

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

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

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



Mémoire de fin d'études

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

Filière : Physique

Option : Matériaux et modélisation numérique

THÈME

Construction d'une nouvelle base de données des rendements
de fluorescence de la sous-couche L_1

Préparé par :

KAHOUL RADHIA

Soutenu le : 14/06/2015

Devant le jury :

Président:

Rapporteur: Kahoul Abdelhalim Professeur Université de BBA

Examineur:

Examineur:

Année Universitaire 2014-2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Sommaire

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

Chapitre1: Base théorique

I.1-Rappel théorique.....	3
I.1.1-Nombres quantiques.....	3
I.1.2-Niveaux d'énergie des électrons atomiques.....	4
I.2-Transition électronique	5
I.2.1-Transitions entre niveaux.....	5
I.2.2-Règles de sélection.....	6
I.3- Ionisation.....	7
I.4 -désexcitation.....	7
I.4.1-Processus radiatif.....	8
I.4.2-Processus non radiatif.....	9
I.5-Les rayons X.....	10
I.5.1-Production des rayons X.....	11
I.6-Effet de la fluorescence.....	12
I.6.1-La fluorescence X	12
I.7- Section efficace	13
I.7.1- Section efficace d'ionisation par particules chargées.....	13
I.7.2-Section efficace totale de production X.....	14
I.8-L'effet Auger	14
I.9-Le rendement de fluorescence.....	15
I.9.1-Valeurs des rendements de fluorescence pour les raies de série L.....	18
I.10- Section efficace de production des rayons X de la couche L.....	20
Bibliographies.....	22

Chapitre II : Base des Données du rendement de fluorescence de la sous-couche

L1 pour des éléments avec $45 \leq Z \leq 96$.

II.1-Introduction.....	24
II.2-Le code Excel.....	25
II.3 -La définition de différente mesure et des erreurs.....	26
Bibliographies.....	33

Chapitre III : Calcul empirique des rendements de fluorescence des couches L pour les éléments avec $45 \leq Z \leq 96$

III.1- Introduction.....	38
III.2- Méthodes de calculs.....	38
III.3- Les résultats.....	39
III.4- Discussion.....	49
Bibliographies.....	50
Conclusion générale.....	

Introduction générale

Introduction générale

L'étude des relations entre l'organisation à l'échelle atomique, la microstructure et les propriétés des matériaux, constitue le domaine de la science des matériaux. En plus de leur comportement l'utilisation des matériaux dépend également de leur disponibilité, de leur coût.

L'émission des rayons X est un phénomène physique résultant du réarrangement électronique d'un atome excité suite à l'interaction avec un rayonnement corpusculaire ou électromagnétique. D'ailleurs, la production des rayons X caractéristiques dépend de la transition entre les orbites électroniques des atomes de la cible. Quand un électron est éjecté par une particule chargée, l'atome devient ionisé ou excité. L'excédent d'énergie est égal à l'énergie requise pour extraire un électron vers un état excité. Cette énergie peut être libérée suite à la transition d'un électron d'une couche plus énergétique vers une couche moins énergétique conduisant ainsi à l'émission d'un rayon X.

La fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire non-destructive de l'échantillon. Elle est utilisée pour l'analyse de la composition chimique des matériaux minéraux (céramiques, verres, glaçures, pierres,...).

Après une interaction par effet photoélectrique, il apparaît un trou dans une couche électronique interne. Il se produit alors un réarrangement électronique générant un photon X de fluorescence ou électron Auger. La probabilité d'émission de photon de fluorescence est donnée par le rendement de fluorescence ; c'est la probabilité qu'une vacance soit remplie via une transition radiative.

- Le premier chapitre: Rappel théorique sur les phénomènes liés à la fluorescence X. Dans le même chapitre, nous avons expliqué la notion et la méthode théorique pour calculer le rendement de fluorescence.
- Le deuxième chapitre : Construction d'une nouvelle base donnée ; c'est une représentation des rendements de fluorescence expérimentale des sous couche (L_1) Compilées et éditées pendant la période de 1955 à 2015, pour les éléments de numéro atomique $40 \leq Z \leq 96$.
- Dans le troisième chapitre : On a calculé les rendements de fluorescence empiriques des sous-couches on utilise différentes fonctions analytiques. Pour ce faire ce travail, on utilise la base de donnée construite dans le chapitre précédent des valeurs expérimentales, et finalement une comparaison de nos valeurs et les résultats expérimentales, théoriques et semi empirique des autre auteurs à été faite.

En fin une conclusion générale achève ce travail.

CHAPITRE 1

I.1- Rappel théorique

L'atome contient un noyau constitué de nucléons (Z protons, $A-Z$ neutrons) et entouré des électrons. Les protons sont chargés positivement, les électrons négativement (les neutrons sont neutres).

Représentation conventionnelle du noyau : A_ZX où X est le symbole de l'élément, Z le numéro atomique (nombre de protons) et A le nombre de masse (nombre total de nucléons).

Dans l'atome, électriquement neutre, il y a toujours autant d'électrons ($-$) que de protons ($+$).

Les électrons se répartissent en couches : de la plus proche à la plus éloignée du noyau,

- la couche K ($n = 1$) peut accueillir 2 électrons
- la couche L ($n = 2$) peut accueillir 8 électrons
- la couche M ($n = 3$) peut accueillir 18 électrons

La dernière couche remplie est appelée couche externe : elle est d'importance capitale en chimie, puisqu'elle délimite l'atome et conditionne la façon dont il va interagir avec l'extérieur (c'est-à-dire avec les autres atomes).

Les atomes réagissent de façon à satisfaire la règle du duet ou de l'octet, c'est-à-dire de façon à obtenir une structure électronique externe identique à celle des gaz nobles (inertes). Pour cela, ils peuvent, gagner ou céder un ou des électrons : ils forment alors des ions. Un ion est donc un atome qui a gagné ou perdu des électrons (il est donc chargé).

I.1.1-Nombres quantiques

- n : nombre principal ($n > 0$)
- l : nombre quantique secondaire ($0 \leq l \leq n-1$)
- m : Nombre quantique magnétique ($-l \leq m \leq l$)

- Les orbitales atomiques (OA) sont en fonction de n , l et m .

- Les OA de même n et l ont même énergie

- ❖ Pour $n = 1$: 3 OA dégénérées
- ❖ Pour $n = 2$: 5 OA dégénérées.

Tableau I.1 : les nombres quantiques

N	Couche	ℓ ($0 \leq \ell \leq n-1$)	Sous couche	m_ℓ ($-\ell \leq m_\ell \leq \ell$)	Nom de l'OA	Nombre maximale d'électrons
1	K	0	S	0	1s	2
2	L	0	S	0	2s	2
		1	P	{-1 ; 0 ; 1}	{ $2f_x$; $2f_y$; $2f_z$ }	6
3	M	0	S	0	3s	2
		1	P	{-1 ; 0 ; 1}	{ $3f_x$; $3f_y$; $3f_z$ }	6
		2	D	{-2 ; -1 ; 0 ; 1 ; 2}	{ $3d_{xy}$; $3d_{xz}$; $3d_{yz}$; $3d_{z^2}$; $3d_{x^2-y^2}$ }	10
4	N	0	S	0	4s	2
		1	P	{-1 ; 0 ; 1}	{ $4f_x$; $4f_y$; $4f_z$ }	6
		2	D	{-2 ; -1 ; 0 ; 1 ; 2}	{ $4d_{xy}$; $4d_{xz}$; $4d_{yz}$; $4d_{z^2}$; $4d_{x^2-y^2}$ }	10
		3	F	{-3 ; -2 ; -1 ; 0 ; 1 ; 2 ; 3}	7 Orbitales	14

I.1.2-Niveaux d'énergie des électrons atomiques

Les électrons constituant le cortège électronique des atomes libres sont situés sur des niveaux d'énergie bien définis. Correspondant aux différents des couches (K, L, M, etc.) et sous-couches:

-deux électrons, au maximum, sont sur la couche K (la plus énergétique en valeur absolue).

-Huit, au maximum, se trouvent sur la couche L, subdivisée en sous-couches L_1, L_2, L_3 .

-Dix-huit, au maximum, remplissent la couche M, subdivisée en sous-couches $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, \dots$ etc.

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

Les énergies des niveaux internes sont très peu modifiées par la liaison chimique.

I.2-Transition électronique

Une transition (mouvement d'un électron sous l'effet d'un champ électrique) conduit à un mouvement de charge qui est décrit par un vecteur : le moment dipolaire de transition.

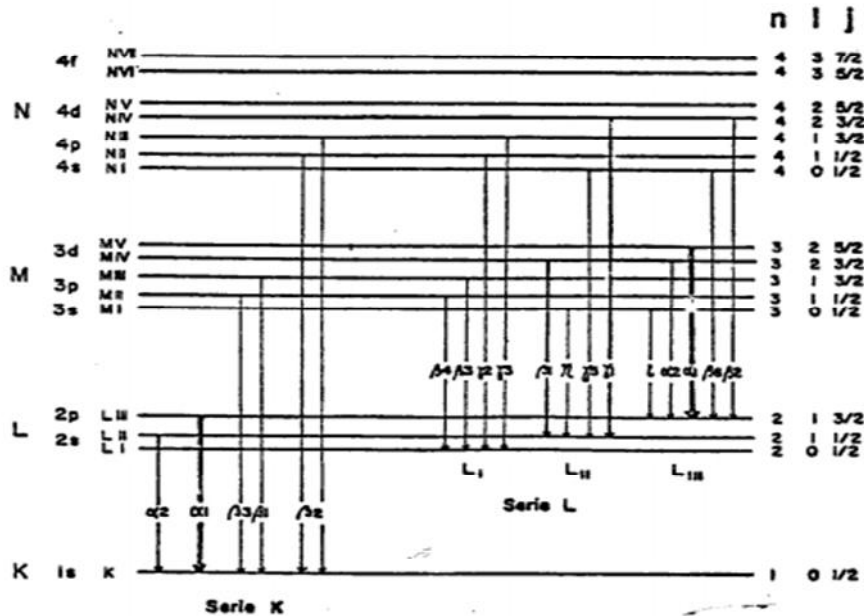


Figure I.1 : Transitions permises entre électrons les couches.

I.2.1-Transitions entre niveaux

Sous l'influence du événement venant de l'extérieur (arrivée d'une particule chargée ou d'un rayonnement d'énergie suffisante), un électron du cortège électronique d'un atome, situé sur un certain niveau d'énergie E_x (rappel ons que cette énergie est négative), peut être arraché de la couche à laquelle il appartient. La place libre est susceptible d'être comblée par un électron situé sur un autre niveau d'énergie $E_y > E_x$, avec émission d'un rayonnement électromagnétique; la fréquence ν de celui-ci, est telle que :

$$h \nu = E_y - E_x = |E_x| - |E_y| \dots \dots \dots \text{Eq(I.1)}$$

h: Constante de Planck (6. 626.10⁻³⁴).

ν : étant donc bien défini, cette émission donne lieu à une <<raie>>. A chaque couche correspond une <<série>> de raie.

Les transitions correspondant aux raies les plus intenses sont celles qui obéissent aux règles de sélection. On désigne les raies soit par la dénomination des niveaux E_x et E_y (par exemple, $k-L_3$, soit par un symbole débutant par la dénomination de la série (K, L, M...) dont il fait partie ; les raies les plus intenses des séries K et L sont les raies $K_{\alpha 1}$ et $L_{\alpha 1}$.

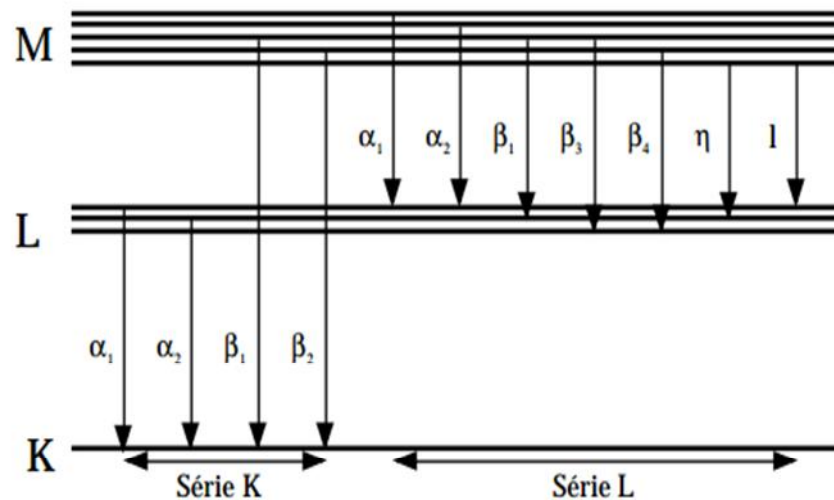


Figure I.2 : Diagramme d'énergie des transitions X.

I.2.2-Règles de sélection

Une transition dipolaire électrique sera intense si elle est accompagnée par un grand changement du moment dipolaire c.à.d. il y a une redistribution de charge considérable durant la transition.

Une transition électronique suit également des règles de sélection.

- $n \neq 0$
- les transitions entre états de même parité sont interdites. En d'autres termes, les transitions d-d pures sont interdites mais des transitions telles que s-p, p-d ou d-f seraient permises. Cela signifie qu'une transition est interdite si elle implique une redistribution des électrons dans le même type d'orbitale. Plus précisément, cette règle peut être exprimée sous la forme $L = \pm 1$ et elle est connue sous le nom de règle de Laporte.
- les transitions entre fonctions d'onde de spins différents sont interdites (interdiction de spin). Plus simplement, $\Delta S = 0$. Elle est appelée règle de sélection de spin ou encore règle de sélection de la multiplicité.

I.3- Ionisation

L'ionisation est la dissociation d'une molécule en une paire d'ions chargés positivement et négativement ou d'un atome en un ion positif et des électrons. Ce mot désigne également la perte d'un ou de plusieurs électrons d'un atome neutre. Les rayons X et gamma sont des rayonnements ionisants, puisqu'ils peuvent ioniser la matière.

Dès que l'on apporte de l'énergie à un atome isolé, elle peut être utilisée à éloigner un ou plusieurs électrons du noyau (cas de l'excitation et de l'ionisation). L'énergie minimale requise pour libérer l'électron le moins lié est l'énergie d'ionisation E_i (on dit potentiel d'ionisation le plus souvent en référence à la différence de potentiel permettant à un électron d'acquérir cette énergie). Elle est exprimée en électrons-volts ($1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{J} = 96.5 \text{KJ.mole}^{-1}$). Cette ionisation positive transforme l'atome neutre en un ion positif.

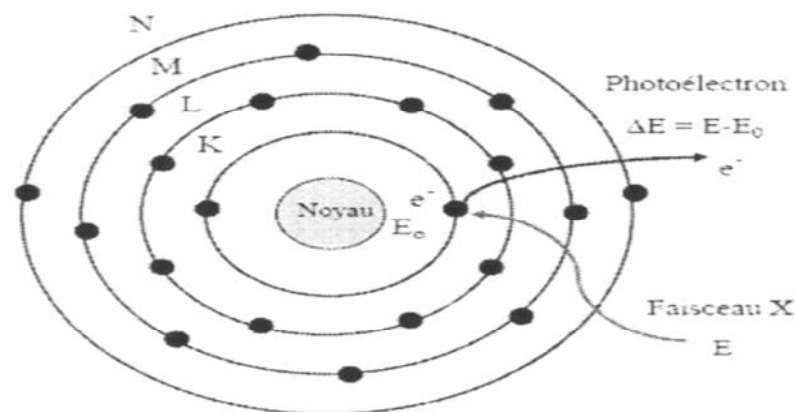


Figure I.3 : Ionisation par effet photoélectrique. Un photo d'énergie $E > E_0$ interagit avec un atome et arrache un électron d'un niveau interne (photoélectron) l'atome se trouve alors dans un état excité.

I.4 - désexcitation

L'énergie associée à la désexcitation de l'atome peut être émise sous forme de rayonnement électromagnétique dont l'énergie est égale à la différence des énergies de liaison des électrons concernés dans l'état initial et l'état final, c'est la fluorescence X (figure I.4.a). L'atome excité peut également retourner à son état fondamental par l'éjection de ses propres électrons d'un état moins lié. L'énergie de désexcitation est alors transférée sous forme d'énergie cinétique à un électron secondaire (figure I.4.b).

Cette transition non radiative est appelée effet Auger et se manifeste par l'émission d'un spectre d'électrons mono cinétiques, caractéristique de l'élément mis en jeu. Quand l'ionisation est créée dans un niveau électronique autre que le niveau fondamental ($n > 1$), la désexcitation est non radiative peut également s'effectuer par les passages Coster –Kroning et se déroule entre des sous-niveaux électroniques ayant le même nombre quantique principal.

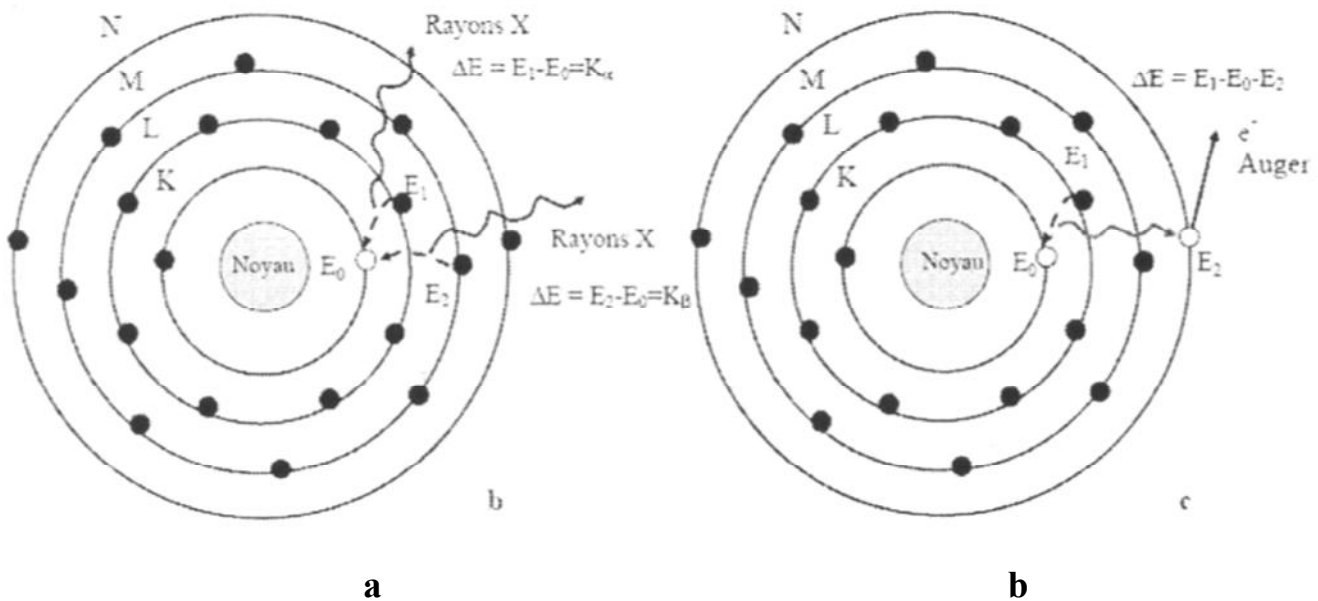


Figure I.4 : (a,b) processus de désexcitation de l'atome. Un électron d'un niveau périphérique va venir combler la lacune électronique laissée par l'électron éjecté. Ce faisant, l'électron perd de l'énergie, qui va être émise sous la forme d'un photon de fluorescence X(a) ou transférée à un électron secondaire (e-Auger) qui échappe de l'atome (b).

I.4.1-Processus radiatif

Lorsque la molécule absorbe de l'énergie, elle passe d'un état électronique fondamental E_0 (du niveau vibrationnel le plus bas, qui est le plus stable) à un état excité E_1 ou E_2 .

A l'état fondamental, tous les électrons d'une molécule ont des spins appariés. La molécule est dans un état singulet noté S_0 . Une transition électronique revient à promouvoir un électron dans une orbitale vacante d'énergie supérieure. On obtient une configuration avec deux électrons non appariés qui peuvent être de spins antiparallèles (état singulet noté S_1 pour le niveau énergétique E_1 , S_2 pour le niveau énergétique E_2 ...) ou de spins parallèles (état triplet noté T_1 ou T_2 ...). Considérons dans ce qui suit uniquement les états excités S_1 et T_1 .

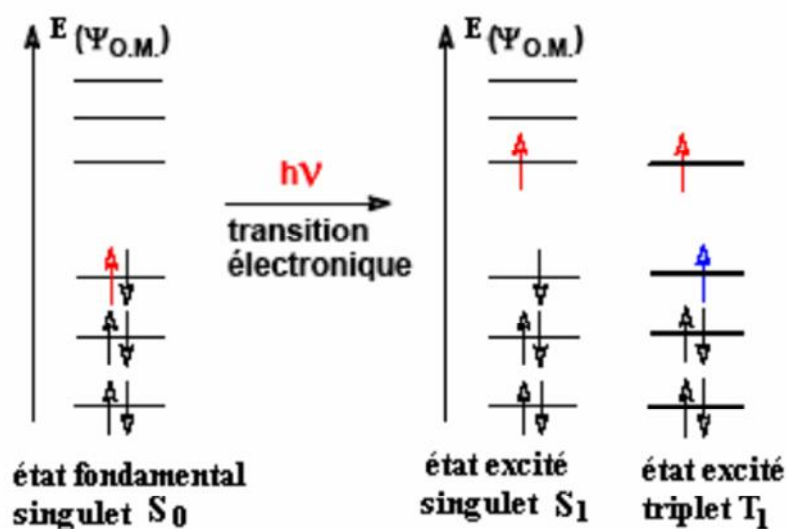


Figure I.5 : Processus radiatif.

I.4.2-Processus non radiatif

Le phénomène de relaxation non radiative ne fait pas intervenir de photons. Il a lieu par répartition, sur les molécules voisines, de l'énergie sous forme de chaleur (durant les collisions entre les molécules).

Dans le cas des processus radiatifs, le retour à l'état électronique fondamental S_0 se fait avec émission d'un photon. Ces processus sont appelés la fluorescence. Si l'émission de lumière est immédiate après absorption c'est-à-dire après excitation, on a affaire à la fluorescence (retour de la molécule à son état de vibration fondamental) mais si elle est retardée : c'est le phénomène de phosphorescence.

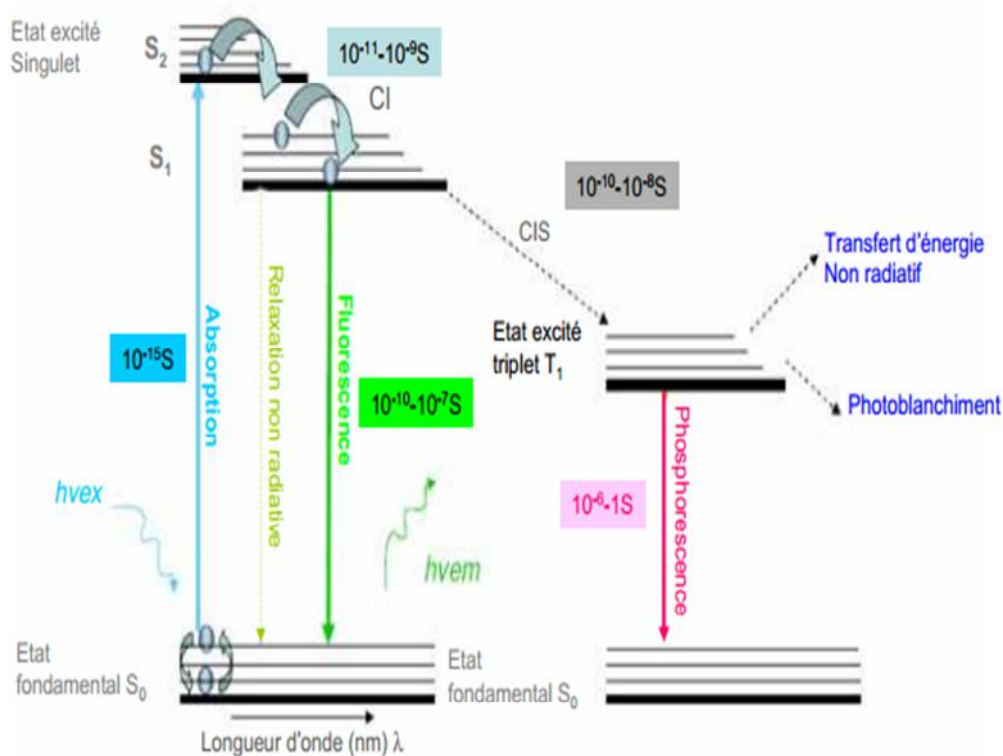


Figure I.6 : transitions radiatives et non radiatives.

Transitions radiatives: Fluorescence et phosphorescence.

Transitions non radiatives: conversion interne (CI), croisement inter système (CIS).

I.5-Les rayons X

Les rayons X ont été découverts en 1895 par W. Röntgen à Würzburg en Allemagne. Il baptise les rayons qu'il a découverts "Rayons X" avec le "X" comme l'inconnue en Mathématiques. Le pouvoir des rayons X, qui a semblé merveilleux, de traverser des parois opaques et de révéler l'intérieur du corps humain a immédiatement donné un grand retentissement populaire à cette découverte scientifique. Les premières applications ont été tournées vers l'étude des cristaux car on espérait mettre en évidence les atomes constitutifs des molécules et confirmer ainsi la justesse du nombre d'Avogadro.

Les Rayons X sont des ondes électromagnétiques que l'on retrouve dans le large domaine des radiations, qui va des longueurs d'onde très courtes de l'ordre de 10^{-4} nm jusqu'à celles de l'ordre de plusieurs kilomètres.

On appelle rayons X les radiations comprises entre 0,02 et 50 Å environ. Ces limites ne sont pas précises et, en fait, c'est plutôt leur mode de production qui définit les rayons X : ils sont émis par le bombardement de la surface d'un solide par des rayons cathodiques ou faisceaux d'électrons accélérés par des tensions variant entre 10^3 et 10^6 volts. Du côté des grandes longueurs d'onde, le domaine des rayons X est limité pratiquement du fait de l'absorption de plus en plus considérable par toute matière, même de faible densité, si bien que ces rayons, dits rayons mous (5 -100 Å), deviennent très difficiles à utiliser et à détecter quand la longueur d'onde croît. Les rayons X sont reliés au domaine de l'ultraviolet très lointain par des radiations qui ont été produites et étudiées mais qui sont très peu employées.

Du côté des petites longueurs d'onde (rayonnement "dur" [0.01-0.5 Å]), des sources à très haute tension deviennent nécessaires, et la limitation est due aux difficultés techniques de réalisation. Le domaine des rayons X recouvre celui des rayons γ émis par certains atomes radioactifs.

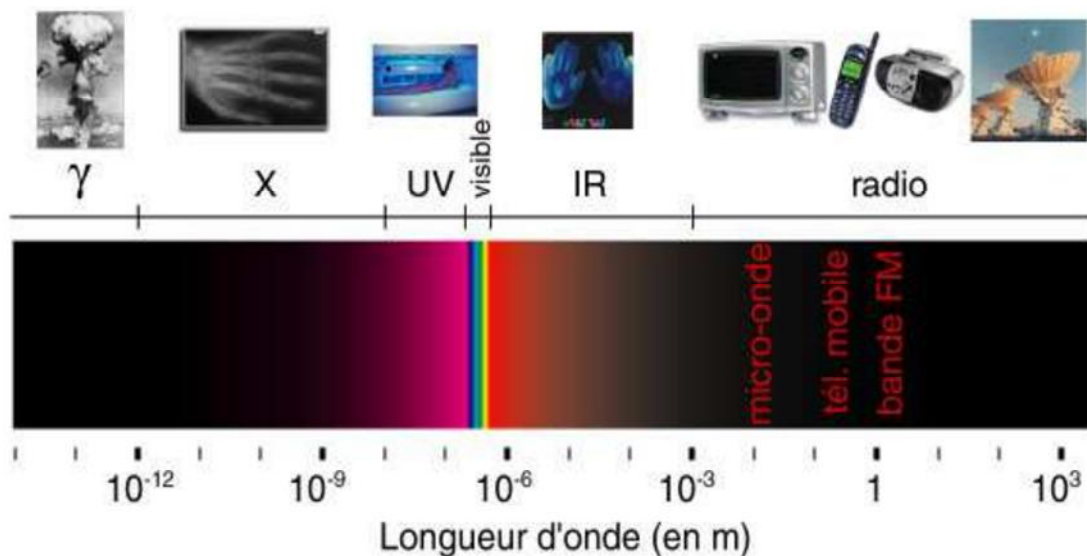


Figure I.7 : Le domaine des rayons x.

I.5.1-Production des rayons X

Actuellement, la source de rayons X la plus intense, mais très rarement disponible, est celle fournit par un synchrotron. Plus habituellement sont utilisés les tubes à anodes fixes et parfois à anode tournante.

I.6-Effet de la fluorescence

Lorsqu'on irradie un volume de matière de la cible avec des électrons, il y a émission d'un rayonnement X. Ce dernier peut, éventuellement, à son tour ioniser par effet photoélectrique, d'autres atomes appartenant un d'autres éléments, et ce, avant son émergence de la cible. Il en résulte le même processus d'émission X que celui qui a été décrit pour l'excitation par des électrons. Le rayonnement secondaire dit de fluorescence due aux photons primaires, se superposera au rayonnement primaire (dû aux électrons) et ne peut être différencié par le spectromètre.

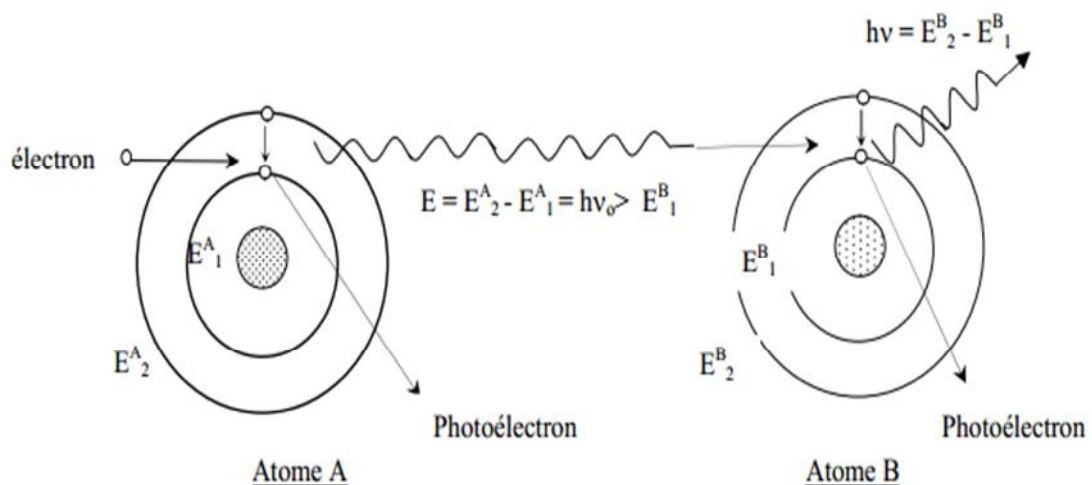


Figure I.8: Mécanisme de fluorescence.

I.6.1-La fluorescence X

La fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire non-destructive de l'échantillon. Elle est utilisée pour l'analyse de la composition chimique des matériaux minéraux (céramiques, verres, glaçures, pi erres,...).

Un électron des couches internes est excité par un photon de la région des rayons X.

Pendant le processus de désexcitation, un électron saut d'un niveau d'énergie supérieur pour remplir la lacune ainsi formée. La différence d'énergie entre les deux couches apparaisse comme un rayon X émis par l'atome.

Le spectre des rayons X accumulé pendant ce processus révèle un certain nombre des pics caractéristiques. Les énergies des pics nous permettent d'identifier les éléments présents dans

l'échantillon (analyse qualitative), tandis que les intensités des pics fournissent la concentration relative ou absolue (analyse semi quantitative ou quantitative).

Un système typique pour la spectroscopie XRF contient une source de radiation primaire (d'habitude un radio-isotope ou un tube X) et un équipement pour la détection des rayons X secondaires.

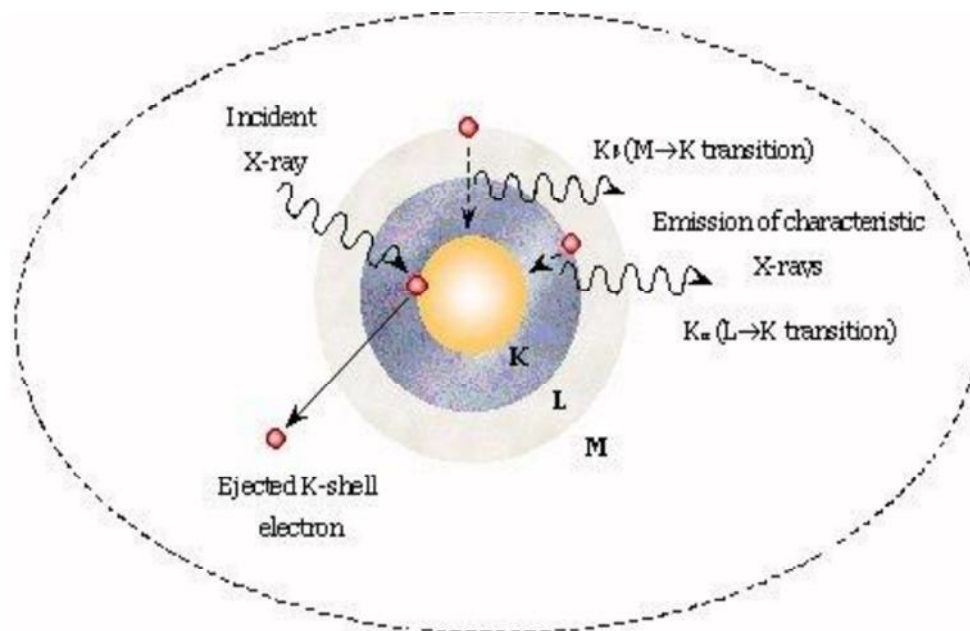


Figure I.9: la fluorescence X.

I.7- Section efficace

La fluorescence d'une cible dépend de plusieurs paramètres. Supposons qu'elle contienne un élément x avec une concentration C_X et qu'on excite l'échantillon avec faisceau de rayonnements gamma d'énergie $E_{K\alpha}$. Si un photon et atome x interagissent, la probabilité de l'effet photoélectrique est égal à r_i . Une fois l'atome ionisé, il y a une probabilité $F_{K\alpha}$ pour que la transition K_{α} se produise.

I.7.1- Section efficace d'ionisation par particules chargées

Des particules chargées légères (proton ou alpha) sont le plus souvent utilisées comme projectiles. Dans la gamme d'énergie considérée, soit 0,5 à 5 MeV par nucléon, les modèles théoriques permettant de rendre compte de l'ionisation des couches atomiques profondes sont basés sur l'interaction coulombienne entre un électron lié et le noyau de la particule chargée incidente. On

parle alors de collision rapide ou directe et les partenaires de la collision peuvent être considérés comme des charges ponctuelles. Parmi les modèles les plus couramment employés, on peut citer l'approximation de Born (Merzbacher), en ondes planes l'approximation semi-classique, ou encore l'approximation du choc binaire. La probabilité d'ionisation d'une couche atomique est décrite par la section efficace d'ionisation σ_i .

I.7.2- Section efficace totale de production X

À partir des paramètres précédemment décrits, on peut définir la section efficace de production d'une raie X de la manière suivante :

$$\sigma_p = \sigma_i \omega b \dots \dots \dots \text{Eq(I.2)}$$

Avec :

- ω : c'est rendement de fluorescence de la couche impliquée;
- b : intensité relative d'émission de la raie considérée.

Grime et Watt ; 1984 ont tracé ces sections efficaces pour des protons, à partir des valeurs de Johansson pour l'émission des raies K_α et des raies L (cumulées) en fonction de l'énergie d'incidence et pour différents éléments émetteurs). Ces sections efficaces, peuvent dépasser la centaine de barns pour l'émission de raies K_α par des éléments entre ^{13}Al et ^{35}Br . Il en est de même pour les raies L avec un déplacement vers les éléments plus lourds entre ^{35}Br et ^{92}U . De manière évidente, ces sections efficaces peuvent être optimisées pour les éléments les plus lourds en augmentant l'énergie d'incidence alors qu'une énergie de l'ordre du MeV est déjà suffisante pour atteindre la section efficace optimale en raie K pour l'aluminium.

I.8-L'effet Auger

L'électron Auger met en jeu deux électrons (Figure I.10). Lorsqu'un trou est créé, exemple par ionisation, un électron d'une couche supérieure vient le combler, donnant l'excédent d'énergie à un autre électron qui est éjecté dans le continuum. Cet effet peut se produire après une ionisation en couche interne, ou une capture de deux électrons sur un état doublement excité du projectile, ou d'une double excitation de la cible.

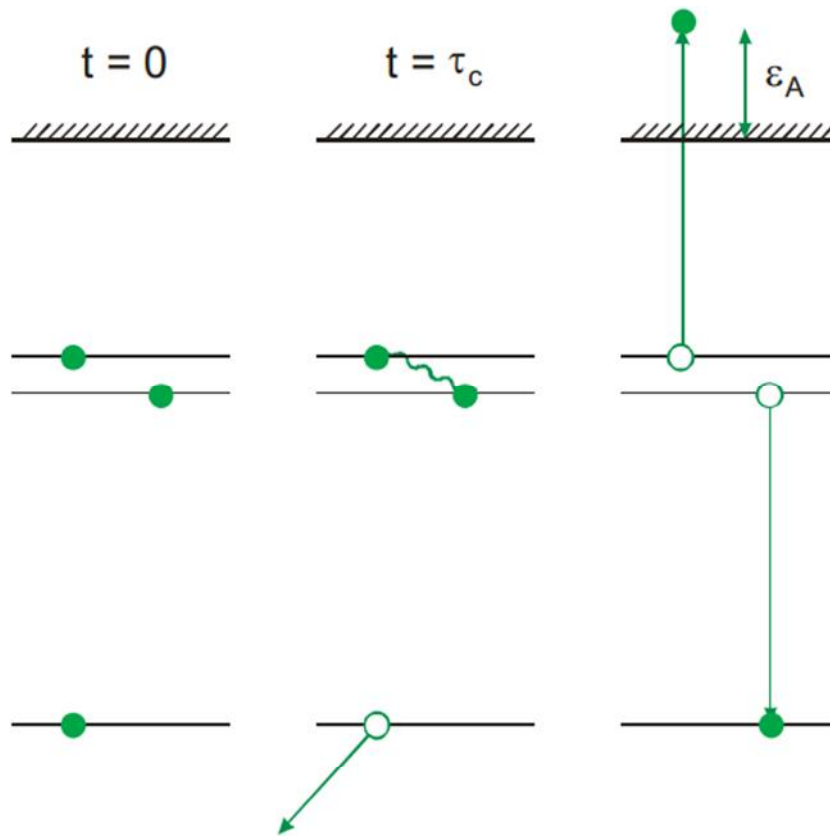


Figure I.10: l'effet Auger

L'interaction responsable de cet effet est l'interaction électron-électron. Celle-ci est d'autant plus forte que les deux électrons sont dans des couches très voisines, et que le Z de l'ion est grand. Par contre, pour une configuration initiale donnée, l'effet sera d'autant moins important que le n final sera éloigné du n initial.

I.9-Le rendement de fluorescence

Après une interaction par effet photoélectrique, il apparait un trou dans une couche électronique interne. Il se produit alors un réarrangement électronique générant un photon X de fluorescence ou électron Auger. La probabilité d'émission de photons de fluorescence est donnée par le rendement de fluorescence ω_K (pour la couche K, L, ...); c'est la probabilité qu'une vacance soit remplie via une transition radiative, qui est égale à :

$$\omega_K = \frac{\sigma_K^X}{\sigma_K^I} \dots \dots \dots \text{Eq(I.3)}$$

Où σ_K^X est la section efficace de production de photons émis et σ_K^I est la section efficace d'ionisation.

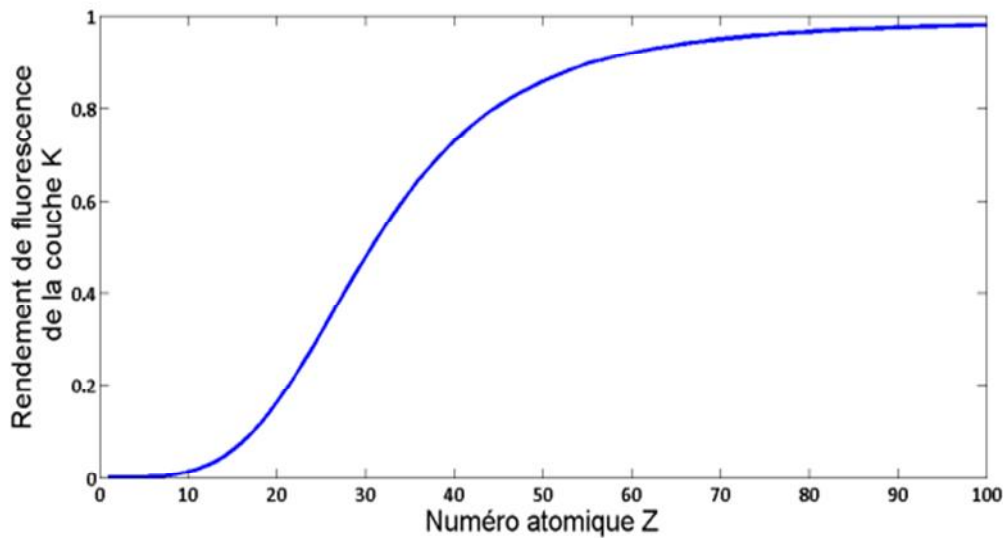


Figure I.11: rendement de fluorescence des couches K en fonction du numéro atomique [Diana Ragheb 2014].

L'expression du rendement de fluorescence pour les orbites supérieures est plus compliquée car celles-ci sont composées de plusieurs sous orbites. De plus, des transitions de Coster-kronig peuvent se produire. Ces transitions sont de type non radiatif et se déroulent entre les sous couches d'une couche ayant le même nombre quantique principal. En effet, les transitions de Coster-Kronig modifient la distribution des sous couches ionisées en transférant l'ionisation d'une sous couche à une autre moins énergétique.

Le rendement de fluorescence de la sous couche i de la couche j (j = K, L, M,..) est égale à :

$$\omega_{ji} = \frac{\sigma_{ji}^X}{\sigma_{ji}^I} \dots \dots \dots \text{Eq(I.4)}$$

et le rendement totale de la couche j est égale à :

$$\omega_j = \sum_{i=1}^k N_{ji} \omega_{ji} \dots \dots \dots \text{Eq(I.5)}$$

Où les N sont les sections efficaces relatives d'ionisation de la sous couche i de la couche j :

$$N_{ji} = \frac{\sigma_{ji}^X}{i \sigma_{ji}^I} \dots \dots \dots \text{Eq(I.6)}$$

La somme de N_{ji} étant égale à 1. Cependant en présence de transitions Coster-Kronig, le rendement de fluorescence est donnée par:

$$\omega_j = \sum_{i=1}^k v_{ji} \alpha_{ji} \dots \dots \dots \text{Eq(I.7)}$$

Où les v_{ji} sont les sections efficaces relatives d'ionisation de la sous couche i de la couche j , en incluant les ionisations provenant des transitions de Coster-Kronig ; leur somme est supérieure à 1 et ils sont égaux à :

$$v_{ji} = N_{ji} \dots \dots \dots \text{Eq(I.8)}$$

$$v_{j2} = N_{j2} + f_{12}^j N_{j1} \dots \dots \dots \text{Eq(I.9)}$$

$$v_{j3} = N_{j3} + f_{23}^j N_{j2} + (f_{13}^j + f_{12}^j f_{23}^j) N_{j1} \dots \dots \dots \text{Eq(I.10)}$$

Où les f_{il}^j sont les probabilités de transitions de Coster-Kronig pour déplacer l'ionisation de la sous couche i à la sous couche l .

De plus, la largeur totale T_i d'un niveau d'énergie (l'atome avec une lacune est dans un état excité) est la somme de largeur de rayonnement (radiative) X_i , la largeur non-radiative σ_i et la largeur de Coster-Kronig k_i . Alors, le rendement de fluorescence est donc donné par :

$$i = \frac{\Gamma_{X_i}}{\Gamma_{T_i}} \dots \dots \dots \text{Eq (I.11)}$$

Le rendement d'Auger est:

$$a_i = \frac{\Gamma_{\sigma_i}}{\Gamma_{T_i}} \dots \dots \dots \text{Eq (I.12)}$$

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

$$f_{ik} = \frac{\Gamma_{k_i}}{\Gamma_{T_i}} \dots \dots \dots \text{Eq (I.13)}$$

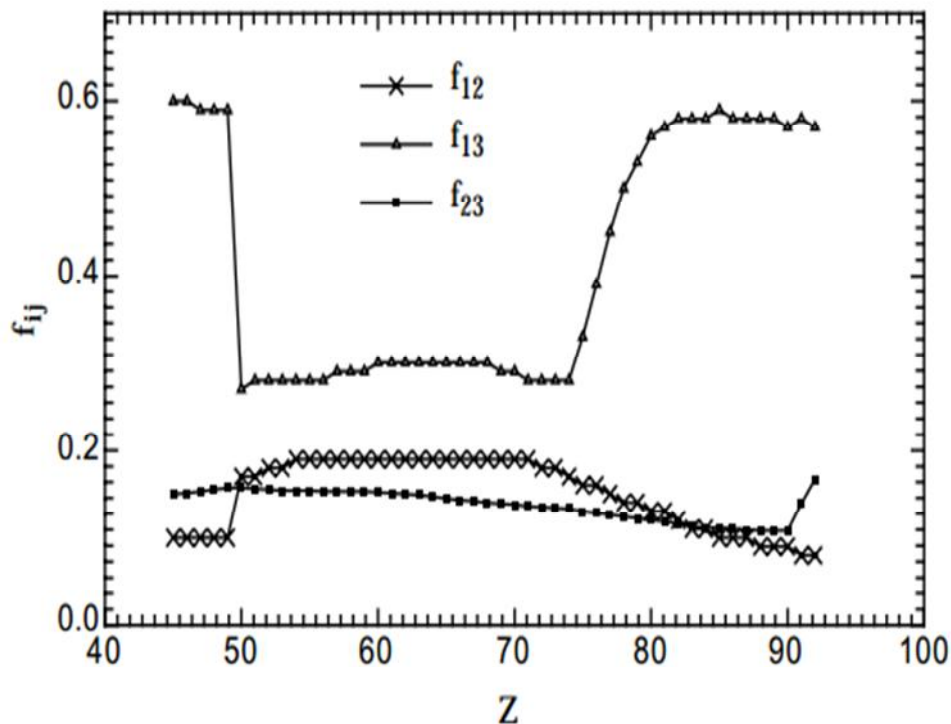


Figure I.12 : Transition de Coster-Kronig [Strivay, 2002].

I.9.1-Valeurs des rendements de fluorescence pour les raies de série L

Par suite de l'existence des différentes sous-couches, les valeurs théoriques et expérimentales des rendements pour les séries L et M sont plus difficiles à obtenir : pour la couche L, des transitions peuvent se produire entre les niveaux L_1 , L_2 et L_3 ; l'ionisation initiale en L_1 par exemple se transfère en L_2 ou L_3 et l'énergie disponible correspondante peut servir à libérer un électron plus faiblement lié. Ces transitions sans rayonnement sont généralement appelées transitions Coster-Kronig, ces deux auteurs les ayant proposées pour expliquer l'existence de certaines raies satellites (de série L).

L'importance de cet effet varie beaucoup avec Z , car pour qu'il ait lieu, il faut que l'énergie libérée par le transfert de lacune d'une sous-couche à une autre soit suffisante pour expulser un électron d'une sous-couche extérieure, condition qui dépend de Z . Pour la couche L, mesures et calculs peuvent donner les rendements ω relatifs à chacun des niveaux L_1 , L_2 et L_3 ; mais certains auteurs ont mesuré une valeur moyennée ω_L sur les trois sous couches.

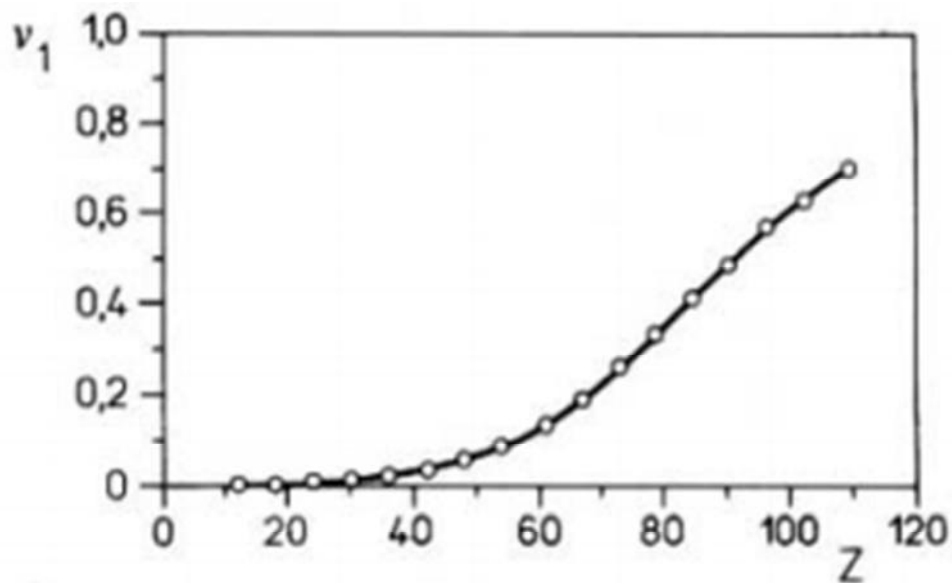


Figure I.13 : Variation avec le numéro atomique Z de rendements de fluorescence effectif ν_1 , pour le sous-couche L_1 [Krause 1979].

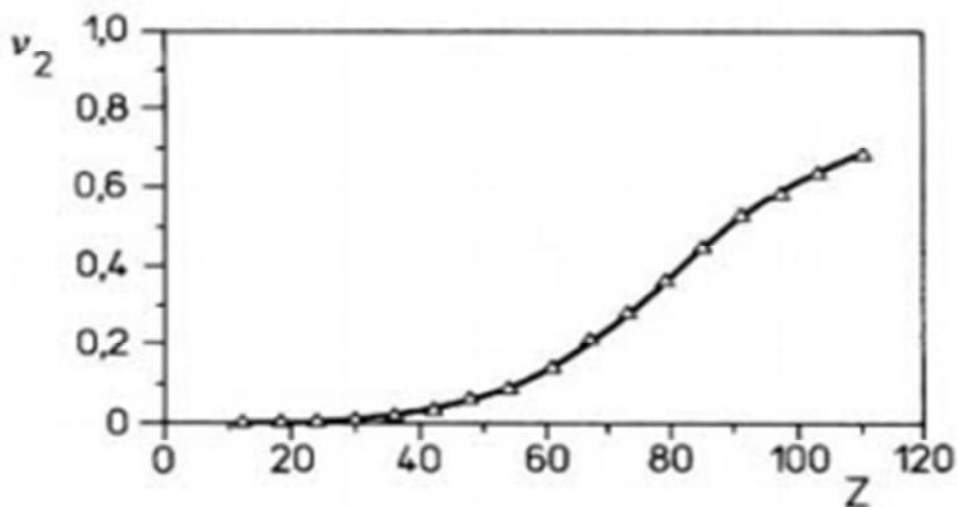


Figure I. 14 : Variation avec le numéro atomique Z de rendement de fluorescence effectif ν_2 pour le sous-couche L_2 [Krause 1979].

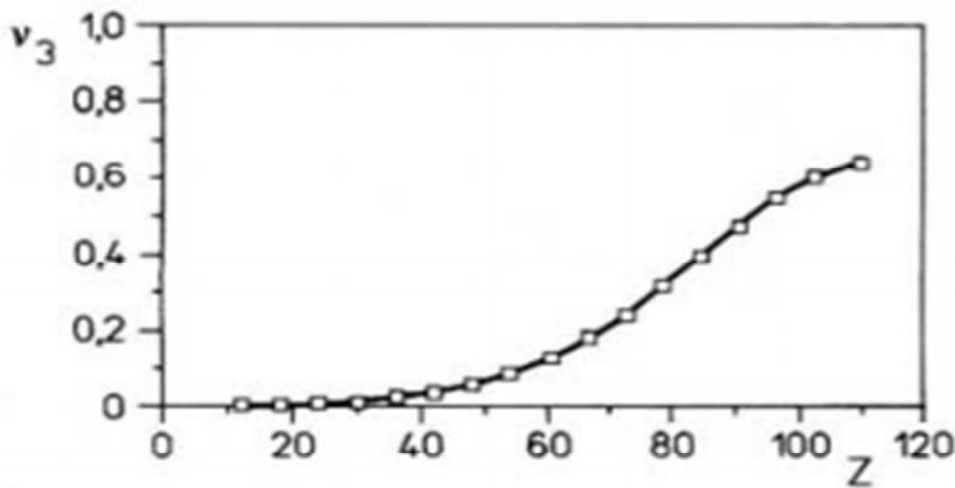


Figure I. 15 : Variation avec le numéro atomique Z des rendements de fluorescence effectifs v_3 pour le sous-couche L_3 [Krause 1979].

I.10- Section efficace de production des rayons X de la couche L

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

$$I_\alpha = [(f_{13} + f_{12}f_{23}) \sigma_{L1} + f_{23} \sigma_{L2} + \sigma_{L3}] \omega_3 F_{3\alpha} \dots\dots\dots \text{Eq (I.14)}$$

$$I_\beta = [\sigma_{1\beta} + f_{12} \sigma_{2\beta}(f_{13} + f_{12}f_{23}) \omega_3 F_{3\alpha}] \sigma_{L1} + (\sigma_{2\beta}f_{23} \omega_3 F_{3\alpha}] \sigma_{L2} + \sigma_{3\beta} \omega_3 F_{3\alpha} \sigma_{L3} \dots\dots \text{Eq(I.15)}$$

$$I_\gamma = (\omega_1 F_{1\gamma} + f_{12} \sigma_{2\gamma}) \sigma_{L1} + \omega_2 F_{2\gamma} \sigma_{L2} \dots\dots\dots \text{Eq(I.16)}$$

Avec :

σ_i ($i = 1, 2, 3$) Est la section efficace d’ionisation, ω_i les rendements de fluorescences de la sous-couche L_i , f_{ij} ($i = 1, 2; j = 2, 3$) sont les probabilités de transitions de Coster-Kronig, F_{iy} ($y = \alpha, \beta, \gamma$) est le taux d’émission de rayons X :

$$F_{iy} = \frac{\Gamma_{iy}}{\Gamma_i} \dots\dots\dots \text{(I.17)}$$

Avec :

$\Gamma_{i\beta}$ est la probabilité d'une transition électronique vers le niveau L_i et $\Gamma_{i\gamma}$ est la probabilité de l'émission d'un rayon L_γ ($\gamma = \alpha, \beta, \gamma$), par exemple: $F_{3\alpha} = \frac{\Gamma_{3\alpha}}{\Gamma_3}$, avec Γ_3 est la probabilité d'une transition électronique vers le niveau L_3 conduisant à l'émission d'un rayon X, et $\Gamma_{3\alpha}$ est la probabilité de l'émission d'un rayon $X_{L\alpha}$, c'est-à-dire des transitions $L_3 \rightarrow M_5$ et $L_3 \rightarrow M_4$, conduisant à l'émission des raies $L_{\alpha 1}$ et $L_{\alpha 2}$ respectivement.

On aura aussi:

$$\Gamma_{1\beta} = \Gamma_1(M_2, M_3 \rightarrow L_1) + \Gamma_1(M_4, M_5 \rightarrow L_1) \dots \dots \dots (I.18)$$

$$\Gamma_{1\gamma} = \Gamma_1(N_2, N_3 \rightarrow L_1) + \Gamma_1(O_2, O_3 \rightarrow L_1) \dots \dots \dots (I.19)$$

$$\Gamma_{2\beta} = \Gamma_2(M_4 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(M_3 \rightarrow L_2) \dots \dots \dots (I.20)$$

$$\Gamma_{2\gamma} = \Gamma_2(N_1 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(N_4 \rightarrow L_2) + \Gamma_2(O_1, O_4 \rightarrow L_2) \dots \dots \dots (I.21)$$

$$\Gamma_{3\alpha} = \Gamma_3(M_4 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(M_5 \rightarrow L_3) \dots \dots \dots (I.22)$$

$$\Gamma_{3\beta} = \Gamma_3(N_1 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(N_4 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(N_5 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(O_1 \rightarrow L_3) + \Gamma_3(O_4, O_5 \rightarrow L_3) \dots (I.23)$$

Avec :

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

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

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

Bibliographies

- Roux. C, Lycée E. Herriot, (Octobre 2007).
- Jacques Despujols, Techniques de l'ingénieur, P 2 695(10/09/2000).
- Pierre. G, Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres, Université Bordeaux (2012).
- Pr. Lounis CHEKOUR, DES RAYONS X & Travaux Pratiques.
- M'hammed El Azzouzi, Thèse De Doctorat, (29/01/1981).
- Meriem Benslimane, Thèse de Magistère, (09/11/2004).
- Benamar. M .A, journées d'études sur la physique et les techniques nucléaires, (02/02/1991).
- Kohn and Sham.L .J, Phys, Rev. 140 , A1133(1965).
- Kostroun. V. O., Chen. M. H and Grasemann. B, 1971, 1s. Phys. Rev. A 3 ,533.
- Corinne Martin, thèse de doctorat, (04/07/2003).
- Boufas Sihem, thèse de magister en chimie, Université de mentouri de constaine (09/11/2004).
- Yvette Cauchois, Techniques de l'ingénieur, K 750(19/11/2007).
- Florian Frat, thèse de doctorat, L'université de Rouen , (19/11/2007).
- Diana Ragheb, D´développement de la méthode PIXE `a haute énergie Auprès du cyclotron ARRONAX, (09/09/2014).
- Philippe Maretto , Techniques de l'ingénieur , P 2 557 (10/12/2003).
- Thomas Dupuis, thèse de doctorat, Université de liege (2012).
- Philippe Galez, Spectrométrie de fluorescence atomique, (2011).
- Jopson. R .C, Atomic Fluorescence Yields , (July 1966).
- Strivay. D, thèse de doctorat , Université de liege (2002).
- Bambyenk,W., Carsemann, B., Fink, W., Freund, H.U., Mark, H.,Swift, C.D.,Price.,R.E.,Rao, P.V., 1972.Rev. Mod , Phys 44,716.
- Krause.M.O. Phys.J and Chem. Ref. Data (USA), 8, 307-327 (1979).
- Merzbacher , E., Lewis, H.W., Berlin 1958. P.166

CHAPITRE II

Base des Données du rendement de fluorescence de la sous-couche L_1 pour des éléments avec $40 \leq Z \leq 96$

II.1-Introduction

A l'origine, la fluorescence X a été conçue pour l'analyse dans l'industrie chimique mais aujourd'hui on applique cette méthode dans des domaines très divers comme la médecine, la biologie, l'industrie du pétrole et du charbon, l'industrie du ciment et l'analyse des roches. On l'utilise dans la production de l'acier et pour l'analyse des métaux lourds.

Le rendement de fluorescence est défini comme la probabilité pour un électron issu d'une couche extérieure vienne prendre la place vacante en émettant une raie X, pour mesurer et calculer des rendements de fluorescence de la couche L pour les éléments du tableau périodique. La base des données actuelle pour les rendements de fluorescence de la sous-couche (L_1) se fonde sur différentes publications de: Ross et al. (1955), Roos. (1959), Sujkowski et al. (1961), Päsche (1963), Freund et Fink. (1969), Rao et al. (1969), McGeorge et al. (1970), Rao et al. (1971), McGeorge et al. (1972a), McGeorge et Fink. (1972), Budick et Derman. (1972), Weksler et al. (1973), Salgueiro et al. (1974), McNelles et al. (1975), Veluri et Rao. (1977), Indira et al. (1978), Indira et al. (1979), Kodre et al. (1981), Markevich et Budick. (1981), Tan et al. (1982), Jitschin et al. (1985), Marques et al. (1985), Werner et Jitschin. (1988), Stötzel et al. (1992), Marques et al. (1993), Sánchez et al. (1994), Xu et al. (1994), Ertuğrul. (1998), Papp et al. (1998), Ertuğrul et Radio. (1998), Jitschin et al. (1999), Şahin et al. (2000), Öz et al. (2000), Kaya et al. (2001), Söğüt et al. (2001), Ertuğrul. (2001), Durak et Ozdemir. (2001), Ertuğrul et al. (2002), Kumar et al. (2002), Barrea et al. (2002), Campbell et al. (2003), Barrea et al. (2003), Özemir et Durak (2003), Sharma et al. (2005), Bonzi et Badiger. (2006), Badiger et Bonzi. (2006), Han et al. (2006), Han et al. (2007), Chauhan et al. (2008), Söğüt et al. (2009), Kumar et Puri. (2010), Cao et al. (2010), Kolbe et al. (2012), Kacal et al. (2012), Turhan et al. (2014), Aylikci et al. (2015), Kolbe et Hönicke. (2015).

II.2-Le code Excel

Excel est un logiciel utilisé pour faire le calcul de façon facile et rapide. Nous avons utilisé le code pour calculer la valeur moyenne non pondéré ($\bar{\omega}$), la valeur moyenne pondéré ($\bar{\omega}_W$), l'écart type non pondéré ($USD(\omega)$), l'écart-type pondéré ($WSD(\omega)$) et les erreurs standard non pondéré ($USE(\omega)$).

La figure suivante représente les données expérimentales compilées et éditées pendant la période de 1955-2015.

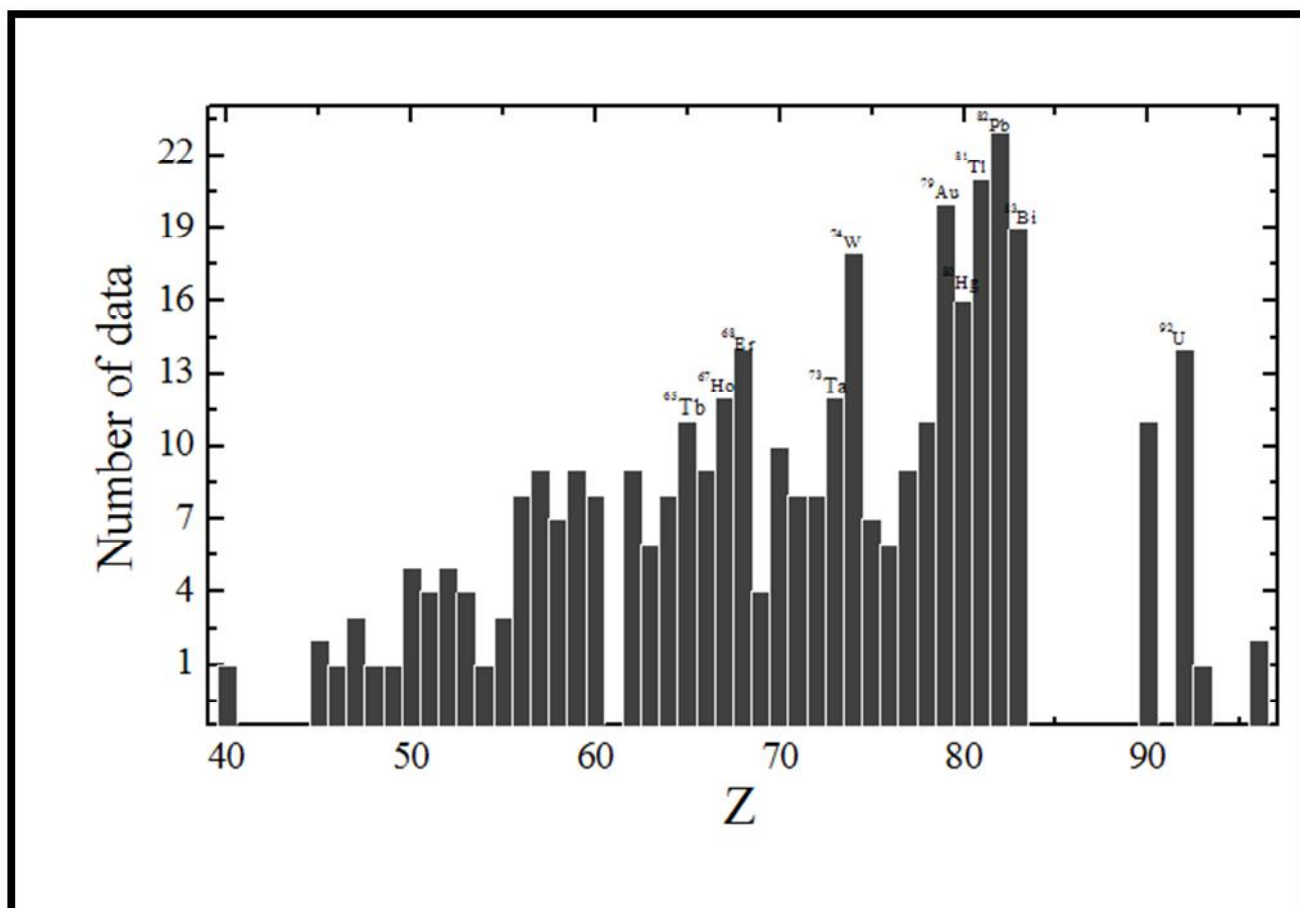


Figure II.1 : La distribution des rendements de fluorescence expérimentales de la couche L (ω_L) en fonction du numéro atomique Z tel que ($40 \leq Z \leq 96$).

La majorité des éléments entre $40 \leq Z \leq 96$ sont couvertes, Les données pour tout l'élément de nombre atomique (^{41}Nb , ^{42}Mo , ^{43}Tc , ^{44}Ru , ^{61}Pm , ^{84}Po , ^{85}At , ^{86}Rn , ^{87}Fr , ^{88}Ra , ^{89}Ac , ^{91}Pa , ^{94}Pu , ^{95}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 ⁶⁸Er, ⁷⁴W, ⁷⁹Au, ⁸¹Tl, ⁸²Pb, ⁸⁰Hg, ⁸³Bi, et ⁹²U.

II.3 -La définition de différente mesure et des erreurs

Quand il y des différentes mesures pour la même quantité (dans ce cas c'est les rendements de fluorescence de la sous-couche (L₁) les multiples définitions des mesures et des erreurs Kahoul et al. (2012) peut être calculée comme écrit ci-dessous :

- La valeur moyenne est :

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

Où :

ω_i : Les rendements de fluorescence expérimentaux.

N : Le nombre de données expérimentales.

- La valeur moyenne pondéré est :

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

Avec :

ω_i Est la valeur expérimentale.

$\Delta\omega_i$: Représente l'incertitude de la valeur expérimentale.

N : Est le nombre de valeur expérimentale.

- Déviation standard non-pondéré est :

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

- Déviation standard pondéré est :

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

- L'erreur standard non-pondéré est

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

Dans le tableau II.1, nous présentons la base de données des rendement de fluorescence expérimentaux de la sous-couche L₁ pour les élément atomiques de Z=40-96, dans le même tableau les valeurs de (ω_{L1}, ω, ω_w, UDS (ω), WSD (ω) et USE (ω)) sont aussi représentées.

Tableau II.1 : Rendement de fluorescence expérimentales de la couche L pour les éléments atomiques de Z=40- 96.

Z	ω _i (Ops)	References	ω	ω _w	USD(ω)	WSD(ω)	USE(ω)
40, Zr	0.0080±0.0010	(Kolbe and Hönicke, 2015)	0.008	0.008	-	Undefined	-
45, Rh	0.0160±0.0020 0.0160±0.0010	(Markevich and Budick ,1981) (Bonzi and Badiger, 2006)	0.0160	0.0160	-	-	-
46, Pd	0.0140±0.0020 0.0150±0.0010	(Bonzi and Badiger,2006 (Kolbe et al,2012)	0.0145	0.0148	0.0007	0.0005	0.0005
47, Ag	0.0210±0.0030 0.0130±0.0020 0.0210±0.0020	(Budick and Derman ,1972) (Jitschin et al, 1999) (Bonzi and Badiger,2006)	0.0183	0.0177	0.0046	0.0040	0.0027
48, Cd	0.0250±0.0030	(Bonzi and Badiger,2006)	0.0250	0.0250	-	Undefined	-
49, In	0.0310±0.0040	(Bonzi and Badiger,2006)	0.0310	0.0310	-	Undefined	-
50, Sn	0.0390±0.0030 0.0362±0.0018 0.0316±0.0016 0.0423±0.0022 0.0329±0.0017	(Bonzi and Badiger, 2006) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015)	0.0364	0.0352	0.0044	0.0039	0.0020
51, Sb	0.0371±0.0019 0.0342±0.0017 0.0479±0.0024 0.0378±0.0019	(Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015)	0.0393	0.0381	0.0060	0.0047	0.0030
52, Te	0.0620±0.0060 0.0411±0.0021 0.0345±0.0018 0.0511±0.0026 0.0439±0.0022	(Budick and Derman ,1972) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015)	0.0465	0.0418	0.0105	0.0082	0.0047
53, I	0.0433±0.0022 0.0371±0.0019 0.0532±0.0027 0.0495±0.0025	(Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015)	0.0458	0.0441	0.0071	0.0064	0.0035
54, Xe	0.0590 ±0.020	(cao et al,2010)	0.0590	0.0590	-	Undefined	-
55, Cs	0.0930±0.0090 0.0470±0.0050 0.0870±0.0060	(Sögüt et al, 2001) (Özemir and Durak, 2003) (Kaya et al, 2001)	0.0757	0.0680	0.0250	0.0224	0.0144
56, Ba	0.0930±0.0090 0.0360±0.0040 0.0500±0.0050 0.0870±0.0060 0.0528±0.0027 0.0485±0.0025 0.0615±0.0031 0.0654±0.0033	(Sögüt et al, 2001) (Badiger and Bonzi ,2006) (Özemir and Durak, 2003) (Kaya et al, 2001) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015) (Aylikci et al, 2015)	0.0618	0.0554	0.0196	0.0136	0.0069
57, La	0.1020±0.0090 0.0580±0.0070 0.0550±0.0060 0.0960±0.0070	(Sögüt et al, 2001) (Badiger and Bonzi ,2006) (Özemir and Durak, 2003) (Kaya et al, 2001)	0.0684	0.0609	0.0183	0.0138	0.0061

	0.0540±0.0028	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0522±0.0027	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0639±0.0033	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0701±0.0036	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0640±0.0070	(Barrea et al, 2003)					
58, Ce	0.1500±0.0130	(Sögüt et al, 2001)	0.0881	0.0640	0.0439	0.0294	0.0166
	0.0600±0.0060	(Özemer and Durak, 2003)					
	0.1530±0.0120	(Kaya et al, 2001)					
	0.0567±0.0029	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0550±0.0028	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0667±0.0034	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0752±0.0038	(Aylıkci et al, 2015)					
59, Pr	0.1920±0.0140	(Sögüt et al, 2001)	0.0943	0.0693	0.0513	0.0317	0.0171
	0.0650±0.0060	(Badiger and Bonzi, 2006)					
	0.0640±0.0070	(Özemer and Durak, 2003)					
	0.1750±0.0140	(Kaya et al, 2001)					
	0.0628±0.0032	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0592±0.0030	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0686±0.0035	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0817±0.0042	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0800±0.0080	(Barrea et al, 2003)					
60, Nd	0.1190±0.0120	(Sögüt et al, 2001)	0.0807	0.0706	0.0229	0.0164	0.0081
	0.0650±0.0080	(Özemer and Durak, 2003)					
	0.0660±0.0040	(Öz et al, 2000)					
	0.1120±0.0080	(Kaya et al, 2001)					
	0.0661±0.0034	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0607±0.0031	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0706±0.0036	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0865±0.0044	(Aylıkci et al, 2015)					
62, Sm	0.0420±0.0040	(Sögüt et al, 2001)	0.0669	0.0625	0.0187	0.0183	0.0062
	0.0580±0.0040	(Han et al, 2007)					
	0.0730±0.0070	(Özemer and Durak, 2003)					
	0.0410±0.0030	(Kaya et al, 2001)					
	0.0728±0.0037	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0689±0.0035	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0775±0.0040	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1022±0.0052	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0670±0.0100	(Stötzel et al, 1992)					
63, Eu	0.0600±0.0200	(Veluri and Rao, 1977)	0.0771	0.0781	0.0116	0.0082	0.0047
	0.0860±0.0060	(Han et al, 2006)					
	0.0748±0.0038	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0691±0.0035	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0810±0.0041	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0919±0.0047	(Aylıkci et al, 2015)					
64, Gd	0.1010±0.0050	(Papp et al, 1998)	0.0887	0.0844	0.0114	0.0106	0.0040
	0.1010±0.0090	(Kumar and Puri, 2010)					
	0.0870±0.0060	(Han et al, 2007)					
	0.0780±0.0030	(Öz et al, 2000)					
	0.0778±0.0040	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0763±0.0039	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0854±0.0044	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1028±0.0052	(Aylıkci et al, 2015)					
65, Tb	0.1800±0.0400	(McGeorge et al, 1970)	0.0908	0.0781	0.0342	0.0202	0.0103
	0.1020±0.0140	(Sánchez et al, 1994)					
	0.0540±0.0050	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1020±0.0090	(Kumar and Puri, 2010)					
	0.0800±0.0060	(Özemer and Durak, 2003)					
	0.0840±0.0030	(Öz et al, 2000)					
	0.0500±0.0040	(Kaya et al, 2001)					
	0.0806±0.0041	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0799±0.0041	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0876±0.0045	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0992±0.0051	(Aylıkci et al, 2015)					
66, Dy	0.1090±0.0130	(Xu et al, 1994)	0.0945	0.0919	0.0114	0.0095	0.0038
	0.1080±0.0090	(Kumar and Puri, 2010)					
	0.0850±0.0070	(Han et al, 2007)					
	0.0830±0.0090	(Özemer and Durak, 2003)					
	0.0890±0.0050	(Öz et al, 2000)					

	0.0879±0.0045	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0836±0.0043	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0948±0.0048	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1099±0.0056	(Aylikci et al, 2015)					
67, Ho	0.1180±0.0170	(Sánchez et al, 1994)	0.1162	0.0992	0.0405	0.0267	0.0177
	0.2040±0.0190	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1210±0.0100	(Kumar and Puri, 2010)					
	0.1040±0.0080	(Han et al, 2007)					
	0.0870±0.0090	(Özemir and Durak, 2003)					
	0.0960±0.0080	(Öz et al, 2000)					
	0.1920±0.0150	(Kaya et al, 2001)					
	0.0928±0.0047	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0851±0.0043	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0954±0.0049	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1176±0.0060	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0810±0.0110	(Turhan et al, 2014)					
68, Er	0.0095±0.0100	(Şahin et al, 2000)	0.0964	0.0986	0.0271	0.0186	0.0073
	0.0910±0.0090	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1170±0.0060	(Barrea et al, 2002)					
	0.1160±0.0100	(Kumar and Puri, 2010)					
	0.1190±0.0100	(Chauhan et al, 2008)					
	0.1130±0.0090	(Han and al, 2007)					
	0.0930±0.0090	(Kacal et al, 2012)					
	0.1000±0.0100	(Özemir and Durak, 2003)					
	0.1020±0.0050	(Öz et al, 2000)					
	0.0870±0.0060	(Kaya et al, 2001)					
	0.0982±0.0050	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0906±0.0046	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1064±0.0054	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1072±0.0055	(Aylikci et al, 2015)					
69, Tm	0.1068±0.0054	(Aylikci et al, 2015)	0.1028	0.1023	0.0057	0.0052	0.0029
	0.0944±0.0048	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1042±0.0053	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1058±0.0054	(Aylikci et al, 2015)					
70, Yb	0.1260±0.0100	(McNelles et al, 1975)	0.1195	0.0889	0.0310	0.0478	0.0098
	0.1450±0.0210	(Sánchez et al, 1994)					
	0.1410±0.0120	(Kumar and Puri, 2010)					
	0.1360±0.0160	(Xu et al, 1994)					
	0.1550±0.0100	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1120±0.0100	(Kacal et al, 2012)					
	0.1150±0.0100	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.0780±0.0080	(Sögüt et al, 2001)					
	0.0560±0.0040	(Kaya et al, 2001)					
	0.1310±0.0130	(Marques et al, 1993)					
71, Lu	0.1150±0.0100	(Kacal et al, 2012)	0.1171	0.1133	0.0108	0.0106	0.0038
	0.1220±0.0100	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1350±0.0160	(Xu et al, 1994)					
	0.1186±0.0060	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0997±0.0051	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1256±0.0064	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1099±0.0056	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1110±0.0160	(Turhan et al, 2014)					
72, Hf	0.1250±0.0070	(Werner and Jitschin, 1988)	0.1249	0.1239	0.0095	0.0089	0.0034
	0.1340±0.0090	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1350±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1300±0.0040	(Öz et al, 2000)					
	0.1270±0.0065	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1096±0.0056	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1269±0.0065	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1114±0.0057	(Aylikci et al, 2015)					
73, Ta	0.1500±0.0200	(Indira et al, 1979)	0.1490	0.1346	0.0457	0.0260	0.0132
	0.1900±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1190±0.0200	(Şahin et al, 2000)					
	0.1340±0.0068	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1214±0.0062	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1397±0.0071	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1125±0.0057	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1380±0.0100	(Ertuğrul, 2001)					
	0.2800±0.0700	(Roos, 1959)					

	0.1290±0.0110	(Kacal et al, 2012)					
	0.1370±0.0100	(Ertuğrul , 2001)					
	0.1370±0.0100	(Ertuğrul , 1998)					
74, W	0.1300±0.0080	(Werner and Jitschin , 1988)	0.1445	0.1351	0.0399	0.0214	0.0094
	0.1380±0.0080	(Werner and Jitschin , 1988)					
	0.1060±0.0230	(Salgueiro et al, 1974)					
	0.1210±0.0200	(Şahin et al, 2000)					
	0.1590±0.0120	(Kacal et al, 2012)					
	0.1420±0.0080	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1300±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1410±0.0100	(Ertuğrul and Radio, 1998)					
	0.1410±0.0100	(Ertuğrul, 2001)					
	0.2930±0.0230	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1430±0.0100	(Öz et al, 2000)					
	0.1220±0.0090	(Kaya et al, 2001)					
	0.1438±0.0073	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1225±0.0062	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1494±0.0076	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1145±0.0058	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1640±0.0210	(Turhan et al, 2014)					
	0.1410±0.0100	(Ertuğrul, 1998)					
75, Re	0.0950±0.0200	(Salgueiro et al, 1974)	0.1217	0.1118	0.0261	0.0299	0.0099
	0.1462±0.0075	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0792±0.0040	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1489±0.0076	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1189±0.0061	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1320±0.0080	(Ertuğrul , 2001)					
	0.1320±0.0080	(Ertuğrul , 1998)					
76, Os	0.1480±0.0100	(Kacal et al, 2012)	0.1214	0.1110	0.0219	0.0246	0.0089
	0.1300±0.0070	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1265±0.0065	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0818±0.0042	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1243±0.0063	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1180±0.0060	(Aylikci et al, 2015)					
77, Ir	0.1600±0.0400	(Indira et al, 1978)	0.1356	0.1207	0.0226	0.0203	0.0075
	0.1700±0.0400	(Indira et al, 1978)					
	0.1151±0.0059	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1390±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1440±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1068±0.0054	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1170±0.0060	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1162±0.0059	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1520±0.0140	(Marques et al, 1993)					
78, Pt	0.1240±0.0120	(Marques et al, 1985)	0.1363	0.1109	0.0720	0.0297	0.0217
	0.0970±0.0080	(Kacal et al, 2012)					
	0.1150±0.0100	(Han et al, 2007)					
	0.1300±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1340±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.3500±0.0800	(Roos, 1959)					
	0.1150±0.0100	(Han et al, 2007)					
	0.1102±0.0056	(Aylikci et al, 2015)					
	0.0903±0.0046	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1163±0.0059	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1179±0.0060	(Aylikci et al, 2015)					
79, Au	0.0800±0.0100	(Päschke , 1963)	0.1208	0.1038	0.0686	0.0557	0.0150
	0.1038±0.0053	(Aylikci et al, 2015)					
	0.1140±0.0100	(Han et al, 2007)					
	0.3600±0.0900	(Roos, 1959)					
	0.1180±0.0080	(Kacal et al, 2012)					
	0.1350±0.0090	(Jitschin et al, 1985)					
	0.1370±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1400±0.0080	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.0980±0.0200	(Salgueiro et al, 1974)					
	0.1280±0.0100	(Şahin et al, 2000)					
	0.0970±0.0070	(Sharma et al, 2005)					
	0.0600±0.0060	(Söğüt et al, 2001)					
	0.1140±0.0100	(Han et al, 2007)					
	0.1580±0.0120	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.0980±0.0080	(Ertuğrul , 2001)					
	0.0670±0.0050	(Kaya et al, 2001)					

	0.0936±0.0048	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1014±0.0052	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1184±0.0060	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1170±0.0040	(Kolbe et al,2012)					
	0.0980±0.0080	(Ertuğrul , 1998)					
80, Hg	0.1030±0.0050	(Durak and Ozdemir , 2001)	0.1035	0.0709	0.0338	0.0498	0.0084
	0.1090±0.0080	(Ertuğrul and Radio, 1998)					
	0.1320±0.0180	(Marques et al, 1985)					
	0.0590±0.0100	(Şahin et al, 2000)					
	0.0580±0.0060	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1020±0.0080	(Sharma et al, 2005)					
	0.1110±0.0080	(Kacal et al, 2012)					
	0.0330±0.0020	(Sögüt et al, 2009)					
	0.1830±0.0140	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1090±0.0080	(Ertuğrul, 2001)					
	0.1029±0.0052	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0979±0.0050	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1044±0.0053	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1285±0.0066	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1150±0.0140	(Turhan et al, 2014)					
	0.1090±0.0080	(Ertuğrul, 1998)					
81, Tl	0.0700±0.0200	(Wood et al, 1969)	0.0983	0.0813	0.0483	0.0519	0.0103
	0.0500±0.0200	(Wood et al, 1969)					
	0.1090±0.0160	(Marques et al, 1980)					
	0.1060±0.0070	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1130±0.0080	(Ertuğrul and Radio, 1998)					
	0.1190±0.0110	(Han et al, 2007)					
	0.0750±0.0100	(Şahin et al, 2000)					
	0.0820±0.0070	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1100±0.0090	(Sharma et al, 2005)					
	0.1110±0.0080	(Kacal et al, 2012)					
	0.1070±0.0055	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1100±0.0250	(Sujkowski et al, 1961)					
	0.0330±0.0020	(Sögüt et al, 2009)					
	0.1190±0.0110	(Han et al, 2007)					
	0.1060±0.0030	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1130±0.0080	(Ertuğrul , 2001)					
	0.1060±0.0030	(Öz et al, 2000)					
	0.0880±0.0070	(Kaya et al, 2001)					
	0.0971±0.0050	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1032±0.0053	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1231±0.0063	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1130±0.0080	(Ertuğrul , 1998)					
82, Pb	0.0700±0.0200	(Rao et al, 1969)	0.1216	0.0798	0.0800	0.0813	0.0167
	0.1108±0.0057	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.0900±0.0200	(Rao et al, 1971)					
	0.1600±0.0400	(Kodre et al, 1981)					
	0.1040±0.0190	(Tan et al, 1982)					
	0.1450±0.0090	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.1180±0.0080	(Ertuğrul and Radio, 1998)					
	0.1440±0.0090	(Werner and Jitschin, 1988)					
	0.0930±0.0200	(Şahin et al, 2000)					
	0.0830±0.0070	(Sögüt et al, 2001)					
	0.3700±0.0400	(Roos, 1959)					
	0.1100±0.0080	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1200±0.0110	(Han et al, 2007)					
	0.1180±0.0080	(Kacal et al, 2012)					
	0.0320±0.0020	(Sögüt et al, 2009)					
	0.1200±0.0110	(Han et al, 2007)					
	0.0940±0.0070	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1180±0.0080	(Ertuğrul, 2001)					
	0.1038±0.0053	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1139±0.0058	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1270±0.0064	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1340±0.0050	(Kolbe et al, 2012)					
	0.1180±0.0080	(Ertuğrul, 1998)					
83, Bi	0.0950±0.0050	(Freund and Fink, 1969)	0.1152	0.0844	0.0243	0.0507	0.0056
	0.1310±0.0060	(Campbell et al, 2003)					
	0.1150±0.0080	(Kacal et al, 2012)					
	0.1180±0.0110	(Weksler et al, 1973)					
	0.0960±0.0200	(Şahin et al, 2000)					
	0.0980±0.0080	(Sögüt et al, 2001)					

	0.1200±0.0100	(Ross et al, 1955)					
	0.1210±0.0120	(Han et al, 2007)					
	0.0380±0.0020	(Sögüt et al, 2009)					
	0.1210±0.0120	(Han et al, 2007)					
	0.1690±0.0130	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1200±0.0070	(Ertuğrul, 2001)					
	0.1180±0.0040	(Öz et al, 2000)					
	0.1226±0.0063	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1148±0.0059	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1206±0.0062	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1257±0.0064	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1250±0.0160	(Turhan et al, 2014)					
	0.1200±0.0070	(Ertuğrul, 1998)					
90, Th	0.1080±0.0200	(Salgueiro et al, 1974)	0.1515	0.1491	0.0265	0.0243	0.0084
	0.1420±0.0200	(Şahin et al, 2000)					
	0.1690±0.0150	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1770±0.0110	(Ertuğrul and Radio, 1998)					
	0.1530±0.0110	(Kumar et al, 2002)					
	0.1570±0.0070	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1690±0.0100	(Kacal et al, 2012)					
	0.1300±0.0070	(Sögüt et al, 2009)					
	0.1070±0.0080	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1770±0.0110	(Ertuğrul, 2001)					
	0.1770 ±0.0110	(Ertuğrul, 1998)					
92, U	0.2100±0.0400	(McGeorge et al, 1972a)	0.2223	0.1601	0.1944	0.0722	0.0539
	0.1530±0.0200	(Şahin et al, 2000)					
	0.1520±0.0150	(Sögüt et al, 2001)					
	0.1730±0.0120	(Kumar et al, 2002)					
	0.1870±0.0110	(Durak and Ozdemir, 2001)					
	0.1880±0.0130	(Ertuğrul and Radio, 1998)					
	0.1330±0.0070	(Sögüt et al, 2009)					
	0.8650±0.0690	(Ertuğrul et al, 2002)					
	0.1880±0.0130	(Ertuğrul, 2001)					
	0.1724±0.0088	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1337±0.0068	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1728±0.0088	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1625±0.0083	(Aylıkci et al, 2015)					
	0.1880±0.0130	(Ertuğrul, 1998)					
93, Np	0.1960±0.0200	(Weksler et al, 1973)	0.1960	0.1960	-	Undefined	-
96,Cm	0.2500±0.0600	(McGeorge and Fink, 1972)	0.2350	0.2350	0.0212	0.0150	0.0106
	0.2200±0.0600	(McGeorge and Fink, 1972)					

Bibliographies

- Päschke R. Messung der L-Auger, Fluoreszenz- und Coster-Kronig-Ausbeuten von Gold. Physik Z. 1963; 176: 143-154.
- Rao PV, Wood RE, Palms JM, Fink RW. L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Pb. Phys. Rev. 1969; 178:1997.
- Freund HU, Fink RW. Bismuth L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities from Decay of Pb^{210} (RaD). Phys. Rev. 1969; 178:1952.
- McGeorge JC, Freund HU, Fink RW. L-Subshell X-Ray Fluorescence and Coster-Kronig Yields at $Z = 65$; Branching Ratio, and K-Conversion of the 58 keV Transition in ^{159}Tb . Nucl. Phys. 1970; A 154:526-538.
- Budick B, Derman S. L-Subshell Fluorescence Yields for Silver and Tellurium. Phys. Rev. Lett. 1972; 29: 1055.
- McGeorge JC, Fink RW. The L1 Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields for $Z = 96$ Radioactivity ^{249}Cf ; measured X_{lce}-coin, X_{ly}-coin, X_{lXk}-coin. Cm deduced L1 fluorescence, Coster-Kronig yields. Z. Phys. 1972; 250: 293.
- McGeorge JC, Nix DW, Fink RW. L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields at $Z = 92$ and the Decay of ^{235}Np . Z. Phys. 1972a; 255:335.
- Weksler M, Pinho AG. L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Bismuth and Neptunium, X-Ray Spectrm. 1973; 3:291.
- McNelles LA, Campbell JL, Geiger JS, Graham RL, Merritt JS. L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transitions at $Z = 70$. Can. J. Phys. 1975; 53:1349.
- Indira PA, Palms JM, Rao PV. Decay of ^{194}Os and L₁ Subshell Yields at $Z = 77$. Z. Phys. 1978; A284:33.
- Markevich D, Budick B. Fluorescence yields for the rhodium L shell. Phys. B: At. Mol. Phys. 1981; 14: 1553.
- Kodre A, Hribar M, Ajlec B, Pahor J. L-subshell fluorescence yields of lead. Z. Phys. 1981; A 303: 23-26.
- Tan M, Braga RA, Fink RW, Rao PV. X-Ray Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of the L1, L2 and L3 subshells of Pb. Phys. Scripta. 1982; 25: 536-547.

- Jitschin W, Materlik G, Werner U, Funke P. Coster-Kronig and fluorescence yields of Au L subshells derived from photoionization measurements. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 1985; 18:1139.
- Marques-MI, Martins MC, Ferreira JG. L1 Subshell Yields of Pt and Hg. *Physica. Scripta.* 1985; 32:107-110.
- Werner U, Jitschin WL. Vacancy Decay in Heavy Elements (72 Less Than or Equal to Z Less Than or Equal to 82) by the Synchrotron Photoionization Method. *Phys. Rev.* 1988; A 38:4009-4018.
- Stotzel R, Werner U, Sarkar M, Jitschin W. Fluorescence Coster-Kronig and Auger yields of the, Sm L subshells measured with the synchrotron photoionization method. *Phys. 8: At. Mol. Opt. Phys. ZS.* 1992; 2295:2307.
- Xu JQ, Xu XJ. L (1)-Subshell and L (2)-Subshell Fluorescence Yields of Lanthanides. *Physical review A.* 1994; 49: 2191-2194.
- Sánchez HJ, Rubio M, Pérez RD, Burattini E. L-subshell Fluorescence Yields Measured with Synchrotron Radiation. *X Ray Spectrm.* 1994; 23:267.
- Ertugrul, M. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross sections and L subshell fluorescence yields of elements in the atomic range $73 \leq Z \leq 92$ at 60 KeV. *Nucl.Chem.* 1998; 237:139-142.
- Papp T, Campbell JL, Raman S. Fluorescence and Coster-Kronig yields of the L1 shell in gadolinium. *Phys. Rev.* 1998; A 58:3537.
- Jitschin W, Stötzel R, Papp T, Sarkar M. Coster-Kronig, fluorescence, and Auger yields of the ^{47}Ag L subshells measured through synchrotron photoionization. *Phys. Rev.* 1999; A59: 3408.
- Oz E, Ozdemir Y, Ekinci N, Ertugrul M, Şahin Y, Erdogan H. Measurement of atomic L shell fluorescence (w_1, w_2, w_3) and Auger (a_1, a_2 and a_3) yields for some elements in the atomic number range $59 \leq Z \leq 85$. *Spectrochimica Acta Part.* 2000; B 55: 1869-1877.
- Şahin M, Demir L, Söğüt O, Ertuğrul M, İçelli O. L subshell fluorescence cross-sections and L subshell fluorescence yields in elements $68 \leq Z \leq 95$ by 59.5 keV photons. *J. Phys B: At. Mol. Opt. Phys.* 2000; 33: 93-98.
- Durak R, Ozdemir Y. Experimental determination of L-subshell fluorescence yields for heavy elements at 59.54 keV. *Atm Spectrom.* 2001; 16 (10): 1167-1171.

- Kaya A , Ertuğrul M , Doğan O, Soğüt Ö, Turgut Ü, Şimşek Ö. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross-sections at 59.54 keV and L subshell fluorescence yields for elements in the atomic range $55 \leq Z \leq 81$. *Analytica Chimica Acta*. 2001; 441: 317–323.
- Soğüt Ö, Ertuğrul M, Büyükkasap E. L-Subshell Fluorescence Yield Ratios, w_1/w_2 , w_1/w_3 and w_2/w_3 , for the Elements $55 \leq Z \leq 92$. *X-ray Spectrom*. 2001; 30: 427-430.
- Ertuğrul M. Measurement of L-subshell X-ray fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields for the elements in the atomic $73 \leq Z \leq 92$ at 60 KeV. *Instrumentation Science & Technology*. 2001; 29: 215-222.
- Barrea RA, Pérez CA, Sánchez HJ. Erbium L-subshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization. *J.Phys B: At. Mol. Opt. Phys*. 2002; 35:3167.
- Kumar A, Puri S, Mehta D, Garg ML, Singh N. L_1-L_3 Coster–Kronig and L_i ($i = 1,2,3$) subshell fluorescence yields for Th and U. *X-ray Spectrom*. 2002; 31: 103–108.
- Ertugrul M, Şimşek Ö. Determination of L_2 and L_3 subshell fluorescence yields of some elements in the atomic number range $22 \leq Z \leq 62$. *Radiat Phys Chem*. 2002; 65: 205-209.
- Özdemir Y, Durak R. L-subshell fluorescence yields (w_1 , w_2 and w_3) for elements in the atomic range $55 \leq Z \leq 68$ with a Si(Li) detector. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 2003; 77: 95–103.
- Sharma M, Singh P, Shahi JS, Mehta D, Singh N. L_i ($i= 1, 2, 3$) sub shell fluorescence yields for ^{79}Au , ^{80}Hg and ^{81}Tl . *X Ray Spectrm*. 2005; 34:35-41.
- Badiger NM, Edgardo V, Bonzi. Experimental determination of L subshell fluorescence yields of Ba, La and Pr using synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and methods*. 2006; 243:34-37.
- Bonzi EV, Badiger NM. Measurement of L subshell fluorescence yields of elements in the range $45 \leq Z \leq 50$ using synchrotron radiation. *Nucl. Instrum.Methods*. 2006; B248: 242–246.
- Han I, Demir L, Ağbaba M. Measurements of L X-ray production cross sections, L subshell fluorescence yields and K to L shell vacancy transfer probabilities. *Radiation Physics and Chemistry*. 2007; 76:1551–1559.
- Chauhan Y, Tiwari MK, Puri S. L_i ($i= 1-3$) subshell X-ray production cross sections and fluorescence yields for some elements with $56 \leq Z \leq 68$ at 22.6 keV. *Nucl.Instrum.Methods Phys.Res*. 2008; B266:30.

- Söğüt Ö, Apaydın G , Şimşek Ö, Cengiz E , Saydam M. Küp N, Tıraşoğlu E. Measurement of L subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range $75 \leq Z \leq 92$ using photoionization. Radiation Physics and Chemistry. 2009; 78(5):307-310.
- Kumar A, Puri S. L_1 and L_2 sub-shell fluorescence yields for elements with $64 \leq Z \leq 70$. Nucl.Instrum.Methods Phys.Res.2010; B268:1546.
- Kolbe M, Hönicke P, Muler M, Beckhoff B. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition probabilities with a reliable uncertainty budget for selected high- and medium-Z elements. Phys. Rev. 2012; A86: 042512.
- Turhana MF, Durak R, Akman F. Determination of L X-ray fluorescence parameters for Ho , Lu , W, Hg and Bi. Applied Radiation and Isotopes. 2014; 89:151-158.
- Aylikci V, Kahoul A, Aylikci NK, Tıraşoğlu E, Karahan IH, Abassi A, Dogan M. Empirical and semi-empirical interpolation of L X-ray fluorescence parameters for elements in the atomic range $50 \leq Z \leq 92$. Radiation Physics and Chemistry. 2015; 106: 99–125.
- Kolbe M, Hönicke P. Fundamental parameters of Zr and Ti for a reliable quantitative X-ray fluorescence analysis. X-Ray Spectrom. 2015.

CHAPITRE III

Calcul empirique des rendements de fluorescence des couches L pour les éléments avec $40 \leq Z \leq 96$

III.1- Introduction

Beaucoup de phénomènes associés à des réarrangements dans la configuration électronique d'un atome, consécutifs à une désintégration radioactive, nécessitent pour leur interprétation une connaissance du facteur de fluorescence ω . Dans certaines valeurs précises de cette quantité est nécessaire.

III.2- Méthodes de calculs

Nous expliquons les méthodes de calculs des rendements de fluorescence (ω_L) des éléments atomiques avec $40 \leq Z \leq 96$, en utilisons des formules qui en été publiés auparavant dans des important références. Nous avons utilisé la quantité $\left(\frac{\bar{\omega}_L}{1-\bar{\omega}_L}\right)^{1/4}$, on plus des méthodes de calcul simple (directe) pour calculer (ω_L). Pour déduire des résultats convenable on a diviser l'intervalle $40 \leq Z \leq 96$ en deux sous-intervalle ($40 \leq Z \leq 74$ et $75 \leq Z \leq 96$) pour chaque formule. Nous avons aussi comparés ces valeurs avec d'autres valeurs théoriques, semi-empirique et expérimentales (Krause (1979) , Puri et al (1993), Campbell (2003)) .

Les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche (L_1) ont été déduites par l'interpolation des valeurs expérimentales moyenne des rendements de fluorescence pondéré et non-pondéré en utilisant des fonctions analytique en fonction du nombre atomique Z .

Après ça on va faire une discussion sur le tableau de rendements de fluorescence (ω_{L_1}) et le figure (III.7) du rendement de fluorescence empiriques de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z , selon divers auteurs : (Krause (1979), Puri et al (1993), Campbell (2003)). Nous présentons des nouveaux paramètres pour le calcul des rendements de fluorescence de la sous-couche (L_1) pour des cibles de ^{40}Zr à ^{96}Cm . La base de données utilisée dans ce travail se fonde sur les différentes compilations disponibles dans les publications scientifiques: Ross et al. (1955), Roos. (1959), Sujkowski et al. (1961), Päschenke. (1963), Freund et Fink. (1969), Rao et al. (1969), McGeorge et al. (1970), Rao et al. (1971), McGeorge et al. (1972a), McGeorge et Fink. (1972), Budick et Derman. (1972), Weksler et al. (1973), Salgueiro et al. (1974), McNelles et al. (1975), Veluri et Rao. (1977), Indira et al. (1978), Indira et al. (1979), Kodre et al. (1981), Markevich et Budick. (1981), Tan et al.

(1982), Jitschin et al. (1985), Marques et al. (1985), Werner et Jitschin. (1988), Stötzel et al. (1992), Marques et al. (1993), Sánchez et al. (1994), Xu et al. (1994), Ertuğrul. (1998), Papp et al. (1998), Ertuğrul et Radio. (1998), Jitschin et al. (1999), Şahin et al. (2000), Öz et al. (2000), Kaya et al.(2001), Söğüt et al. (2001), Ertuğrul.(2001), Durak et Ozdemir. (2001), Ertuğrul et al.(2002), Kumar et al. (2002) , Barrea et al. (2002), Campbell et al. (2003), Barrea et al. (2003), Özemir et Durak (2003), Sharma et al. (2005), Bonzi et Badiger. (2006), Han et al. (2006), Badiger et Bonzi. (2006), Han et al. (2007), Chauhan et al. (2008), Söğüt et al. (2009), Kumar et Puri. (2010), Cao et al.(2010), Kolbe et al.(2012), Kacal et al. (2012), Turhan et al. (2014), Aylikci et al. (2015), Kolbe et Hönicke.(2015).

Nous avons à notre disposition une base de données regroupant 361 valeurs.

III.3-Les résultats

Avant tous et pour trouver des résultats convenable on a divisé l'intervalle $40 \leq Z \leq 96$ en deux sous-intervalles, $40 \leq Z \leq 74$ et $75 \leq Z \leq 96$. Basé sur la fameuse relation proposer par plusieurs auteurs $(\left(\frac{\langle \bar{\omega}_L \rangle W_-}{1-\langle \bar{\omega}_L \rangle W_-}\right)^{1/4} = \sum_{n=0}^3 a_n Z^n)$ nous avons présenté les quantités $\left(\frac{\langle \bar{\omega}_{I_1} \rangle UNW}{1-\langle \bar{\omega}_{I_1} \rangle UNW}\right)^{1/4}$ et $\left(\frac{\langle \bar{\omega}_{I_1} \rangle W_-}{1-\langle \bar{\omega}_{I_1} \rangle W_-}\right)^{1/4}$ en fonction du numéro atomique Z séparément.

Les données expérimentales réduites $\left(\frac{\langle \bar{\omega}_L \rangle W_-}{1-\langle \bar{\omega}_L \rangle W_-}\right)^{1/4}$ et $\left(\frac{\langle \bar{\omega}_L \rangle UNW}{1-\langle \bar{\omega}_L \rangle UNW}\right)^{1/4}$ sont présentées sur les figures (III.1, III.2, III.3 et III.4) en fonction du nombre atomique Z. la fonction analytique utilisée pour l'interpolation est le polynôme de degré trois :

$$\left(\frac{\langle \bar{\omega}_L \rangle W_-}{1-\langle \bar{\omega}_L \rangle W_-}\right)^{1/4} = \sum_{n=0}^3 a_n Z^n \dots \dots \dots \text{Eq.III.1}$$

et

$$\left(\frac{\langle \bar{\omega}_L \rangle UNW}{1-\langle \bar{\omega}_L \rangle UNW}\right)^{1/4} = \sum_{n=0}^3 k_n Z^n \dots \dots \dots \text{Eq.III.2}$$

Les figures (III.1), (III.2), (III.3), (III.4), (III.5), (III.6) montres les résultats selon l'équation (Eq.III.1) et (Eq.III.2), les barres d'erreur des valeurs adaptées pondéré et non-pondéré sont aussi représenté. Pour déduire les rendements moyens empiriques de fluorescence de la sous-couche (L_1) des éléments dans la gamme $40 \leq Z \leq 96$ pour les deux méthodes (Eq.III.1) et (Eq.III.2) on utilise les formules suivantes :

$$(\bar{\omega}_L)_{empW} = \left(\frac{f_1^4(Z)}{1+f_1^4(Z)} \right) \quad \text{pour} \quad 40 \leq Z \leq 74 \dots \text{Eq.III.3}$$

et

$$(\bar{\omega}_L)_{empW} = \left(\frac{f_2^4(z)}{1+f_2^4(z)} \right) \quad \text{pour} \quad 75 \leq Z \leq 96 \dots \text{Eq.III.4}$$

$$*(\bar{\omega}_L)_{empUNW} = \left(\frac{g_1^4(Z)}{1+g_1^4(Z)} \right) \quad \text{pour} \quad 40 \leq Z \leq 74 \dots \text{Eq.III.5}$$

et

$$(\bar{\omega}_L)_{empUNW} = \left(\frac{g_2^4(Z)}{1+g_2^4(Z)} \right) \quad \text{pour} \quad 75 \leq Z \leq 96 \dots \text{Eq.III.6}$$

Avec :

$$f_1(Z) = -2.00545 + 0.10604 Z - 0.00155 Z^2 + 8.01995 \times 10^{-6} Z^3 \dots \text{Eq.III.7}$$

$$f_2(z) = 26.39379 - 0.84002 Z + 0.00894 Z^2 - 3.09604 \times 10^{-5} Z^3 \dots \text{Eq.III.8}$$

$$g_1(Z) = -1.94341 + 0.09933 Z - 0.00137 Z^2 + 6.71845 \times 10^{-6} Z^3 \dots \text{Eq.III.9}$$

$$g_2(Z) = 17.30527 - 0.54946 Z + 0.00591 Z^2 - 2.06526 \times 10^{-5} Z^3 \dots \text{Eq.III.10}$$

➤ A l'aide du logiciel « origin », tracer La distribution des rendements de fluorescence

$\left(\frac{(\bar{\omega}_L)_W}{1-(\bar{\omega}_L)_W} \right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z et La

distribution des rendements de fluorescence $\left(\frac{(\bar{\omega}_L)_{UNW}}{1-(\bar{\omega}_L)_{UNW}} \right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1)

en fonction du numéro atomique Z .

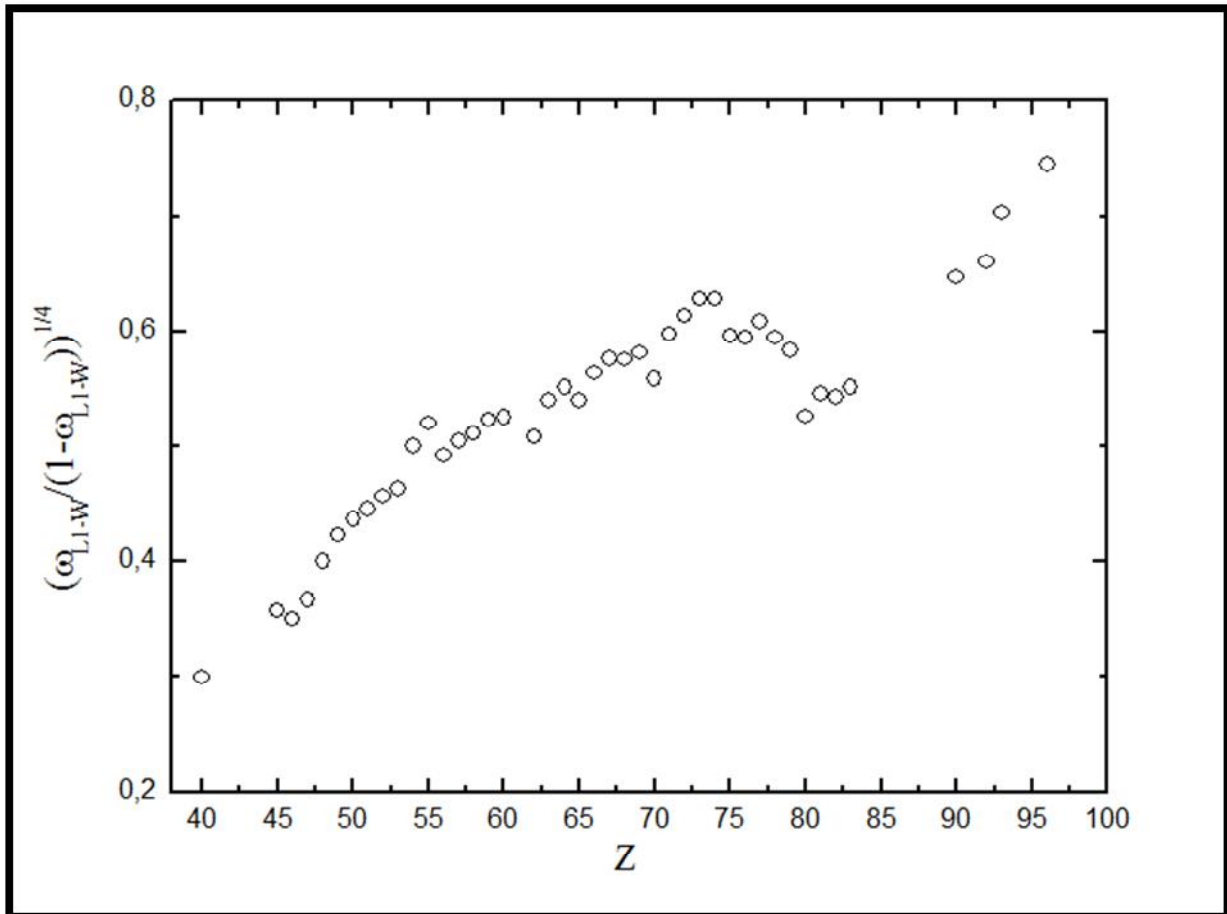


Figure III.1: La distribution des rendements de fluorescence $\left(\frac{\alpha_{L1-W}}{1-\alpha_{L1-W}}\right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z , pour les éléments avec $40 \leq Z \leq 96$ selon Eq.III.1.

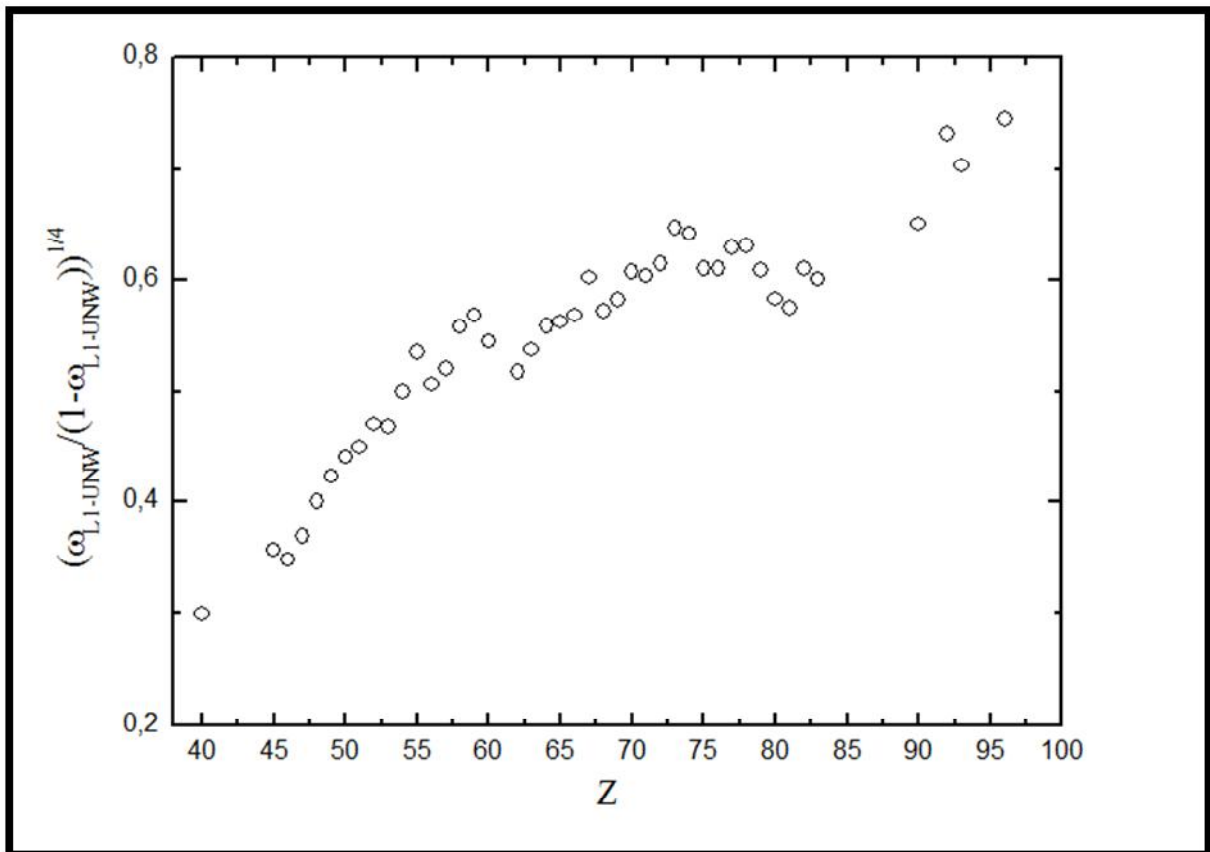


Figure III.2: La distribution des rendements de fluorescence $\left(\frac{\omega_{L_1-UNW}}{1-\omega_{L_1-UNW}}\right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z , pour les éléments avec $40 \leq Z \leq 96$ selon Eq.III.2.

-Selon la mauvaise distribution des valeurs expérimentales des rendements de fluorescence des sous couches L_1 , et pour obtenir des valeurs empirique plus faible on a divisé l'intervalle des éléments atomique 40-96 en deux sous- intervalle, le première est de :

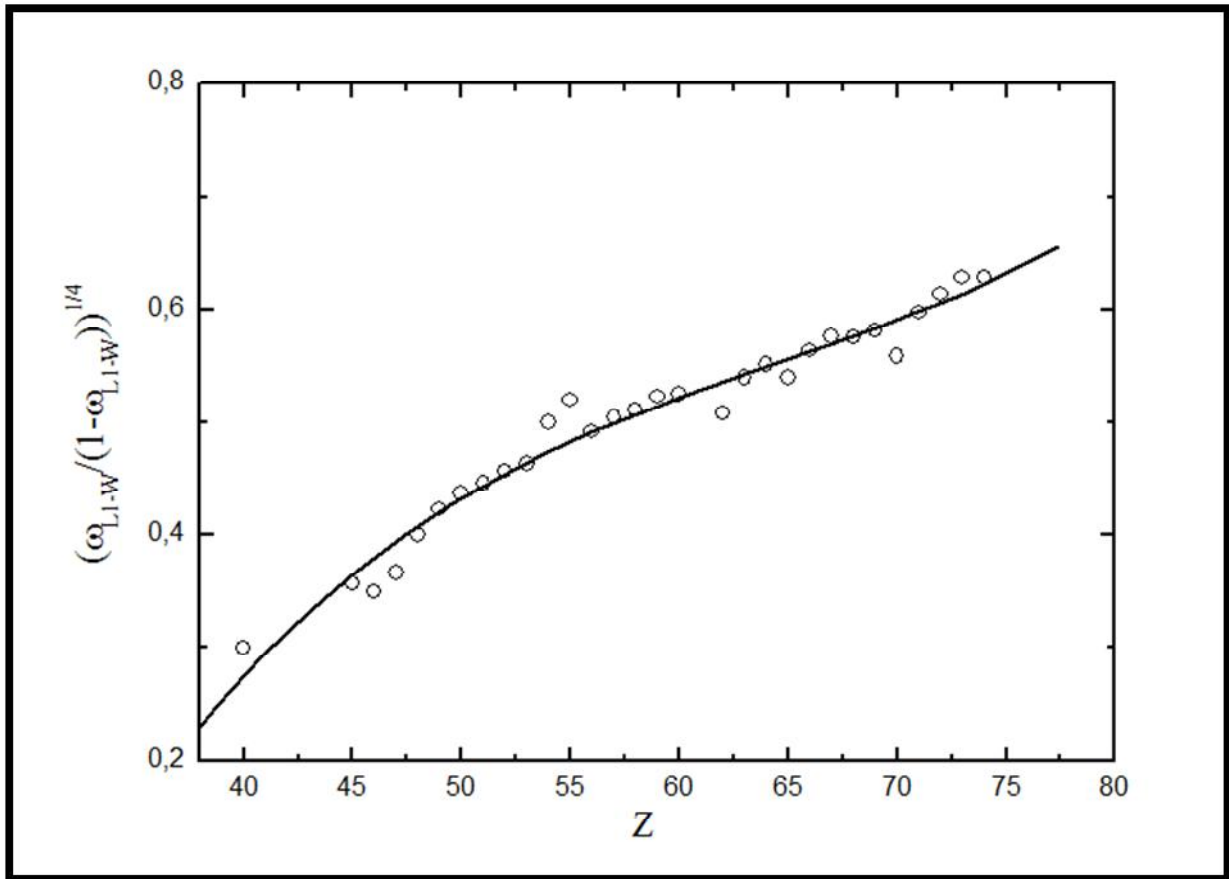


Figure III.3: La distribution des rendements de fluorescence $\left(\frac{\omega_{L_1-W}}{1-\omega_{L_1-W}}\right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z , pour les éléments avec $40 \leq Z \leq 74$.

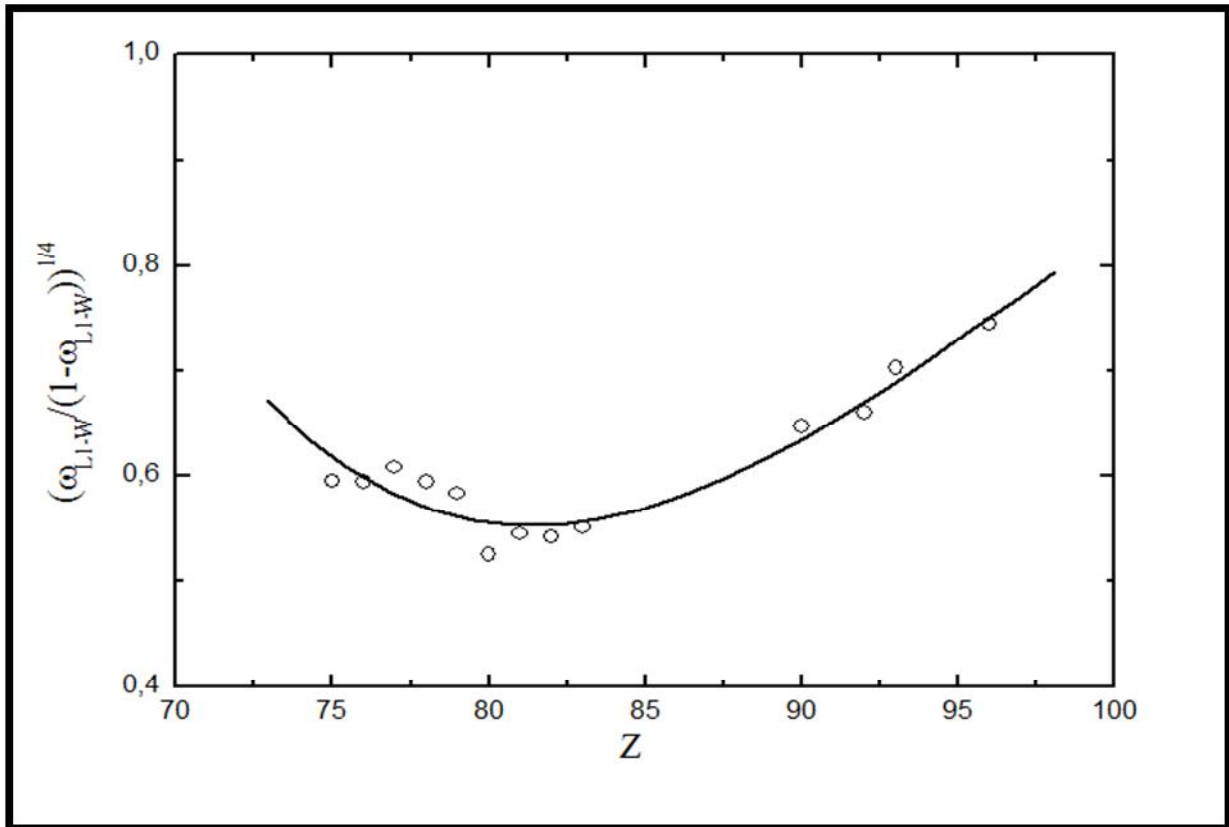


Figure III.4: La distribution des rendements de fluorescence $\left(\frac{\omega_{L_1,W}}{1-\omega_{L_1,W}}\right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z , pour les éléments avec $75 \leq Z \leq 96$.

-Et le deuxième est de :

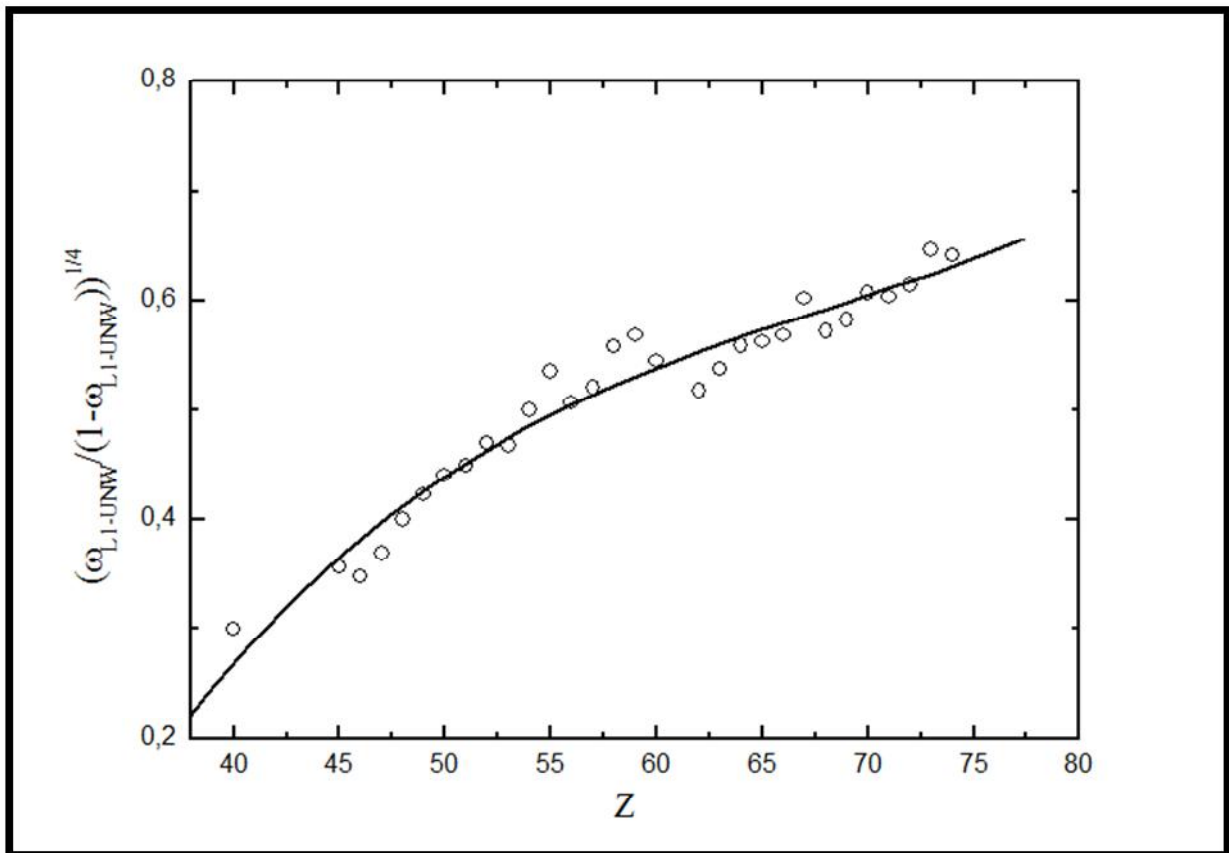


Figure III.5: La distribution des rendements de fluorescence $\left(\frac{\bar{\omega}_{L_1 UNW}}{1 - \bar{\omega}_{L_1 UNW}}\right)^{1/4}$ de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique Z , pour les éléments avec $40 \leq Z \leq 74$.

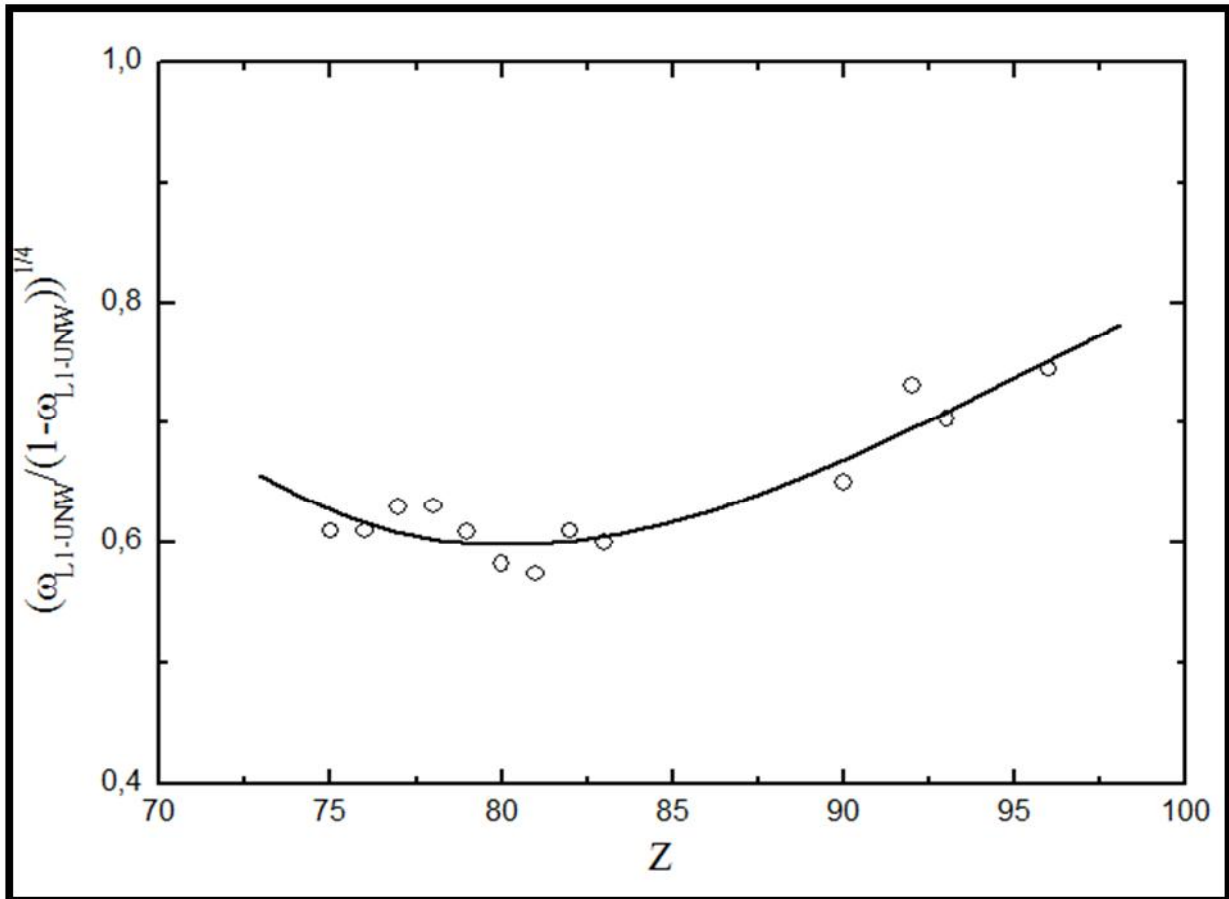


Figure III.6: La distribution des rendements de fluorescence $(\frac{\omega_{L_1-UNW}}{1-\omega_{L_1-UNW}})^{1/4}$ de la sous-couche

(L_1) en fonction du numéro atomique Z , pour les éléments avec $75 \leq Z \leq 96$.

-Les résultats obtenus ont été présentés sous forme tabulaire et ont été comparés à des travaux théoriques, empiriques, nous avons représenté toutes les valeurs théoriques pour les éléments de Z comprise entre 40 et 96. (Tableau III.1).

Tableau III.1 : Rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche (L_1) pour les éléments atomiques de ($Z= 40-96$).

Z	Empirique (ce travail)		Autre calcul		
	Eq.III.1	Eq.III.2	Krause(1979)	Puri et al (1993)	Campbell(2003)
40	0,0052	0,0051	0,0068	0,0053	--
41	0,007	0,007	0,0094	0,0061	--
42	0,0089	0,0091	0,01	0,0068	--
43	0,0112	0,0116	0,011	0,0076	--
44	0,0136	0,0143	0,012	0,0083	--
45	0,0162	0,0173	0,013	0,0089	--
46	0,019	0,0206	0,014	0,0099	--
47	0,022	0,0241	0,016	0,0111	--
48	0,025	0,0277	0,018	0,0122	--
49	0,0281	0,0315	0,02	0,0134	--
50	0,0313	0,0355	0,037	0,0356	--
51	0,0345	0,0395	0,039	0,0382	--
52	0,0378	0,0436	0,041	0,041	--
53	0,041	0,0477	0,044	0,043	--
54	0,0442	0,0518	0,046	0,046	--
55	0,0474	0,0559	0,049	0,049	--
56	0,0506	0,06	0,052	0,053	--
57	0,0537	0,0641	0,055	0,057	--
58	0,0568	0,0681	0,058	0,061	--
59	0,0599	0,0721	0,061	0,065	--
60	0,063	0,076	0,064	0,067	--
61	0,0661	0,0799	0,066	0,071	--
62	0,0692	0,0838	0,071	0,075	0,075
63	0,0724	0,0877	0,075	0,078	0,08
64	0,0756	0,0915	0,079	0,083	0,09
65	0,0788	0,0954	0,083	0,087	0,1
66	0,0822	0,0993	0,089	0,091	0,1
67	0,0857	0,1032	0,094	0,095	0,11
68	0,0894	0,1072	0,1	0,105	0,12
69	0,0933	0,1113	0,106	0,109	0,13
70	0,0974	0,1155	0,112	0,114	0,13
71	0,1018	0,1199	0,12	0,12	0,14
72	0,1066	0,1244	0,128	0,125	0,14
73	0,1117	0,1291	0,137	0,131	0,145
74	0,1172	0,1341	0,147	0,136	0,136
75	0,1276	0,1336	0,144	0,084	0,15
76	0,114	0,1262	0,13	0,088	0,15
77	0,1036	0,1207	0,12	0,093	0,15
78	0,096	0,1168	0,114	0,074	0,13
79	0,0908	0,1145	0,107	0,078	0,13
80	0,0875	0,1136	0,107	0,082	0,13
81	0,086	0,114	0,107	0,088	0,1

82	0,0862	0,1156	0,112	0,093	0,1
83	0,0878	0,1183	0,117	0,098	0,11
84	0,0909	0,1221	0,122	0,103	0,12
85	0,0955	0,127	0,128	0,109	0,13
86	0,1015	0,133	0,134	0,114	0,14
87	0,109	0,14	0,139	0,12	0,15
88	0,118	0,1481	0,146	0,126	0,16
89	0,1285	0,1571	0,153	0,133	0,17
90	0,1405	0,167	0,161	0,139	0,17
91	0,1541	0,1778	0,162	0,147	0,18
92	0,1691	0,1894	0,176	0,149	0,19
93	0,1855	0,2017	0,187	0,157	0,2
94	0,2031	0,2147	0,205	0,165	0,21
95	0,2219	0,2281	0,218	0,173	0,22
96	0,2415	0,2419	0,228	0,181	0,23

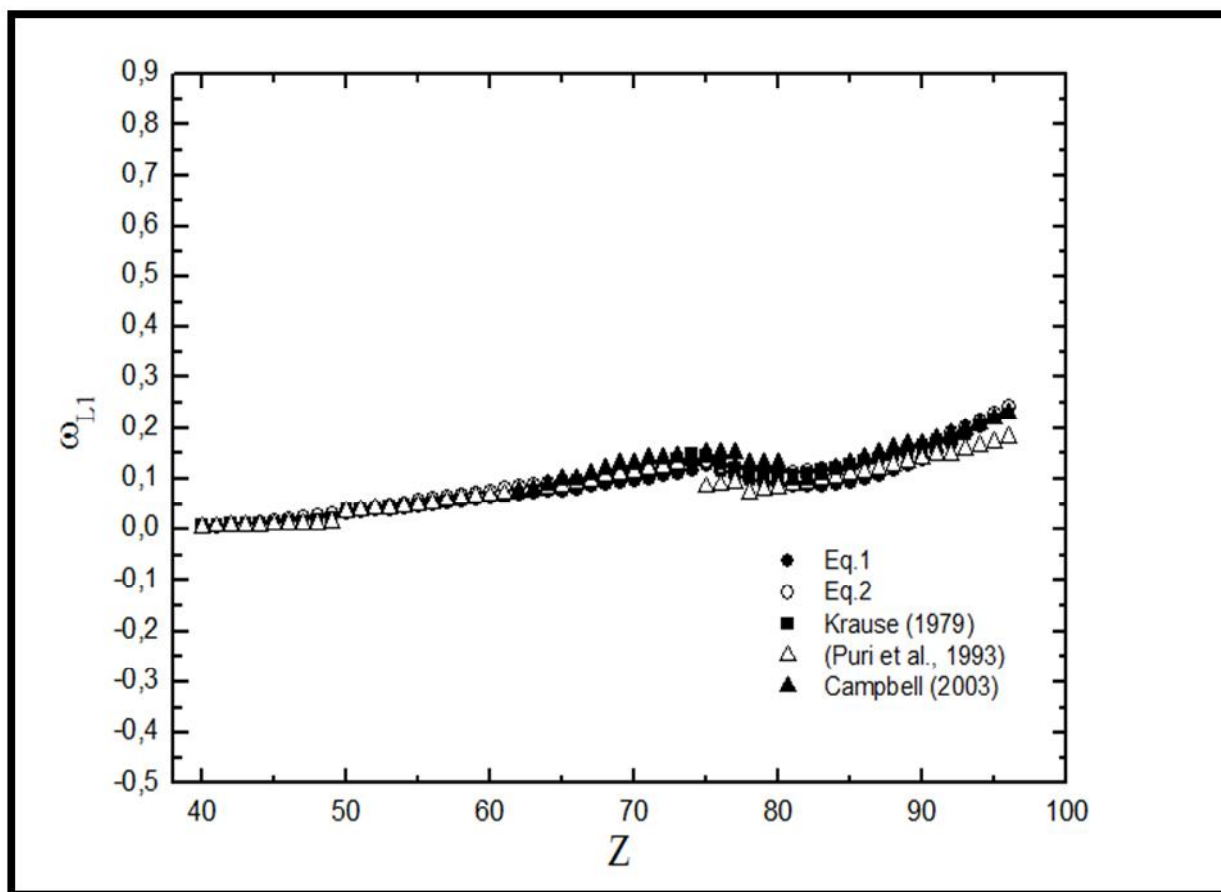


Figure III.7 : Les rendements de fluorescence empiriques de la sous-couche (L_1) en fonction du numéro atomique $40 \leq Z \leq 96$, selon divers auteurs : ((Puri et al (1993), Krause (1979), Campbell (2003))

III.4- Discussion

A partir des figures (III.7) et le tableau (III.1), on observe en générale un bon accord entre nos valeur des rendements de fluorescence de la sous couche (L_1) pour les éléments avec le numéro atomique $40 \leq Z \leq 96$.

Dans la région des éléments de numéro atomique $40 \leq Z \leq 64$, les rendements de fluorescence est donne la même évolution donc ils sont en très bon accord avec les formules analytiques (Eq.III.1), (Eq.III.2) et les valeurs théoriques et empiriques.

Pour les éléments avec le numéro atomique $65 \leq Z \leq 82$, nos valeurs des rendements de fluorescence et les valeurs rapportées sont montrent un accord acceptable (déviations acceptable).

Pour les éléments avec le numéro atomique $83 \leq Z \leq 96$, la position des éléments 84,85,..., 89 de notre valeurs et au milieu entre les valeurs de Campbell et Puri et de Krause, pour le reste des éléments (90,91,...,96) notre valeurs sont plus hauts.

Après la comparaison, on a noté que les valeurs des rendements de fluorescence calculés pour les éléments atomiques légers introduisent une incertitude supplémentaire, parce que dans cette gamme les rendements de fluorescence de la sous couche (L_1) sont petits, par contre on observe un grand comprimée entre les deux résultats.

Bibliographies

- Päschke R. Messung der L-Auger-, Fluoreszenz- und Coster-Kronig-Ausbeuten von Gold. , Physik Z. 1963; 176: 143-154.
- Rao PV, Wood RE, Palms JM, Fink RW. L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities of Pb. Phys. Rev. 1969; 178:1997.
- Freund HU, Fink RW. Bismuth L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities from Decay of Pb²¹⁰ (RaD). Phys. Rev. 1969; 178:1952.
- McGeorge JC, Freund HU, Fink RW. L-Subshell X-Ray Fluorescence and Coster-Kronig Yields at Z = 65; Branching Ratio, and K-Conversion of the 58 keV Transition in ¹⁵⁹Tb. Nucl. Phys. 1970; A 154:526-538.
- Budick B, Derman S. L-Subshell Fluorescence Yields for Silver and Tellurium. Phys. Rev. Lett. 1972; 29: 1055.
- McGeorge JC, Fink RW. The L₁ Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields for Z = 96 Radioactivity ²⁴⁹Cf; measured X_{lce}-coin, X_{ly}-coin, X_{IXk}-coin. Cm deduced L₁ fluorescence, Coster-Kronig yields. Z. Phys. 1972; 250: 293.
- McGeorge JC, Nix DW, Fink RW. L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields at Z = 92 and the Decay of ²³⁵Np. Z. Phys. 1972a; 255:335.
- Weksler M, Pinho AG. L-Subshell Fluorescence and Coster-Kronig Yields in Bismuth and Neptunium, X-Ray Spectra. 1973; 3:291.
- McNelles LA, Campbell JL, Geiger JS, Graham RL, Merritt JS. L-Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transitions at Z = 70. Can. J. Phys. 1975; 53:1349.
- Indira PA, Palms JM, Rao PV. Decay of ¹⁹⁴Os and L₁ Subshell Yields at Z = 77. Z. Phys. 1978; A284:33.
- Krause MO. Atomic Radiative and Radiationless Yields for K and L Shells. J. Phys. Chem. 1979; 8:307.
- Markevich D, Budick B. Fluorescence yields for the rhodium L shell. Phys. B: At. Mol. Phys. 1981; 14: 1553.
- Kodre A, Hribar M, Ajlec B, Pahor J. L-subshell fluorescence yields of lead. Z. Phys. 1981; A 303: 23-26.

- Tan M, Braga RA, Fink RW, Rao PV. X-Ray Fluorescence Yields and Coster- Kronig Transition Probabilities of the L1, L2 and L3 subshells of Pb. Phys. Scripta. 1982; 25: 536-547.
- Jitschin W, Materlik G, Werner U, Funke P. Coster-Kronig and fluorescence yields of Au L subshells derived from photoionization measurements. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 1985; 18:1139.
- Marques-MI, MartinsMC, Ferreira JG. L1 Subshell Yields of Pt and Hg. Physica. Scripta. 1985; 32:107-110.
- Werner U, Jitschin WL. Vacancy Decay in Heavy Elements ($72 \leq Z \leq 82$) by the Synchrotron Photoionization Method. Phys. Rev. 1988; A 38:4009-4018.
- Stotzel R, Werner U, Sarkar M, Jitschin W. Fluorescence Coster-Kronig and Auger yields of the, Sm L subshells measured with the synchrotron photoionization method. Phys. 8: At. Mol. Opt. Phys. ZS. 1992; 2295:2307.
- Puri S, Mehta D, Chand B, Singh N, Terhan PN. L Subshell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities for the Elements with $25 \leq Z \leq 96$. X-Ray Spectrom. 1993; 22:358-316.
- Sánchez HJ, Rubio M, Pérez RD, Burattini E. L-subshell Fluorescence Yields Measured with Synchrotron Radiation. X Ray Spectrom. 1994; 23:267.
- Xu JQ, Xu XJ. L (1)-Subshell and L (2)-Subshell Fluorescence Yields of Lanthanides. Physical review A. 1994; 49: 2191-2194.
- Ertugrul, M. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross sections and L subshell fluorescence yields of elements in the atomic range $73 \leq Z \leq 92$ at 60 KeV. Nucl. Chem. 1998; 237:139-142.
- Papp T, Campbell JL, Raman S. Fluorescence and Coster-Kronig yields of the L1 shell in gadolinium. Phys. Rev. 1998; A 58:3537.
- Jitschin W, Stötzel R, Papp T, Sarkar M. Coster-Kronig, fluorescence, and Auger yields of the ^{47}Ag L subshells measured through synchrotron photoionization. Phys. Rev. 1999; A59: 3408.
- Oz E, Ozdemir Y, Ekinci N, Ertugrul M, Şahin Y, Erdogan H. Measurement of atomic L shell fluorescence (w_1, w_2, w_3) and Auger (a_1, a_2 and a_3) yields for some elements in the atomic number range $59 \leq Z \leq 85$. Spectrochimica Acta Part. 2000; B 55: 1869-1877.

- Şahin M, Demir L, Söğüt O, Ertuğrul M, İçelli O.L subshell fluorescence cross-sections and L subshell fluorescence yields in elements $68 \leq Z \leq 95$ by 59.5 keV photons. *J. Phys B: At. Mol. Opt. Phys.* 2000; 33: 93-98.
- Durak R, Ozdemir Y. Experimental determination of L-subshell fluorescence yields for heavy elements at 59.54 keV. *At Spectrom.* 2001; 16 (10): 1167-1171.
- Ertuğrul M. Measurement of L-subshell X-ray fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields for the elements in the atomic $73 \leq Z \leq 92$ at 60 KeV. *Instrumentation Science & Technology.* 2001; 29: 215-222.
- Kaya A , Ertuğrul M , Doğan O, Soğüt Ö, Turgut Ü, Şimşek Ö. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross-sections at 59.54 keV and L subshell fluorescence yields for elements in the atomic range $55 \leq Z \leq 81$. *Analytica Chimica Acta.* 2001; 441: 317–323.
- Soğüt Ö, Ertuğrul M, Büyükkasap E. L-Subshell Fluorescence Yield Ratios, w_1/w_2 , w_1/w_3 and w_2/w_3 , for the Elements $55 \leq Z \leq 92$. *X-ray Spectrom.* 2001; 30: 427-430.
- Barrea RA, Pérez CA, Sánchez HJ. Erbium L-subshell Coster-Kronig and fluorescence yields determination by synchrotron radiation photoionization. *J. Phys B: At. Mol. Opt. Phys.* 2002; 35:3167.
- Ertugrul M, Şimşek Ö. Determination of L_2 and L_3 subshell fluorescence yields of some elements in the atomic number range $22 \leq Z \leq 62$. *Radiat Phys Chem.* 2002; 65: 205-209.
- Kumar A, Puri S, Mehta D, Garg ML, Singh N. L_1-L_3 Coster-Kronig and L_i ($i = 1, 2, 3$) sub-shell fluorescence yields for Th and U. *X-ray Spectrom.* 2002; 31: 103–108.
- Özdemir Y, Durak R. L-subshell fluorescence yields (w_1 , w_2 and w_3) for elements in the atomic range $55 \leq Z \leq 68$ with a Si(Li) detector. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer.* 2003; 77: 95–103.
- Campbell JL. Fluorescence yields and Coster-Kronig probabilities for the atomic L subshells. *Atomic Data and Nuclear.* 2003; 85:291-315.
- Sharma M, Singh P, Shahi JS, Mehta D, Singh N. L_i ($i = 1, 2, 3$) sub shell fluorescence yields for ^{79}Au , ^{80}Hg and ^{81}Tl . *X Ray Spectrm.* 2005; 34:35-41.
- Bonzi EV, Badiger NM. Measurement of L subshell fluorescence yields of elements in the range $45 \leq Z \leq 50$ using synchrotron radiation. *Nucl. Instrum. Methods.* 2006; B248: 242–246.

- Han I, Demir L, Ağbaba M. Measurements of L X-ray production cross sections, L subshell fluorescence yields and K to L shell vacancy transfer probabilities. *Radiation Physics and Chemistry*.2007; 76:1551–1559.
- Chauhan Y, Tiwari MK, Puri S. $L_i(i= 1-3)$ subshell X-ray production cross sections and fluorescence yields for some elements with $56 \leq Z \leq 68$ at 22.6 keV. *Nucl.Instrum.Methods Phys.Res.* 2008; B266:30.
- Söğüt Ö, Apaydın G, Şimşek Ö, Cengiz E , Saydam M. Kıp N, Tıraşoğlu E. Measurement of L subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range $75 \leq Z \leq 92$ using photoionization. *Radiation Physics and Chemistry*. 2009; 78(5):307-310.
- Kolbe M, Hönicke P, Muler M, Beckhoff B. L-subshell fluorescence yields and Coster-Kronig transition probabilities with a reliable uncertainty budget for selected high- and medium-Z elements. *Phys. Rev.* 2012; A86: 042512.
- Aylikci V, Kahoul A, Aylikci NK, Tıraşoğlu E, Karahan IH, Abassi A, Dogan M. Empirical and semi-empirical interpolation of L X-ray fluorescence parameters for elements in the atomic range $50 \leq Z \leq 92$. *Radiation Physics and Chemistry*. 2015; 106: 99–125.
- Kolbe M, Hönicke P. Fundamental parameters of Zr and Ti for a reliable quantitative X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrom.* 2015.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté les résultats des calculs des rendements de fluorescence empiriques, basées sur l'ajustement direct des données expérimentales disponibles, de sous couche L des éléments de numéros atomiques $40 \leq Z \leq 96$.

La base de données utilisée dans ce travail se fonde sur les données expérimentales compilées et éditées pendant la période de 1955 à 2015. Dans un tableau on a résumé notre base de données des rendements de fluorescence de la couche L pour des éléments ^{40}Zr à ^{96}Cm en fonction du numéro atomique Z . Les références, dont à tiré les valeurs expérimentales sont également énumérées. 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 l'élément de nombre atomique (^{41}Nb , ^{42}Mo , ^{43}Tc , ^{44}Ru , ^{61}Pm , ^{84}Po , ^{85}At , ^{86}Rn , ^{87}Fr , ^{88}Ra , ^{89}Ac , ^{91}Pa , ^{94}Pu , ^{95}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 ^{68}Er , ^{74}W , ^{79}Au , ^{81}Tl , ^{82}Pb , ^{80}Hg , ^{83}Bi , et ^{92}U .

On a calculé aussi des nouvelles valeurs des rendements de fluorescence des couches L par des méthodes analytiques pour la même gamme des éléments étudiés ($40 \leq Z \leq 96$), puis on a présenté et comparés nos résultats avec des autres valeurs théoriques et semi-empiriques publiés par des autres auteurs.