.0609	0.0619	0.065	0.068	--
51	0.0654	0.0671	0.069	0.073	--
52	0.0704	0.0727	0.074	0.078	--
53	0.0757	0.0785	0.079	0.084	--
54	0.0814	0.0847	0.083	0.09	--
55	0.0876	0.0911	0.09	0.097	--
56	0.0941	0.0978	0.096	0.103	--
57	0.1011	0.1048	0.103	0.11	--
58	0.1086	0.1121	0.11	0.119	--
59	0.1165	0.1198	0.117	0.128	--
60	0.1248	0.1277	0.124	0.136	0.136
61	0.1336	0.1358	0.132	0.145	0.145
62	0.1429	0.1443	0.14	0.155	0.155
63	0.1527	0.1531	0.149	0.164	0.164
64	0.1629	0.1621	0.158	0.175	0.175
65	0.1735	0.1714	0.167	0.186	0.186
66	0.1845	0.1809	0.178	0.197	0.197
67	0.196	0.1907	0.189	0.208	0.208
68	0.2078	0.2008	0.2	0.219	0.219
69	0.22	0.211	0.211	0.231	0.231
70	0.2325	0.2215	0.222	0.243	0.243
71	0.2454	0.2321	0.234	0.256	0.256
72	0.2584	0.243	0.246	0.268	0.268
73	0.2717	0.254	0.258	0.28	0.28
74	0.2851	0.2652	0.27	0.291	0.291
75	0.2986	0.2765	0.283	0.304	0.304
76	0.3122	0.2879	0.295	0.318	0.318

77	0.3258	0.2995	0.308	0.331	0.331
78	0.3394	0.3112	0.321	0.344	0.344
79	0.3528	0.3229	0.334	0.358	0.358
80	0.3661	0.3347	0.347	0.37	0.37
81	0.3792	0.3466	0.36	0.384	0.384
82	0.392	0.3585	0.373	0.397	0.397
83	0.4045	0.3704	0.387	0.411	0.411
84	0.4166	0.3824	0.401	0.424	0.424
85	0.4282	0.3943	0.415	0.438	0.438
86	0.4394	0.4062	0.429	0.451	0.451
87	0.45	0.418	0.443	0.464	0.464
88	0.46	0.4299	0.456	0.476	0.476
89	0.4693	0.4416	0.468	0.49	0.49
90	0.478	0.4533	0.479	0.503	0.503
91	0.4859	0.4649	0.472	0.495	0.495
92	0.493	0.4764	0.467	0.506	0.506
93	0.4992	0.4878	0.466	0.519	0.519
94	0.5046	0.4991	0.464	0.473	0.473
95	0.5091	0.5103	0.471	0.487	0.487
96	0.5126	0.5213	0.479	0.501	0.501

### III.4.Comparaison des résultats



**Figure III. 3:** Nos valeurs semi empirique des rendements de fluorescence de la sous-couche ( $L_2$ ) comparé aux autres valeurs d'autres auteurs (Sahnoune et al. (2016), Krause et al. (1979), Puri et al. (1993) et Campbell et al. (2003)) en fonction des éléments de nombre atomique  $40 \leq Z \leq 96$ .

A partir la figure (III.3) et le tableau III.1 :

Nous avons observé un excellent accord entre nos valeurs semi empirique des rendements de fluorescence déduites par la formule analytique (III.3) dans la région des éléments de nombre atomique  $40 \leq Z \leq 65$  et les valeurs de d'autre chercheurs : Sahnoune et al. (2016), Krause et al. (1979), Puri et al. (1993) et Campbell et al. (2003) on à presque les même valeurs.

Dans la région des éléments avec le nombre atomique  $65 \leq Z \leq 90$ , nous avons observé une petite déviation entre nos valeurs obtenues de la sous couche  $L_2$  et les valeurs publiées par Krause et al. (1979), Puri et al. (1993) et Campbell et al. (2003), et nous avons remarqué aussi que les valeurs de Sahnoune et al. (2016) sont légèrement petites.

Pour les éléments lourds avec le nombre atomique  $90 \leq Z \leq 96$ , nous avons observé une différence entre nos valeurs obtenus des rendements de fluorescence de la sous couche  $L_2$  et les valeurs rapportées par : Krause et al. (1979), Puri et al. (1993) et Campbell et al. (2003), est à la fois observable la convergence de nos valeurs avec les valeurs rapportées par Sahnoune et al. (2016). Comme on peut signaler que les valeurs Krause sont un peu faibles par rapport au autres mesures du rendement de fluorescence de la sous couche  $L_2$ .

Généralement, les valeurs des rendements de fluorescence de la sous couche  $L_2$  pour tout les éléments de la région de nombre atomique  $40 \leq Z \leq 96$  peuvent être obtenue à partir la formule analytique (III. 3).

### Références bibliographiques

Bendjedi Ahlam., 2018. Etude des paramètres d'interaction des rayonnements ionisants avec la matière en vue des applications analytiques, Thèse de Doctorat de Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

Campbell, J.L., 2003. Fluorescence Yields and Coster-Kronig probabilities for the atomic L Subshell. *Atom. Data Nucl. Data Tables* 85, 291-315.

Krause, M.O., 1979. Atomic radiative and radiationless yields for K and L shells, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 8, 307-327.

Puri, S., Mehta, D., Chand, B., Singh, N. Trehan, P.N., 1993. L-shell fluorescence yields and Coster-Kronig transition-probabilities for the elements with  $25 \leq Z \leq 96$ , *X-ray Spectrom.* 22, 358-361.

Y, Sahnoune., A, Kahoul., Y, Kasri., B, Deghfel., D.E, Medjadi., F, Khalfallah., S, Daoudi., V, Aylikçi., N, Küp Aylikçi., M.Nekkab., 2016. L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> subshell fluorescence yields : Update database and new empirical values, *Radiation Physics and Chemistry* 125-227.

## Conclusion générale

Dans ce travail, on a construit une nouvelle base de données des rendements de fluorescence expérimentales de la sous-couche ( $L_2$ ) publiées durant la période 1955 à 2016, pour les éléments de numéro atomique ( $40 \leq Z \leq 96$ ). La base de données utilisée dans ce travail se fonde sur les données expérimentales compilées et éditées

Pendant la période 1955 jusqu'à 2016. Cette base regroupe toutes les valeurs expérimentales des rendements de fluorescence de la sous couche ( $L_2$ ) pour les éléments ( $40 \leq Z \leq 96$ ), en fonction du numéro atomique où nous avons dénombré 487 valeurs obtenues à partir des articles et de la compilation disponibles dans la littérature.

On a tiré deux grandes remarques à partir de ce tableau :

- La majorité des éléments entre  $40 \leq Z \leq 96$  sont couvertes, Les données pour tout les éléments de nombre atomique ( ${}_{41}\text{Nb}$ ,  ${}_{43}\text{Tc}$ ,  ${}_{44}\text{Ru}$ ,  ${}_{54}\text{Xe}$ ,  ${}_{61}\text{Pm}$ ,  ${}_{84}\text{Po}$ ,  ${}_{85}\text{At}$ ,  ${}_{87}\text{Fr}$ ,  ${}_{89}\text{Ac}$ ,  ${}_{91}\text{Pa}$ ,  ${}_{95}\text{Am}$ ) 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  ${}_{56}\text{Ba}$ ,  ${}_{57}\text{La}$ ,  ${}_{60}\text{Nd}$ ,  ${}_{64}\text{Gd}$ ,  ${}_{65}\text{Tb}$ ,  ${}_{67}\text{Ho}$ ,  ${}_{68}\text{Er}$ ,  ${}_{70}\text{Yb}$ ,  ${}_{73}\text{Ta}$ ,  ${}_{74}\text{W}$ ,  ${}_{78}\text{Pt}$ ,  ${}_{79}\text{Au}$ ,  ${}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}_{81}\text{Tl}$ ,  ${}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}_{83}\text{Bi}$ ,  ${}_{90}\text{Th}$  et  ${}_{92}\text{U}$ .

On a calculé aussi des nouvelles valeurs semi empiriques des rendements de fluorescence de la sous couche  $L_2$  par une formule analytique pour la même gamme des éléments étudiés  $40 \leq Z \leq 96$ , ces résultats de calcul semi empirique sont déduits à partir d'une interpolation de toutes les valeurs expérimentales publiées dans la base de données, puis on a comparé nos résultats avec des autres valeurs expérimentaux et théoriques publiés par des autres auteurs.

### Abstract

In this work we present a new database of experimental values of  $L_2$  sub-shell fluorescence yields ( $\omega_{L_2}$ ) published during the period 1955-2016, for elements with atomic numbers  $40 \leq Z \leq 96$  with semi-empirical calculation is based on the experimental database of these values. The obtained results are compared with other theoretical and experimental values.

### Résumé

Dans ce travail nous avons présenté une nouvelle base de données des rendements de fluorescences expérimentales ( $\omega_{L_2}$ ) de sous-couche  $L_2$  publiées durant la période 1955 à 2016, pour les éléments de numéro atomique  $40 \leq Z \leq 96$  et un calcul semi-empirique basé sur la base de données expérimentale de ces valeurs. Une comparaison a été faite entre nos valeurs théoriques, expérimentales et celles des autres auteurs.

### ملخص

قدمنا في هذا العمل قاعدة بيانات جديدة للقيم التجريبية لمردود الفلورة ( $\omega_{L_2}$ ) للمدار الفرعي  $L_2$  التي نشرت خلال الفترة الممتدة من 1955 الى 2016 للعناصر ذات العدد الذري المحصور بين  $40 \leq Z \leq 96$  بالاضافة الى الحساب شبه التجريبي مبني على قاعدة معطيات تجريبية لهذه القيم. النتائج المتحصل عليها تمت مقارنتها بقيم نظرية و تجريبية أخرى.